

The background of the entire page is a detailed cross-stitch pattern. It depicts a landscape with a large, leafy tree in the upper left and center, and a field of tall, golden-brown crops in the foreground. The sky is a deep blue with some white stitching details. The overall style is that of a traditional needlepoint or cross-stitch artwork.

Tlo, gnojidba i prinos

Što uspješan poljoprivrednik mora znati
o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa

Vladimir Vukadinović
Vesna Vukadinović

Osijek, 2016.

Tl o, gnojidba i prinos

Što uspješan poljoprivrednik mora znati
o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa

Vladimir Vukadinović
Vesna Vukadinović

Osijek, 2016.

Tlo, gnojidba i prinos

Što sve poljoprivrednik mora znati o tlu, usjevu, gnojidbi i tvorbi prinosa

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović, red. prof. u trajnom zvanju
Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, u miru.

Prof. dr. sc. Vesna Vukadinović, izv. prof. Poljoprivrednog fakulteta u
Osijeku

Grafičko oblikovanje:

Vladimir Vukadinović

Vlastita naklada:

Elektroničko izdanje

ISBN 978-953-58897-0-0

<http://tlo-i-biljka.eu>

<http://pedologija.com.hr>

Sadržaj

PREDGOVOR	7
TLO	9
Što je tlo	9
Funkcije tla	10
Tipovi tala	12
Koliki je stvarni značaj tipa tla u biljnoj proizvodnji	12
Fizikalno-kemijska svojstva tla	19
Pokazatelji plodnosi ili kakvoće tla	19
Fizikalni pokazatelji	19
Kemijski indikatori	20
Biljke indikatori fizikalno-kemijskih svojstava tla	21
Dubina tla	23
Tekstura i struktura tla	25
Reakcija ili pH vrijednost tla	31
Organska tvar tla - humus	36
Sadržaj štetnih tvari u tlu	39
Voda u tlu	43
Temperatura tla	48
Plodnost i produktivnost tla	50
Agrokemijska svojstva tla i njegova plodnost	50
Degradacija fizikalnih svojstava tla antropogenim zbijanjem	53
Degradacija kemijskih svojstava tla	53
Fitotoksičnost i depresija rasta	54
Ugrožavanje vodenih ekosustava	55
Degradacija bioloških značajki tla	55
Agrotehničke mjere i plodnost tla	57
Hraniva u tlu i njihova bioraspoloživost	58
Podjela hranjivih tvari	58
Oblici hranjivih tvari u tlu	59
Dinamika hraniva u tlu	61
BILJKA	65
Usvajanje hraniva i vode	68
Usvajanje i kretanje vode kroz biljku	70

Usvajanje hraniva listom	73
Promjena sadržaja i opskrbljenost biljaka elementima ishrane	73
Specifičnosti usjeva i njihovih kultivara	78
Čimbenici okoliša i zakonitosti njihovog djelovanja	80
Okolišni čimbenici	81
Klimatski čimbenici	82
Edafski čimbenici	84
Biotski čimbenici u usjevima	86
Rast i razvitak biljaka	87
Pokazatelji rasta	89
Biljni stres i njegov utjecaj na rast, razvitak i prinos	91
Mehanizam otpornosti bilja na stres	94
Otpornost biljaka na niske temperature	98
Otpornost biljaka prema visokim temperaturama	103
Otpornost biljaka prema suši	109
Otpornost biljaka na nedostatak kisika	114
Otpornost biljaka prema suvišku vode i poplavama	117
Otpornost biljaka na fotooksidacijski stres	118
Otpornost biljaka na mineralni ili nutritivni stres	120
Otpornost biljaka prema solima	122
Otpornost biljaka prema ekstremnim pH-vrijednostima	124
Troposferski ozon	125
Mikoriza	126
Biljna imunologija i otpornost na bolesti i štetočine	126
GNOJIDBA	131
Kontrola plodnosti tla	132
Plodnost tla	133
Utvrdjivanje plodnosti tla	136
Uzimanje uzoraka tla	138
Kemijske analize tla	140
Analize biljne tvari	143
Vizualna dijagnostika	145
Vegetacijski pokusi	145
Proračun potrebe u gnojidbi	148
Gnojidbena preporuka	148
Kompjutorska izrada gnojidbenih preporuka	149
Opskrbljenost tla i zadatak gnojidbe	151

Konvencionalni proračun gnojidbe AL-metodom	155
Kompjutorski proračun gnojidbe	159
Popravke tla (kondicioniranje)	161
Zašto je potrebno gnojiti	169
Koncept i strategija suvremene gnojidbe	172
Vrste gnojiva i njihova primjena	174
Gnojiva	176
Mineralna gnojiva	176
Prema vremenu unošenja	177
Prema vrsti hranjivog elementa	178
Prednost organskih gnojiva	183
Nedostaci organskih gnojiva	184
Prednosti mineralnih gnojiva	184
Nedostaci mineralnih gnojiva	185
Zelena gnojidba ili sideracija i pokrovni usjevi	186
Primjena gnojiva	191
PRINOS	195
Raspoloživost hraniva i visina priroda	195
Ekonomski pristup u procjeni inputa	196
Utjecaj biotskih čimbenika na fotosintezu i visinu prinosa	197
Utjecaj abiotskih čimbenika na fotosintezu i tvorbu prinosa	199
Potreba u gnojidbi i visina prinosa	202
Utjecaj plodosmjene na visinu prinosa	204
Visina i kakvoća prinosa	209
Definicije prinosa	209
Održivo gospodarenje zemljištem	211
Dobra poljoprivredna praksa	213
Žetveni ostaci	216
Precizno poljodjelstvo	219
Stručni savjeti za postizanje visokog i kvalitetnog prinosa	221
Ozima žita	223
Kukuruz	230
Šećerna repa	233
Najčešće zablude i pogreške u gnojidbi	237
NAPREDAK I POSLJEDICE MODERNE AGRIKULTURE	257
Izazovi i zamke suvremene biotehnologije	262
OPĆA LITERATURA	267
INDEKSI	271

Predgovor

Poštovani poljoprivredni proizvođači, studenti, hobi poljoprivrednici i svi ostali koji se bavite bilinogojstvom, a želite upotpuniti svoje znanje o tlu, usjevima, učinkovitoj agrotehnici i suvremenoj praksi biljne produkcije, pred Vama je knjiga „*Tlo, gnojidba i prinos*“ (ili „*Što sve poljoprivrednik mora znati o tlu, usjevima, gnojidbi i tvorbi prinosa*“). Sadržaj knjige obuhvaća veoma složen sustav tlo-biljka-atmosfera, njegove zakonitosti i temeljne principe biljne proizvodnje. Pokušali smo na sažet i razumljiv način pojasniti što sve i na koji način utječe na dobre rezultate u bilinogojstvu i što kaže struka kako postići veći i kvalitetniji prinos na učinkovit i profitabilan način. Zbog potrebe pojašnjenja pojedinih važnih momenata i čimbenika koji su ključni za bilinogojstvo, tekst je povremeno više stručan, ali samo kad je to bilo neophodno i uz sva potrebna objašnjenja.

U našoj suvremenoj biljnoj proizvodnji, kao uostalom i cjelokupnoj poljoprivredi, ima previše lutanja, pogrešaka i zabluda, a premalo stručnog znanja utemeljenog na sustavnom stručno-znanstvenom rješavanju problema, inovacijama koje se već široko i uspješno primjenjuju u razvijenim poljoprivredama, te umjesto da napredujemo, mi stagniramo i sve više zaostajemo za svjetskim dostignućima.

Obzirom na sve skuplje inpute u biljnu proizvodnju, mnogi proizvođači pokušavaju smanjiti troškove proizvodnje i okreću se „preko noći“ prema puno zahtjevnijim sustavima proizvodnje kao što su integrirana ili ekološka biljna proizvodnja. Sve veća neophodna ulaganja u konvencionalnoj biljnoj proizvodnji i sve više potrebnog rada u integriranoj i ekološkoj, nerijetko se shvaćaju kao nepotreban trošak što utječe na sve nižu razinu agrotehnike bez neophodnog uređenja, održavanja, a kamoli popravki produktivne moći proizvodnih površina. Također, sve češća je neadekvatna primjena reducirane obrade, sije se vlastito nelicencirano i netretirano sjeme, nedovoljna je i nepravovremena gnojidba, analiza tla se smatra nepotrebnim troškom itd., što sve ima za posljedicu pogrešnu ili manjkavu agrotehniku pa očekivani uspjeh vrlo često izostaje.

Razloga za slabe proizvodne i financijske rezultate u biljnoj proizvodnji ima zaista puno, od nedovoljnih investicija u proizvodnju, premalo znanja pa sve do nesnalaženja u labirintu neuređenog tržišta poljoprivrednih proizvoda i repromaterijala, ali i nadasve lošeg ekonomskog i društvenog položaja proizvođača hrane.

Dakle, motivacija za pisanje ove knjige nije nedostajala te je izabrana forma stručno-popularnog priručnika čija je osnovna zadaća upozoriti poljoprivredne proizvođače na probleme i pogreške u biljnoj proizvodnji, ali i savjetovati kako stručno, učinkovito i ekonomično proizvoditi. Naime, naša stručna i znanstvena literatura, posebice udžbenici, biljnu proizvodnju tretiraju najčešće formalno u vidu „receptura“ koje navodno vrijede za sve agroekološke, ekonomske i sociološke uvjete. Takvi „agrotehnički recepti“ tek djelimice odgovaraju našoj poljoprivrednoj stvarnosti, manjkavi su, a vrlo često su posve neprimjenjivi u našim agroekološkim, ekonomskim i tržišnim okolnostima.

Vjerujemo da će dugogodišnje iskustvo autora ove knjige, znanje i brojna istraživanja iz područja poznavanja naših tala (*pedologije, zemljišnih resursa, agrokemije, ishrane bilja, fertilizacije, fiziologije i ekofiziologije bilja, GIS-a i informatičke tehnologije*) pomoći svima koji često postavljaju pitanja „kako?“ i „zašto?“ promišljajući što treba promijeniti da bi se njihov rad, vrijeme i uložena sredstva oplodila uz zadovoljstvo zbog uspjeha.

„*Tlo, gnojidba i prinosi*“ temelji se na *Ishrani bilja* (III. izdanje; Vladimir Vukadinović i Vesna Vukadinović), *Filozofiji gnojidbe* (Vladimir Vukadinović i Blaženka Bertić) i *Ekofiziologiji bilja* (Vladimir Vukadinović, Irena Jug i Boris Đurđević), kao i nizu drugih tekstova autora ove knjige, koji čitateljima mogu pomoći u razumijevanju problema i njihovih rješenja u biljnoj proizvodnji. U knjizi su opisani praktični aspekti bilinogojstva s preporukama što i kada treba poduzeti kako bi proizvodnja hrane bila učinkovita i profitabilna i uz očuvanje plodnosti tla te učinkovitiju zaštitu okoliša od onečišćenja agrokemikalijama.

U Osijeku, travanj 2016. godine

Autori:
Vladimir Vukadinović
Vesna Vukadinović

Tlo

Što je tlo

"Tla Hrvatske najveće su blago hrvatskog naroda, poznavati ih znači poznavati temelje na kojima počiva hrvatska država" (prof. dr. M. Gračanin, 1942.). Sir Charles Fortescue Brickdale je daleke 1913. god. nadahnuto napisao: „Zemlja je mjesto koje pruža sklonište u gradu, na selu i kod kuće. Ona je izvor hrane, materijala za gradnju i proizvodnju iz ugljena, plina i nafte, iz izvora i rijeka te drugih najosnovnijih životnih potreba. Ona je nepromjenjiva za sve ljudske aktivnosti. Kuće i tvornice, šume i farme, rijeke, putovi i željeznice, rudnici i rezervoari su oblici zemlje. Oni nude beskrajne mogućnosti za razvoj i otkrivanje. Ona je osnovni izvor bogatstva."

Tlo je nesumnjivo najveći i najznačajniji prirodni resurs čovječanstva. Nažalost, njegovim pretjeranim ili neodgovornim korištenjem dolazi do snižavanja njegove plodnosti i konačno upropaštavanja (*degradacija*). Proces upropaštavanja tla je gotovo uvijek jednosmjernan, bez realne mogućnosti vraćanja u prethodno stanje. Naime, u procesu degradacije tla promjene koje primjećujemo su prividno male, barem u životu jedne ljudske generacije, što smanjuje potrebnu pozornost i odlaže pravovremeno poduzimanje mjera za zaustavljanje destruktivnih procesa. Stoga, briga o zemljišnim resursima, njegovim prirodnim bogatstvima i biološkoj raznolikosti sve više zaokuplja širi krug populacije, ne samo one koji se bave poljoprivredom, te sve više postaje odgovornost cjelokupne društvene zajednice. Globalne promjene okoliša nepovratno mijenjaju ekosferu ili ekosustav Zemlje (*geobiosfera*) te utječu na život velikog dijela svjetskog stanovništva, a mogu biti *prirodne* i *antropogene* (izazvane ljudskim aktivnostima) pa je *ekološko opterećenje okoliša* zapravo jednako umnošku:

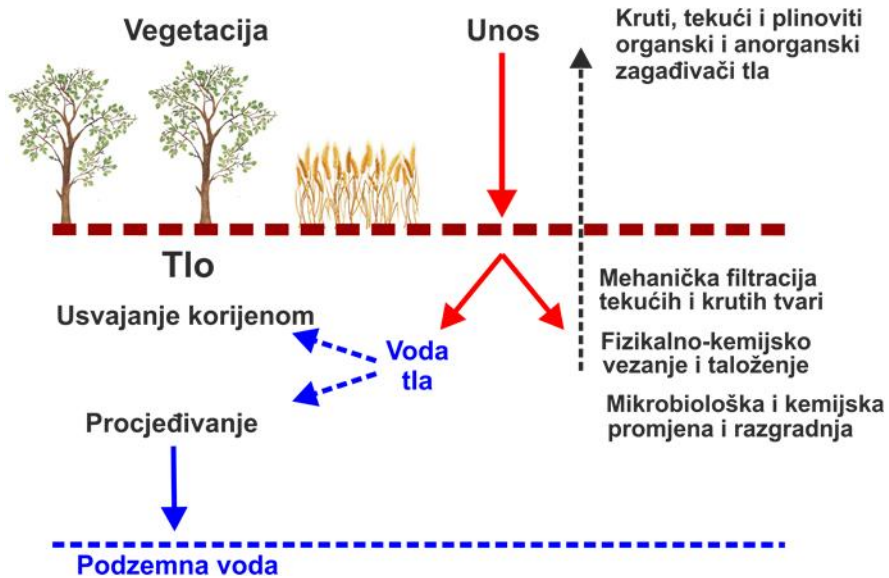
$$\text{Broj stanovnika} \times \text{Tehnologija} \times \text{Životni standard}$$

Funkcije tla

Tlo ima više važnih i različitih funkcija važnih za društveni i ekonomski razvoj čovječanstva i koje su izravno povezane s ljudskim aktivnostima. Najčešće se definiraju kao *tehničke, industrijske i društveno-ekonomske funkcije tla*. Tri su osnovne ekološke funkcije (Slika 1.):

1. Osiguranje ljudske prehrane, izvor stočne hrane, proizvodnja biomase, obnovljivih izvora energije i velikog broja industrijskih sirovina (vlakna, ulja, drvo, itd.) što je temelj ljudskog i životinjskog života.
2. Filtriranje, transformacija tvari i razgraničenje između atmosfere, podzemne vode i biljnog pokrova presudno utječe na ciklus vode na Zemljinoj površini, razmjenu plinova između tla i atmosfere i zaštitu okoliša od onečišćenja podzemnih voda. Ove funkcije postaju vremenom sve važnije zbog akumulacije mnogih krutih, tekućih ili plinovitih organskih i anorganskih spojeva na površini Zemlje. Na te nepoželjne tvari tlo reagira mehaničkom filtracijom, fizičkom ili fizikalno-kemijskom adsorpcijom kao i mikrobiološkim, odnosno biokemijskim procesima neutralizacije, mineralizacije i transformacije, uglavnom organskih, ali i mnogih neorganskih spojeva. Ove biokemijske reakcije u tlu doprinose globalnim klimatskim promjenama preko emisije plinova iz tla u atmosferu. Naime, na globalnoj razini ukupan rezervoar (*pool*) organskog ugljika (*OC*) u tlima je tri puta veći od njegove količine u atmosferi u obliku ugljičnog dioksida. Stoga su tla ključan čimbenik u transformaciji bio-organskih ugljika u plinoviti CO_2 atmosfere kao i N_2O i CH_4 (dušični oksidi i metan), a sva tri poznata su kao "*staklenički plinovi*" koji uzrokuju procese globalnih promjena. *Kapacitet tla za filtriranje i transformaciju* uglavnom je dovoljan te je opasnost onečišćenja podzemne vode ili hranidbenog lanca mala, ali se svakako mora imati u vidu kako je kapacitet nekih tala za filtriranje štetnih tvari smanjen ili jako ograničen.
3. Biološka staništa su i rezervat gena velikog broja različitih organizama jer zemljište sadrži više biljnih i životinjskih vrsta organizama od njihovog broja iznad površine zemlje, pa je zemljište temelj biološke raznolikosti. Ljudski život je već sada vrlo ovisan o biološkoj raznolikosti, a u budućnosti moguće je kako će se nove gene za održavanje ljudskog života morati uzimati iz tla. Osim toga, geni iz tla postaju sve važniji za mnoge, posebno tehnološke i biotehnološke procese.

Osim navedene tri ekološke funkcije, zemljište ima i druge važne funkcije povezane s tehničkim, industrijskim i sociološko-ekonomskim koristima. Zapravo, zemljište je fizička osnova za razvitak tehničke, industrijske i društveno-ekonomske strukture (npr. industrijski prostor, stanovanje, prijevoz, sportovi, rekreacija, odlaganje otpada itd.). Jedan od glavnih problema u tom kontekstu je eksponencijalni rast urbanih i prigradskih područja, uključujući i transport između njih.



Slika 1. Ekološke funkcije tla

Zemljište je nezamjenjivi izvor sirovina, npr. gline, pijeska, šljunka i minerala u cjelini, kao i izvor *geogene* energije (*geotermalna*) i vode, te je sirovinska osnova tehničkog i društveno-ekonomskog razvoja.

Posljednje, ali ne najmanje važna funkcija tla je njegova geološka i kulturna baština jer zemljište formira izgled krajolika u kojem živimo, prekriva i štiti paleontološke i arheološke ostatke velike vrijednosti za razumijevanje naše povijesti. Sažeti pregled funkcija tla prikazuje Tablica 1.

Tablica 1. Funkcije zemljišnih resursa

Proizvodne funkcije	Proizvodnja ljudske i stočne hrane, biogoriva, građevinskih materijala, industrijskih proizvoda itd.
Fiziološke funkcije	Osiguranje zdravlje ljudi kroz filtraciju i neutralizaciju otrovni tvari i njihovo dospijevanje u pitku vodu i biljke; sprječavanje opasnosti kao što su klizišta, poplave itd.
Kulturne funkcije	Stvaranje i očuvanje integriteta krajolika jer su vode, zemljište, šume i životinje bitan dio kulturne baštine uz očuvanje povijesnih i estetskih vrijednosti krajolika.
Ekološke funkcije	Održavanje funkcija ekosustava i uopće života uključujući i smanjenje stakleničkih plinova, filtriranje vode i zagađivača i održavanje globalnog geokemijskog ciklusa hranjivih tvari itd.

Tipovi tala

Koliki je stvarni značaj tipa tla u biljnoj proizvodnji

S aspekta ishrane bilja tlo je živ, dinamičan izvor hraniva nužan za život biljaka. Čini ga fizikalna sredina specifičnih kemijskih i bioloških svojstava, koja je karakteristična za *antropogenizirane* (ljudskom aktivnošću izmijenjene) tipove tala. U prirodnim ekosustavima, kao što su šume i livade, plodnost tla je njegovo izvorno, prirodno ili *inherentno* svojstvo, odnosno sposobnost održavanja biljne i životinjske produktivnosti. Razoravanjem prirodnih (tzv. *djevičanska tala*) sa svrhom proizvodnje hrane, uz višegodišnju primjenu agrotehničkih i hidrotehničkih mjera, mijenjaju se drastično svojstva tla, ukupno gledajući njegova plodnost, a brzina promjena ovisi o tipu tla i intenzitetu poljoprivredne proizvodnje.

Izvorna svojstva bilo kojeg tipa tla, pa i onog lošeg, odnosno slabo produktivnog, u poljoprivrednoj proizvodnji mogu se u značajnoj mjeri poboljšati njegovim uređenjem i popravkama, ili potpuno izmijeniti do razine koja opravdava intenzivna ulaganja i biljnu produkciju i stvara profit. Stoga je poboljšanje biljno-hranidbenog kapaciteta tla, kao supstrata biljne ishrane, potrebno promatrati isključivo s agrokemijskog stajališta, pa je

stavljanje u prvi plan *pedogenetskog*, odnosno *pedološkog* aspekta posve pogrešno. Osim toga, u poljoprivrednoj proizvodnji i pravilan izbor usjeva i/ili kultivara te njihova tolerantnost ili prilagodba na nepovoljna kemijska, fizikalna ili biološka svojstva tla, može pomoći u otklanjanju čimbenika koji ograničavaju visinu prinosa. Stoga, treba prihvatiti činjenicu kako sistematska oznaka (*tip tla*) nije mjera primarne organske produkcije nekog tla, odnosno njegove plodnosti, već najčešće alibi za loše rezultate u bilinogojstvu.

Funkcioniranje plodnog tla je blizu optimalnog kapaciteta sadržaja i kruženja hraniva koja omogućavaju biljkama rast i djelotvorno iskorištenje hraniva. U zdravom (kvalitetnom) tlu hraniva se nalaze u pristupačnom obliku te ih biljke koriste prema svojim potrebama. U takvom tlu postoji minimalna opasnost od gubitaka hraniva *ispiranjem*, *volatizacijom* (plinoviti gubitak, npr. amonijskog dušika) ili *erozijom*. Hraniva se u plodnom tlu nalaze u zoni korijenovog sustava (*rizosfera*) te je veoma mala opasnost od onečišćenja okoliša. U tlima koja znatnije odstupaju od navedenog, fizikalno-kemijske mjere uređenja tla, kao i izbor adekvatne agrotehnike, mogu u najvećem broju slučajeva otkloniti njegove uzroke ograničene plodnosti.

Veoma je važno da svaki poljoprivredni proizvođač poznaje svoje tlo i razlikuje njegov tip u smislu fizikalno-kemijskih ograničenja za biljnu proizvodnju. Prema fizikalnim svojstvima tla se mogu svrstati u najmanje pet klasa:

- 1) Laka pjeskovita i svjetla isprana tla,
- 2) Srednje teška,
- 3) Teška glinasta tla,
- 4) Vapnenasta i
- 5) Organska i tresetna tla.

Izrazi laka, srednje teška i teška tla odnosi se samo na njihov mehanički otpor prema obradi. Npr., laka pjeskovita tla čine pretežito krupne čestice pijeska koje su puno krupnije i teže od veoma sitnih, koloidnih čestica gline koje prevladavaju u teškim tlima.

Pjeskovita i svjetla isprana tla dobro su drenirana (prozračna i ocjedita), ali sadrže suviše malo gline i/ili organske tvari pa su nestabilne i loše strukture, podložna su eroziji i gubitku hraniva ispiranjem. Također, jača kiša lako uništava površinsku strukturu laganih tala nakon čega nastaje *pokorica*. Stoga je dobro na laganim tlima sijati ozime usjeve koji će tijekom jeseni i zime zaštititi površinu tla, odnosno sijati zimske pokrovne usjeve prije proljetne sjetve ili sadnje povrća, ili uzgajati višegodišnje usjeve, npr. lucernu i to nakon dublje obrade kada je za to vrijeme prikladno. Dobro je izbjegavati suviše čestu obradu, izbjegavati uzgoj krumpira, povrća, kukuruza, suncokreta, šećerne repe i drugih široko rednih kultura na padinama, jer će to zasigurno izazvati jaku eroziju kod jačih oborina.

Srednje teška tla zahtijevaju oranje i kultiviranje u pravo vrijeme kako bi se smanjili gubici biljnih hraniva ispiranjem. Ako su kisela, potrebno ih je kalcizirati i ne treba ih ostavljati zimi bez vegetacije. Također, ne treba dopustiti stvaranje „*tabana pluga*“ ili „*tabana tanjurače*“ već omogućiti bolju drenažu i omogućiti odvodnju suvišne vode pod površinskim rahljenjem, ili kad je potrebno i podrivanjem. Također, kultivaciju i žetvu na srednje teškim tlima treba obavljati po suhom tlu kako bi se očuvala struktura.

Teška tla sadrže puno gline i dovoljno organske tvari koja čvrsto povezuje teksturne čestice tla u stabilne zemljišne agregate otporne na raspadanje pri obradi. Stoga je struktura teških tala veoma kompaktna, podložna zbijanju i bez dovoljno prostora za zrak i vodu pa bez redovitog unosa organske tvari teška tla naginju zbijanju. Također, na teškim tlima ne treba uzgajati usjeve čija berba ili žetva pada kasno u jesen ili im je potrebna kultivacija u rano proljeće, odnosno kad su još vlažna. Takva tla zahtijevaju postavljanje cijevne drenaže, češće *krtičenje* ili *podrivanje*, redovito čišćenje otvorene kanalske mreže i izbjegavanje obrade u vlažnom stanju.

Vapnenasta tla (na vapnencu, kredi ili praporu) često su plitka iznad matičnog supstrata ili matične stijene, dobre su strukture, ocjedita ali na nagibima sklona eroziji, pa i *deraziji* („puzanju“ ili „klizanju“ tla niz obronak). Na vapnenastim tlima treba izbjegavati duboko oranje, pogotovo kad je plitko ispod matična stijena, a kad god je to moguće, obradu i sjetvu obavljati *konturno* (po izohipsama), a ne niz obronak. Također, na

vapnenastim tlima ne treba uzgajati usjeve s velikom potrebom za vodom, ili u suprotnom trema omogućiti navodnjavanje.

Organska i tresetna tla imaju niz problema u obradi i uzgoju usjeva, od često visoke podzemne vode do problematične obrade zbog malog udjela mehaničkih čestica tla, male volumne gustoće i nemogućnosti održanja strukture. Stoga nizinska, kao i brdska tresetišta mogu biti dobar supstrat za uzgoj, ali tek nakon regulacije razine vode i produbljivanja, odnosno rigolanja, kako bi se akumulirana površinska organska masa izmiješala s dubljim mineralnim slojem tla.

Eutrično smeđa tla (*eutrični kambisol*; $\text{pH} \geq 5.5$ i površinski humusni (Ah) ili lesivirani (Ap) horizont tanji su od <10 cm) su dobre do izvrsne plodnosti ovisno o dubini profila, evolucijskoj starosti, stupnju erozije i antropogenom utjecaju. Najplodniji su podtipovi na *lesu (prapor)* i *aluvijalnim nanosima* (taložni sedimenti uz vodene tokove). U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji može se pojaviti na eutričnim smeđim tlima niz problema kao što je pogoršana struktura uslijed neadekvatne obrade, niski sadržaj humusa i hraniva, moguća izražena teksturna diferencijacija unutar profila, manjak vode u sušnim uvjetima i erozija. Rješenje je moguće primjenom niza melioracijskih mjera ka što je poboljšanje strukture i intenzivna gnojidba organskim gnojivima uz uvođenje u plodored višegodišnjih trava i siderata; intenzivna gnojidba mineralnim gnojivima, naročito dušičnim i fosforim, dok kalij treba dodati u većim dozama samo kod uzgoja kaliofilnih biljaka ili u intenzivnoj proizvodnji uz navodnjavanje; produbljivanje oraničnog sloja uz pojačanu gnojidbu; navodnjavanje, naročito u proizvodnji visoko profitabilnih kultura; protu erozijske zaštitne mjere su od velikog značaja za plantažne nasade (terasiranje, konturna obrada, oranje po izohipsama, pravilan plodored, među redno zatravljivanje). Od ukupnih površina ovih tala čak 80 - 90 % koristi se u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji, a svrstavaju se i u vrlo pogodna zemljišta za voćarsku i vinogradarsku proizvodnju.

Černozem (crnica; crno tlo visokim sadržajem humusa) se svrstava u najplodnije tipove tala, međutim u uvjetima niske agrotehnike i semiaridne klime (suša barem jedan mjesec tijekom godine) prinosi znatno variraju. Visoka plodnost je odlika karbonatnih, izluženih i oglejenih černozema, a

najnižu plodnost imaju zaslanjeni, alkalizirani i erodirani varijeteti. Intenzivnim korištenjem, uz relativno nisku agrotehniku i plodnost černoze se ubrzano smanjuje. Značajno opada sadržaj humusa i hraniva, pogoršava se struktura tla, javlja erozija, a kod nekih varijeteta i prisutne su i plitke podzemne vode. Stoga je u intenzivnoj eksploataciji černoze dobro uvesti gnojdbu stajnjakom, plodored s višegodišnjim travama zbog sprječavanja pogoršavanja fizikalnih svojstava te tako usporiti procese mineralizacije organske tvari. Također, produbljivanje oraničnog sloja u kombinaciji s organskom gnojidbom značajno smanjuje opasnost stvaranja "tabana pluga", zbijenost i poboljšava procjeđivanje vode, a kako se černozi nalaze u semiaridnoj klimatskoj zoni u blizini velikih rijeka, navodnjavanje je efikasna mjera protiv suše.

Koluviji (slabo razvijena tla nastala na erozivnim sedimentima premještenih s viših terena) s prevagom sitnice i naročito dubokom podzemnom vodom, intenzivno se koriste u poljodjelskoj proizvodnji. Na površinama bez navodnjavanja prevladava uzgoj ratarskih kultura. Mjere koje se mogu primijeniti za povećanje produktivnosti su zaštita od erozije, navodnjavanje, humizacija, melioracijska gnojdba mineralnim gnojivima, produbljivanje oraničnog sloja, regulacija potoka i rijeka na nagnutim terenima brdskog područja.

Crvenice (*terra rossa*; karakteristična je za sredozemno krško područje sa znatnom količinom oborina) su osrednjih proizvodnih sposobnosti. Pošto su to plitka tla s puno skeleta, lako stradavaju od suše. Glavne mjere popravke su humizacija, intenzivna gnojdba fosfornim i dušičnim gnojivima, borba protiv suše navodnjavanjem, protu erozijske mjere zaštite tla od erozije vodom i vjetrom. Crvenice se koriste se u intenzivnom uzgoju niza poljoprivrednih kultura (duhan, vinova loza, voće i povrće), a dug vegetacijski period u mediteranskom području omogućava da se uz navodnjavanje dobiju i dvije žetve godišnje.

Lesivirana tla (tlo u kome su glina i prah isprani iz gornjih slojeva u vodonepropustan horizont (Bt), umjereno su kiselo i slabije plodnosti) imaju vrlo različitu plodnost, ovisno o intenzitetu procesa *lesiviranja*. Ako je proces slabo izražen tla su plodnija, jer je omogućeno zadržavanje vlage, slabije su zbijena pa je ukorjenjivanje biljaka olakšano. Jače *lesivirana*

(isprana) tla imaju nizak sadržaja humusa, malu stabilnosti strukturnih agregata, pojačano zbijanje uz slabu drenažu (procjeđivanje vode), jako su kisela, a na padinama su izložena jakoj eroziji. Agrotehničke mjere popravke lesiviranih tala su duboko oranje (barem do 40 cm), odnosno miješanje oraničnog i pod oraničnog sloja čime se uklanja zbijenost i poboljšava vodo propusnost, a dio glinenih čestica, uključujući baze (Ca i Mg) i organske tvari se vraća u oranični sloj. S obzirom na niski sadržaj pristupačnih hraniva, preporučljivo je duboko oranje lesiviranih tala kombinirati s pojačanom gnojidbom, dok kalcizaciju, kao mjeru kemijske popravke, najčešće nije potrebno provoditi. Na nagnutim terenima potrebno je u agrotehniku uključiti i uobičajene protu erozijske mjere.

Pseudogleji (stari naziv je *parapodzol*; tip tla male plodnosti, uvjetovan periodičnim prekomjernim vlaženjem oborinskom vodom, slabe poroznosti, umjereno do jako kiseo) bez provedenih hidro i agrotehničkih melioracija imaju nisku proizvodnu sposobnost, a daju vrlo promjenjive prinose, što uvelike ovisi o količini i rasporedu oborina te primijenjenoj agrotehnici. Međutim, u intenzivnoj poljodjelskoj proizvodnji, naročito voćarstvu i vinogradarstvu, uz melioracijsku gnojidbu i druge popravke pred zasnivanje nasada, pseudogleji mogu imati zadovoljavajuću do visoku produktivnost. Problem suvišnih površinskih oborinskih voda može se riješiti kombinacijom *baulacije* (*naoravanje*), *drenažnih kanala* i *rigolanja* minimalno na dubini 50 - 70 cm. Dubokim oranjem ili rigolanjem povećava se vodo propusnost, poroznost, kapacitet za zrak i omogućuje *aeracija* (prozračivanje). Ako se duboka obrada pseudogleja kombinira s melioracijskom PK gnojidbom, kalcizacijom, primjenom stajnjaka i zelenom gnojidbom (*sideracija*) omogućeno je postizanje visokog i kvalitetnog prinosa. *Kalcizacija* (vapnjenje; podizanje pH vrijednosti unošenjem vapnenih materijala) pseudogleja može izazvati deficit fosfora kao i mikroelemanta iz grupe teških metala, posebice željeza, cinka i mangana. Na ratarskim se površinama mogu provesti mjere podriivanja, krtičenja ili postavljanje cijevne drenaže. Od protu erozijskih mjera može se primijeniti terasiranje, zatravljivanje u plantažnim nasadima, konturna obrada i sadnja.

Aluvijalna tla (*fluvisol*; mlada, rastresita, porozna i pretežno plodna tla nastala na sedimentnim nanosima rijeka) su izložena poplavama uz nanošenje skeleta i pijeska, a u skeletnim i lako propusnim pjeskovitim formama usjevi često stradavaju od posljedica suše. Stoga je potrebno provesti hidro melioracijske zahvate kao što su obrana od poplava, snižavanje razine podzemne vode kanalskom mrežom, navodnjavanje skeletnih i pjeskovitih formi. Uz navodnjavanje je obvezna i humizacija te gnojidba visokim dozama dušičnih i fosfornih gnojiva.

Semigleji (*humofluvisol*; *livadni černoziem*) se mogu svrstati u kategoriju naših najplodnijih tala jer su to duboka tla, dobro opskrbljena hranivima i dobrog vodozračnog režima. Usjevi na ovom tipu tla vrlo rijetko stradavaju od suše zbog kapilarnog uspona podzemne vode koja u sušnijim periodima omogućava dodatno vlaženje. Razoravanjem djevičanskog semigleja dobiju se visoko produktivna tla ukoliko su provedene potrebe hidrotehničke mjere (zaštita od poplava).

Ritske crnice (*humoglej*; *močvarno tlo* pod utjecajem podzemne vode koja jako oscilira) imaju vrlo dobru produktivnost, a većina poljoprivrednih površina pod ovim tlama je meliorirana (te lako evoluiraju u semiglejna tla). Mjere popravke su zaštita od poplava, odvodnja, adekvatna agrotehnika (duboka obrada, pravilan izbor trenutka obrade kod donje granice plastičnosti, borba protiv korova, gnojidba mineralnim gnojivima, naročito fosfornim); popravak fizikalnih svojstava i u sušnim godinama navodnjavanje (ili ubacivanje vode crpkama u otvorenu kanalsku mrežu). Za stabilne prinose, koji mogu dostići i znatno premašiti one na černoziemima i semiglejima, potrebno je provesti niz hidrotehničkih i agrotehničkih zahvata. U prvom redu to je obrana od poplava; zatim odvodnja suvišnih voda, odnosno snižavanje razine podzemne vode kanalskom mrežom i cijevnom drenažom; prorahljivanje, naročito teških glinastih formi za uređivanje vodozračnog režima i navodnjavanje u sušnijim godinama.

Močvarno glejna tla (*euglej*) su bez melioracijskih zahvata nisko produktivna te je u tom slučaju njihovo korištenje ograničeno na košnju trske i rogoza ili sakupljanje nekvalitetnog sijena s vlažnih livada. S obzirom na podrijetlo suvišne vode euglej se dijeli na hipoglej (visoka podzemna

voda), *epiglej* (suvišna površinska voda, npr. poplavna) i *amfiglej* (suvišak podzemne i površinske vode). Za popravak eugleja potrebno je provesti niz različitih melioracijskih zahvata kao što su odvodnja, duboka obrada i melioracijska gnojidba mineralnim gnojivima. Hidrotehničke melioracijske mjere imaju za cilj spuštanje razine podzemnih voda drenažom (otvorena kanalska mreža ili podzemna drenaža), sprječavanje poplava podizanjem nasipa i obrana od slivnih voda dizanjem razine perifernih dijelova parcela. Nakon provedenih hidrotehničkih zahvata može se dogoditi da u aridnim područjima eugleji ljeti stradavaju od suše pa je potrebno provesti i navodnjavanje. Ako podzemne vode nisu zaslanjene, najbolje je da se primjenjuje podzemno navodnjavanje (*subirigacija*). Dubokom obradom eugleja intenziviraju se procesi razgradnje (*mineralizacija*) organske tvari uz pad sadržaja humusa.

Fizikalno-kemijska svojstva tla

Pokazatelji plodnosti ili kakvoće tla

Kakvoća tla je vrlo kompleksno svojstvo tla koje se ipak može dobro procijeniti temeljem mjerenja pojedinih *indikatora* (*pokazatelji*; *atributi*) njegove plodnosti, ali i redovitim posrednim opažanjem. Za poljoprivrednu proizvodnju vrlo je važno da procjena plodnosti tla bude relativno jednostavna, ali istovremeno da na točan način rangira kakvoću (*bonitiranje*) utemeljenu na potencijalnoj biljnoj proizvodnji koja se može ostvariti i to bez oštećenja tla ili nedopuštenog utjecaja na okoliš. Nažalost, u mnogo slučajeva, vrlo često se utvrđeni parametri kakvoće tla ne mogu povezati s visinom prinosa. Razloga je više, od izbora loših metoda za vrednovanje tala, odnosno lošeg sustava bonitiranja, pa sve do neprimjerene agrotehnike, nepoštivanja agrotehničkih rokova itd.

Fizikalni pokazatelji

Fizikalna svojstva vrlo su važan dio kakvoće jer se te odlike tla ne mogu lako, jednostavno i brzo poboljšati, ali se zato neodgovarajućom obradom i drugim agrotehničkim zahvatima vrlo brzo pogoršavaju (npr. zbijanje,

pogoršavanje strukture, gubitak organske tvari, snižavanje biogenosti i dr.). Fizikalni pokazatelji kakvoće tla, koji bitno utječu na proizvodnju usjeva, moraju dati odgovor na slijedeća pitanja:

- 1) Može li tlo omogućiti nesmetan rast korijena, odnosno sadrži li pore potrebne veličine i dovoljnu dubinu zemljišta iznad matične stijene ili supstrata od kojeg je nastalo tlo (*solum*) za rast i aktivnost korijena,
- 2) U kojoj mjeri se tlo suprotstavlja zbijanju i drugim deformacijama, te koliko brzo se popravljaju struktura tla i
- 3) Koliki je kapacitet tla za vodu i zrak.

Čimbenici kao što su *efektivna dubina*, *poroznost* ili *raspodjela veličine pora*, *volumna gustoća*, *hidraulička provodljivost*, *tekstura* i *struktura* su vrlo značajni indikatori kakvoće tla koji su opisani u daljnjem tekstu. Međutim, mnogi procesi koji pridonose boljoj strukturi, stabilnosti zemljišnih agregata, gustoći i poroznosti tla, nisu posve razjašnjeni pa se teško može djelovati u pravcu njihove promjene. Dubina tla je dobar primjer svojstva koje se lako i točno utvrđuje, a pruža izravne informacije o mogućnosti uzgoja pojedinih vrsta biljaka. Mnoge biljne vrste se relativno plitko ukorjenjuju dok se duboko ukorjenjuju neke žitarice i neke mahunarke (npr. lucerna).

Kemijski indikatori

Kemijske komponente kakvoće tla mogu biti poželjne, ali i nepoželjne, ovisno o vrijednostima unutar širokog ranga pojedinog kemijskog indikatora. Npr., pH vrijednost tla, može biti pozitivno ili negativno svojstvo pa je pH između 6,0 - 7,5 optimalan za većinu usjeva, dok niže ili više vrijednosti (kiselo ili alkalno tlo) mogu predstavljati ozbiljan problem u bilinogojstvu. Treba istaći da biljke ipak bolje podnose niže pH vrijednosti (kisela tla) u odnosu na visok pH (alkalno ili lužnato tlo). U loša kemijska svojstva tla pored nepovoljne pH vrijednosti ubrajaju se još nedostatak hraniva, manjak organske tvari i prisutnost tvari koje koče rast korijena (*inhibicija*) što rezultira niskim prinosom za većinu biljaka.

Procjena kakvoće tla na temelju njegovih kemijskih svojstava, utvrđivanje raspoloživosti hraniva ili pak njegovog onečišćenja, zahtijeva prethodno uzorkovanje tla, primjenu adekvatnih metoda kemijske analize i ispravno

tumačenje tih rezultata, odnosno razumijevanje kako kemijska svojstva tla utječu na biološke sustave, posebice uzgajane biljke (*agroflocenoze*). Važno je istaći kako kemijska svojstva tla ne utječu univerzalno, niti podjednako na biljnu produkciju pa se rezultati kemijske analize moraju umjeriti (*kalibracija*) pomoću poljskih pokusa i bioloških testova za svako konkretno proizvodno područje, obzirom na zemljišne, klimatske i biljne čimbenike. Naime, raspoloživost hraniva ovisi o fizikalnim i kemijskim svojstvima tla, ali i procesima u tlu, kao što su npr. vremenske prilike, sadržaj organske tvari, sorptivna svojstva tla (kapacitet za vezivanje kationa; KIK), pH i dr.

U kiselim ili alkalnim tlima neke hranjive tvari slabo su dostupne biljkama, dok toksični elementi postaju pokretljivi (*mobilitet*), odnosno aktivni. Stoga su propisane standardne metode kako bi se omogućila potrebna kakvoća mjerenja i usporedba rezultata te omogućilo pouzdano tumačenje rezultata kemijske analize tla putem *rangova* i *referentnih* ili *graničnih vrijednosti*. Premda je teško odrediti razinu pojedinog kemijskog spoja koju se smatra *ekološkim rizikom*, svakako je potrebno definirati granice fizikalnih, kemijskih i bioloških stanja/svojstva tla kao prihvatljiva ili neprihvatljiva.

Biljke indikatori fizikalno-kemijskih svojstava tla

Mnoge, naročito nekultivirane biljke mogu biti veoma dobro prilagođene (*adaptacija*) na loša kemijska svojstva tla. Pažljivim promatranjem proizvodne površine i procjenom najviše rasprostranjenih korova može se približno odrediti pH reakcija tla, njegova plodnost, dobra snabdjevenost ili deficit pojedinih, biljkama neophodnih hraniva. Korovi mogu dobro ukazati na zbijenost tla te njegovu lošu dreniranost, odnosno poremećene vodno-zračne odnose. Npr., na plodno tlo ukazuje prisustvo čička, mračnjaka, mišjakinje, cikoriije (vodopija), maslačka, štira, lobode, divlje mrkve i mnogih drugih korovnih vrsta. Brokula, kukuruz, zelena salata, dinja, paprika, tikvice i rajčice su biljke koje zahtijevaju dobru ishranu i dobro napreduju na plodnom tlu.

Boja cvjetova različka (*Centaurea cyanus*) izvrstan je pokazatelj pH tla jer su u kiseloj sredini ružičasti, a u alkalnoj plavi. Također, veliki broj korovskih

vrsta svojom pojavom ukazuje na kiselost tla, npr. ljutić, kamilica, štavelj, tratinčica, maslačak, mahovina, divizma, kopriva, divlja mačuhica, trputac, obična kiselica, čičak, divlje jagode i mnoge druge vrste. Biljke koje rastu dobro na kiselom tlu su azaleja, borovnice, endivija, hortenzije, rabarbara, krumpir, luk, slatki krumpir, lubenice itd.

Alkalno tlo ima pH veći od 7,5 i najčešće sadrži puno kalcija i magnezija, a *halomorfna tla* ili slatine (*alkalizirana* i *slana tla*) sadrže različite štetne soli ili suvišak natrija. Korovi koji ukazuju na alkalno tlo su zvončić, divlja mrkva, loboda, crna bunika i mnoge druge. Šparoge, brokula, šećerna repa, salata, dinje, luk, špinat i dr. dobro uspijevaju na alkalnom tlu.

Na teškim glinovitim tlima često se nalazi divlja mrkva, cikorija, puzajući ljutić, tratinčica, maslačak, trputac, poljski osjak i mnogi drugi. Vlažna, slabo drenirana tla dobro su stanište za slak, šaš, podbijel, ljutić, štavelj, ivančicu, preslicu, pjegavi dvornik, sve vrste mahovina, srebrnasti petoprst, čestoslavica itd. Na takvim tlima može se očekivati dulje ležanje vode nakon obilnijih oborina. Korovi koji ukazuju na zbijenost tla, kao i „taban pluga“ ili „taban tanjurače“ su gorušica, slak, kamilica, pirika i dr. Na zbijenim tlima dobro uspijevaju, brokula, kupus, cvjetača i gorušica.

Korovi koji rastu na lakim, pjeskovitim tlima su poljska salata, poljski slak, razlićak, mala kopriva, žuti lanilist i dr.

Na zaparloženim tlima (koja su ranije bila korištena), česte su mišjakinja, maslačak, bijela loboda, trputac, tušt (jestivi prkos), ambrozija, štir itd.

Korovi su i vrlo dobri indikatori opskrbljenosti tla pojedinim biogenim elementima:

- Vlasnjača (*Poa annua*) ukazuje na nizak sadržaj kalcija i humusa, slabu *biogenost* (mali broj mikroorganizama u tlu) i visoke razine magnezija;
- Čičak (*Arctium lappa*) rado raste na tlu vrlo bogatom u željezu i sumporu, a niske raspoloživosti kalcija i magnezija;
- Trputac (*Plantago sp.*) ukazuje na vrlo niske razine kalcija, nisku razinu humusa, kao i vrlo visok sadržaj klora, magnezija, kalija i natrija;
- Mišjakinja (*Stellaria media*) ukazuje na nisku razinu kalcija i fosfora i vrlo visoke razine kalija i natrija;

- Svračica (*Digitaria sanguinalis*) pokazuje da su u tlu vrlo niske razine kalcija i fosfora, nizak pH, malo humusa, a vrlo visoke razine klora, magnezija i kalija;
- Maslačak (*Taraxacum sp.*) indicira vrlo nisku razinu kalcija, a vrlo visoke razine klora i kalija, dok prkos i gorušica pokazuju obilje fosfora;
- Djetelina (*Trifolium sp.*) ukazuje na višak kalija, loboda (*Chenopodium album*) obilje dušika, dok stolisnik (*Achillea millefolium*) pokazuje nisku razinu raspoloživog kalija.

Dubina tla

Poljoprivredna tla moraju imati dovoljnu dubinu *soluma* za potrebe ishrane i učvršćivanje biljaka. S druge strane, obrada tla, sjetva, sadnja, gnojidba, pa i druge agrotehničke mjere, zahtijevaju potrebnu dubinu soluma. Porastom dubine soluma povećava se korijenska zona (*rizosfera*) i raste volumen tla iz kojega se biljke opskrbljuju hranivima i vodom. U ranom porastu (klijanje, nicanje, izduživanje) korijen se nalazi na nekoj početnoj (inicijalnoj) dubini (uglavnom <10 cm) i rastom prodire u tlo u potrazi za hranom i vodom. Neprestanim rastom (tzv. *otvorena organizacija korijena*), posebice glavnog korijena čija je osnovna funkcija osigurati dovoljno vode, korijen prodire kroz slojeve tla različite teksture i strukture. Budući da podoranični sloj sadrži uobičajeno više gline uz slabu propusnost, voda se često zadržava iznad te nepropusne zone (tzv. *waterlogging*) uz štetne posljedice za korijen. Naime, u *reduktivnim uvjetima* (nizak pH, nedostatak kisika, odnosno *hipoksija* pa i *anaerobioza*; manjak ili odsustvo kisika) životna aktivnost korijena drastično opada što se odražava odmah na rast i razvitak biljaka.

Podoranični sloj često može biti "zacementiran" (tzv. *hardpan*), a kako se plitak *solum* najčešće nalazi na podlozi od čvrste stijene ili na sedimentima (prapor, pijesak, šljunak, konglomerat i breča), to predstavlja poteškoće u rastu korijena, odnosno biljaka. Vrlo česta prepreka korijenskom rastu je kemijske naravi (npr. ekstremno nizak ili visok pH, zaslanjenost i dr.) što veoma restriktivno utječe na rast korijena. Pukotine u čvrstom podoraničnom sloju omogućuju pak biljkama moćnog korijena, npr.

drvenastim vrstama, vinovoj lozi i dr., usvajanje vode (i hrane) s velikih dubina, često većih i od 20 m.

Punu efektivnu dubinu korijena, s koje korijen još uvijek može usvojiti dovoljnu količinu vode, biljke dostižu sredinom vegetacije i ona prosječno iznosi 70 % od njegove maksimalne dubine. Tablica 2. pokazuje potrebnu dubinu soluma za ukorjenjivanje nekih poljoprivrednih biljnih vrsta.

Dubina tla može se iskazivati i kao apsolutna veličina, ali za poljoprivrednu namjenu važnija je *efektivna dubina tla*, tj. *dubina fiziološki aktivnog profila* u kojem korijen biljke nalazi vodu, kisik i neophodna hraniva i ima pomoć korisnih mikroorganizama (*rizoflora*).

Tablica 2. Odgovarajuća dubina korijena nekih biljaka

Plitko ukorjenjivanje (30 - 60 cm)	krstašice (kupus, cvjetača i sl.), celer, salata, luk, krumpir, špinat, povrće (izuzev kad je korijen repa), mrkva, krastavac
Srednje ukorjenjivanje (60 - 100 cm)	grah, stočna repa, djetelina, krastavac, grašak, paprika, soja, šećerna repa, suncokret, duhan, rajčica
Duboko ukorjenjivanje (100 - 150 cm)	vinova loza, limun, listopadno voće, masline, lucerna, ječam, pamuk, lan, kukuruz, lubenice, zob, sirak, pšenica

Raspored i količina biljnih hraniva mijenja se vremenom, ali i po dubini, ovisno o zemljišnim, klimatskim i biljnim čimbenicima, što je izuzetno važno za raspoloživost hraniva i njihovo usvajanje korijenom. Stoga se kod nekih metoda utvrđivanje potrebe za gnojidbom (npr. N_{min} metoda) i za pojedine nasade (npr. vinogradi, voćnjaci) utvrđuje raspored i količina hraniva po dubini profila, pri čemu se mora voditi računa i o njihovoj pokretljivosti, odnosno premještanju u tlu. Npr. sulfati, kloridi i natrij lako se premještaju u dublje slojeve soluma, dok je koncentracija slabo pokretnih fosfora i kalija najveća u oraničnom sloju, odnosno tamo gdje se unose gnojidbom. Elementi čija je rezerva u tlu pretežito u organskoj tvari (C i N) nalaze se također najvećim dijelom u gornjim slojevima soluma.

Tekstura i struktura tla

Čvrstu fazu tla čine čestice *primarnih i sekundarnih minerala (mehanički elementi tla)* različite veličine i udjela (*tekstura tla*), koje su međusobno prostorno povezane (*struktura tla*), pri čemu su između njih pore ispunjene vodom i zrakom. Dakle, pod *teksturom* se podrazumijeva udio pojedinih čestica u građi čvrste faze tla ovisno o njihovoj veličini, dok *struktura (pedality)* označava njihov međusobni raspored. Ta dva svojstva tla su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju vrlo značajan čimbenik rasta biljaka i tvorbe prinosa. Povoljna struktura i tekstura tla znače i dobru poroznost i dreniranost tla, dakle dobre uvjete za rast korijena, povoljan vodozračni režim, odnosno dobru vododrživost i prozračnost tla. Stoga se tekstura s pravom smatra mjerom kojom se dobro procjenjuje potencijalna plodnost nekog tla.

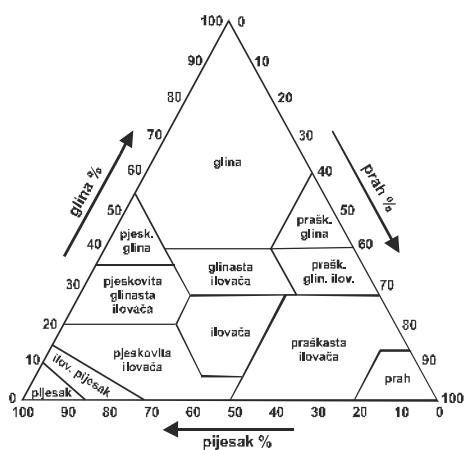
Veličina čestica tla u principu ovisi o materijalu na kojem je tlo u procesu pedogeneze nastalo, odnosno svojstava matičnog supstrata, a određuje se laboratorijskim metodama mehaničke analize tla koje se temelje na brzini taloženja čestica različite mase u vodenoj otopini nakon raspada svih strukturnih agregata tla. Ovisno o promjeru, čestice se svrstavaju u najmanje tri klase:

- *pijesak* (0,02 - 2,00 mm ili 0,05 - 2,00 mm),
- *prah* (0,002 - 0,02 mm ili 0,002 - 0,05 mm) i
- *glina* (<0,002 mm).

Česta je praksa da se čestice pijeska dijele na krupni (2,0 - 0,2 mm) i fini pijesak (0,20 - 0,02 mm), a još krupnije frakcije, prisutne na skeletnim tlima, svrstavaju se u šljunak (sitani i krupni). Relativni odnosi između navedenih grupa čestica koriste se za determinaciju tla prema teksturnim klasama (Slika 2.; lijevo).

Povezivanjem pojedinih čestica primarnih i sekundarnih minerala pomoću organske tvari tla nastaju sekundarne čestice (Slika 2.; desno), odnosno *makro* i *mikro strukturni agregati*. Sitniji *mikroagregati* se povezuju u veće *makroagregate*, koji zapravo čine strukturu tla. Najčešće se smatra kako je granica između te dvije kategorije promjer 0,25 mm, pa one čiji je promjer veći od toga svrstavamo u makro, a manje u mikroagregate.

Tla kod kojih je povezivanje (*agregacija*) mehaničkih elemenata slabo izražena su *nestrukturna* i u tu grupu ulazi većina pjeskovitih tala, ali i neka teška glinasta. Stabilnost agregata određena je najviše kakvoćom organske tvari koja predstavlja „ljepilo“, odnosno *adhezivno sredstvo*, a shematski izgled organomineralnog kompleksa tla prikazuje Slika 2; desno. Kao mjera stabilnosti strukturnih agregata uzima se njihova otpornost na raspadanje pri vlaženju, iako je zapravo puno važnije da se agregati tla ne raspadaju tijekom obrade.



Teksturane klase tla



Organomineralni kompleks tla kao temelj strukture

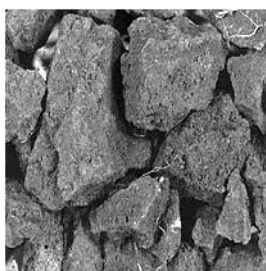
Slika 2. Trokut za determinaciju teksture (lijevo) i shematska građa organomineralnog kompleksa tla (desno)

Teksturana svojstva tla, prije svega poroznost, sposobnost upijanja (*infiltracija*) i provođenja vode (*konduktivitet*) utječu na ishranu bilja izravno preko mogućnosti opskrbljivanja korijena vodom i zrakom (Tablica 3.). Kod zasićenja pora tla vodom nedostaje kisik potreban za disanje korijena i mikrobiološku razgradnju (*oksidacija*) organske tvari tla. Smatra se da *anoksija* (nedostatak kisika) nastupa kada je 4 % (ili manje) volumena tla ispunjeno zrakom pri čemu dolazi do prestanka disanja korijena i postupnog odumiranja korijena. Problemi nastaju puno ranije, već kada je zrakom ispunjeno ispod 10 % zapremine tla.

U zoni korijena (*rizosfera*) se vrlo često zapaža mali manjak kisika, a kod jačeg nedostatka prekida se disanje i zaustavlja usvajanje hraniva pa uskoro nastupa odumiranje korijena. U nedostatku kisika u tlu se nakuplja ugljični dioksid (CO_2) koji usporava disanje korijena, ali i mikrobiološku aktivnost. Ugljični dioksid se lako otapa u vodi tla i gradi *karbonatnu* (ugljičnu) kiselinu koja potpomaže usvajanje hraniva jer prevodi nepristupačne (*rezervne hranjive tvari*) u oblike koje korijen može usvajati. Stoga mala količina ugljičnog dioksida u tlu (1 - 2 % CO_2) može djelovati stimulatивно na rast korijena, ali više od 5 % ima inhibitorni utjecaj, odnosno dovodi do smanjenog intenziteta disanja korijena. Tablica 4. pokazuje toleranciju nekih biljnih vrsta na manjak kisika i višak ugljičnog dioksida oksida u tlu.



Mrvičasta (1-10 mm)



Grudvasta (5-50 mm)



Pločasta (1-10 mm)



Prizmatična (10-200 mm)



Stubasta (10-200 mm)

Slika 3. Glavni tipovi strukture tla

Problemi vezani uz poroznost tla u poljoprivrednoj proizvodnji vrlo često su izazvani čestim mehaničkim zbijanjima teškom mehanizacijom, posebice u uvjetima veće vlažnosti tla, što izaziva porast *mehaničke impendence* (otpor tla pri obradi) s višegodišnjim negativnim promjenama uz primjetno snižavanje efektivne plodnosti tla. Ipak, tlo posjeduje *mehanički* ili *fizički pufarni kapacitet*, odnosno otpornost na strukturne deformacije, te se

može manje ili više djelotvorno oduprijeti mehaničkim deformacijama, ali i obnoviti odgovarajuće stanje strukturnosti, u kraćem ili dužem razdoblju.

Vrlo su česti problemi u uzgoju bilja izazvani lošom strukturom tla ili lošim vodozračnim režimom, premda se mogu ukloniti različitim tehnikama, od uređenja tla adekvatnom obradom (npr., duboka obrada, podrivanje, postavljanje drenaže i dr.), češćom primjenom organske i/ili zelene gnojidbe, pa sve do primjene različitih kondicionera ili poboljšivača tla (npr., humizacija, kalcizacija i dr.). Višak vode, bez obzira kako nastaje (podzemna ili površinska voda), izravno utječe na loše prozračivanje tla i snižavanje raspoloživosti kisika u zoni korijena, odnosno *hipoksiju*, ili u ekstremnim slučajevima (poplava, pokorica, ledena kora i dr.) *anoksiju*, što izravno smanjuje usvajanje vode i hraniva korijenom i rezultira usporenim rastom te konačno i niskim prinosom loše kakvoće.

Tablica 3. Utjecaj teksture tla na intenzitet upijanja (infiltracije) vode u tlo i njegov kapacitet sorpcije kationa (KIK)

Tekstura tla	Intenzitet infiltracije (mm h^{-1})		KIK ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$)
	tlo bez vegetacije	tlo pod vegetacijom	
Glina	0 - 5	5 - 10	>30
Glin. ilovača	5 - 10	10 - 20	15 - 25
llovača	10 - 15	20 - 30	15 - 20
Pjes. ilovača	15 - 20	30 - 40	5 - 15
Pijesak	20 - 25	40 - 50	<5

Tablica 4. Tolerancija biljaka na deficit O_2 i suficit CO_2 u tlu

Tolerancija	Biljna vrsta	O_2 %	CO_2 %
Visoka	riža, šećerna repa	< 1	< 10
Srednja	zob, ječam, jabuka	< 5	< 15
Niska	kukuruz, duhan, grah	< 10	< 10

Stabilnost strukturnih agregata tla može se poboljšati redovnim unošenjem organske tvari, npr. humizacijom, zaoravanjem svih žetvenih ostataka, organskom gnojdbom, zelenom gnojdbom (*sideracija*) te primjenom kondicionera za popravak strukture (npr. kalcizacija). Organska gnojidba i

zaoravanje veće količine žetvenih ostataka pospješuje mikrobiološku aktivnost tla (*biogenost tla*) i poboljšanje strukture.

Pogoršavanjem strukture tla (*degradacija*) snižava se njegova kakvoća uz istodobno smanjenje kapaciteta proizvodnje. Tla mogu biti manje ili više degradirana, sve do jako erodiranih (Slika 4.) plitkog soluma, s malo organske tvari, niskog ili nedovoljnog sadržaja hranjivih tvari, pretjerano zbijena i dr. Korištenjem vode loše kakvoće za navodnjavanje tla mogu biti zaslanjena, osobito u plastenicima ili staklenicima.



Baranjska planina – pojava sirozema na vrhu i erozivnog depozita ispod brda



Baranjska planina – jaka erozija vodom na nagnutim položajima

Slika 4. Erozijski procesi i pojava sirozema (prapornog matičnog supstrata) na nagnutim položajima Baranjske planine 2005. god. (foto: Vladimir Vukadinović)

Procesi koji vode u degradaciju su isključivo posljedica lošeg gospodarenja tлом koje odudara od dobre poljoprivredne prakse te se moraju i mogu izbjeći. U ekstremnim slučajevima, degradacija tla može dovesti do *dezertifikacije* (nestanka vegetacije i pretvaranje zemljišta u pustinju),

posebice u polusušnim (*semiaridnim*) i sušnim (*aridnim*) područjima. Intenzivna degradacija tla, koja se zapaža u životu jedne ljudske generacije, zahtijeva trenutnu promjenu načina korištenja tla radi njegovog očuvanja i zaštite od štetnih procesa.

Tvorba gline u tlu je veoma spor proces (~ 10 kg gline $\text{ha}^{-1} \text{god}^{-1}$), a njezini gubici (*erozija* i *eluvijacija*) mogu često biti znatno viši od tvorbe i iznositi više desetina ili stotina tona godišnje po jednom hektaru.

Ovisno o stupnju i intenzitetu degradacije, postoji više učinkovitih metoda kojima se može zaustaviti ili minimizirati degradacija tla. Npr. *erozija vjetrom* (*eolska erozija*) može se spriječiti podizanjem *vjetrozaštitnih pojasa*, a erozija vodom primjenom adekvatne agrotehnike, npr. *no-till* (bez obrade), konzervacijskom i konturnom obradom (po izohipsama, a ne niz padinu), terasiranjem, sjetvom pokrovnih usjeva i siderata, malčiranjem, zatravljivanjem voćnjaka i vinograda i dr. Zaštita od erozije posebno je važna na nagnutim tlima lakog mehaničkog sastava, pjeskovite i praškaste teksture. Moćna zaštita od erozije i zbijanja tla su pokrovni usjevi koji se siju između dvije vegetacijske sezone, čime se tlo ne ostavlja golo i izloženo eroziji. Također, sjetva među usjeva (*strip cropping*) u trajnim nasadima povećava infiltraciju vode u zonu korijena, potiče mikrobiološku aktivnost, sprječava rast korova i formiranje pokorice. Ako su siderati, pokrovni ili među usjevi iz porodice leguminoza, tlo će biti i dodatno obogaćeno dušikom.

Pjeskovita tla su vrlo porozna, brzo upijaju vodu (*infiltracija*), više od 50 mm po satu, a zatim se vrlo brzo suše i zadržavaju nedovoljno vode za potrebe biljaka. Srednje teška, *ilovasta tla* upijaju od 5 do 20 mm vode po satu, rahla su i porozna te dobro zadržavaju vodu nakon kiše ili navodnjavanja. Najteža, glinasta tla sporo upijaju vodu, manje od 5 mm vode po satu, vrlo su kompaktna s malim porama te čvrsto vežu vodu pa je ona slabo dostupna biljkama. Zbog toga je na glinovitim tlima voda nepristupačna biljkama i kad je njen sadržaj 20 % ili više u tlu,.

Tekstura tla se može približno odrediti jednostavnim testom na polju (tzv. *hand* ili *feel test*) tako da se od vlažnog tla načini loptica. Ako se ona na slab pritisak raspada, tlo je lako, odnosno pjeskovito. Od ilovastog tla pod pritiskom prstiju mogu se napraviti kratke trake tla, a od teških, glinastih

tala lako se prave trake dulje od 5 cm koje se na vrlo teškim glinama mogu spojiti u prsten bez njegovog pucanja.

Reakcija ili pH vrijednost tla

Reakcija tla se mjeri i iskazuje kao pH-vrijednost koja je pokazatelj niza veoma važnih agrokemijskih (fizikalnih, kemijskih i bioloških) svojstava tla važnih za rast i razvitak te visinu i kakvoću prinosa. pH vrijednost tla, kao i njegov *oksidno-redukcijski potencijal*, određen je podjednako mineralnim i organskim dijelom tla. Kemijski gledano, pH-vrijednost predstavlja negativan dekadski logaritam koncentracije slobodnih vodikovih iona u tlu (električno nabijeni atomi vodika; H^+), odnosno njihovog aktiviteta. Budući da vodikovi ioni mogu u tlu biti vezani na više načina, kao i različitom čvrstoćom na mineralni i organski dio tla, razlikuje se *aktualna, izmjenjiva i hidrolitička* pH-reakcija tla.

Aktualna pH-reakcija tla je posljedica prisutnosti slobodnih iona u vodenoj fazi tla, najviše vodikovih H^+ , ali i aluminijevih (Al^{3+}) te hidroksilnih (OH^-). Najveći dio tih iona nalazi se vezan na *koloide tla* (tzv. *adsorpcijski kompleks tla*) koji čine glina i humus, odnosno koloidne čestice radijusa $<0,002$ mm) na temelju razlike u električnom potencijalu. Njihovom zamjenom drugim ionima (disociranim organskim i mineralnim kiselinama ili kiselim solima) prelaze u vodenu otopinu tla. Aktualna kiselost ili alkalnost tla određuje se *elektrometrijski* (pH-metrom) u vodenoj suspenziji tla, a gradaciju kiselosti, odnosno alkalnosti pokazuje Tablica 5.

Izmjenjiva pH-reakcija ili *supstitucijska kiselost tla* određena je prisutnošću vodikovih (H^+) iona i dijelom iona aluminija i željeza koji se djelovanjem neutralnih soli (standardno u otopini 1 mol dm^{-3} KCl) zamjenjuju s adsorpcijskog kompleksa i prelaze u vodenu fazu tla. Budući da kiselost ovog tipa nastaje zamjenom iona na adsorpcijskom kompleksu tla, na nju utječe unošenje većih doza gnojiva u obliku soli kao što su npr. $(NH_4)_2SO_4$, KCl itd. Vrijednosti izmjenjive pH reakcije tla obično su niži u odnosu na aktualnu za ~ 1 pH jedinicu. Budući da je pH dekadski logaritam aktiviteta vodikovih iona, to znači da je koncentracija kiselih iona 10 puta veća pri mjeranju u otopini KCl-a. Dakle, kad je razlika u pH-vrijednosti dva tla 1 pH,

tlo s nižom vrijednosti je 10 puta kiseliije, kad je razlika 2 pH, tlo je 100 puta, a kod razlike 3 pH jedinice, tlo je 1000 puta kiseliije.

Tablica 5. Kategorije aktualne pH-vrijednosti tla

Kategorija pH-reakcije tla	pH-vrijednost
Ekstremno kiselo	3,50-4,50
Vrlo jako kiselo	4,51-5,00
Jako kiselo	5,01-5,50
Umjereno kiselo	5,51-6,00
Slabo kiselo	6,01-6,50
Neutralno	6,51-7,30
Slabo alkalno	7,31-7,80
Jako alkalno	7,81-8,50
Ekstremno alkalno	8,51-9,00

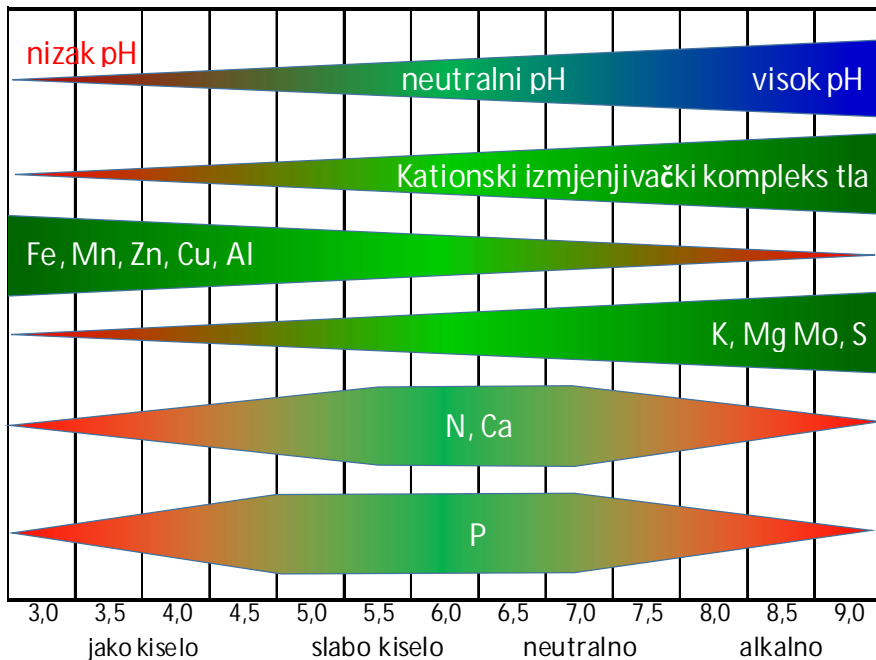
Izmjenjiva pH-reakcija pruža neposredan uvid u stanje adsorpcijskog kompleksa tla što ukazuje indirektno i na druge uvjete koji određuju hranidbena svojstva tla, pa je njezino određivanje uvijek sastavni dio kemijske analize tla.

U posljednje vrijeme sve se češće koristi određivanje izmjenjive pH-reakcije u otopini kalcijevog-klorida (CaCl_2) koncentracije $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, koja u odnosu na mjerenje u suspenziji tlo/voda (1:5) daje manju sezonsku fluktuaciju, odnosno mnogo manje ovisi o trenutnoj vlažnosti tla i koncentraciji soli u njemu. Rezultati mjerenja pH u $0,01 \text{ mol dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$ su po vrijednosti između supstitucijske kiselosti (u $1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ KCl}$) i aktualne kiselosti (u vodi).

Hidrolitička kiselost tla (označava se H_k ili H_y) utvrđuje se pri neutralizaciji tla više baznim solima pri čemu se svi vodikovi ioni ne zamjenjuju kationima metala kod iste pH-vrijednosti sredine. Jedan dio ove kiselosti aktiviraju neutralne soli kao što je KCl, a drugi dio soli tipa natrijevog acetata (CH_3COONa , pH = 8,2) ili kalcijevog acetata (oboje su više bazične soli) koje mogu zamijeniti na adsorpcijskom kompleksu tla većinu iona vodika i aluminijskih. Najčešća primjena hidrolitičke kiselosti je kod utvrđivanja potreba za kalcijacijom ili kada se želi znati kolika je *ukupna potencijalna*

kiselost nekog tla. Hidrolitička kiselost izražava se u $\text{cmol } H^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ tla (što je identično $\text{mekv } H^{+}/100 \text{ g}$ tla prema starijem načinu izražavanja).

Adsorpcijski kompleks tla i njegova puferna sposobnost imaju velik značaj u razmatranju pH-reakcije nekog tla i mogućnost usvajanja elemenata biljne ishrane (Slika 5.). Npr., u slučaju različite sorpcijske moći dva tala, ali uz istu vrijednost njihove pH reakcije, ta dva tla nisu jednako kisela jer su i različito opskrbljena kationima baza (prvenstveno ionima kalcija). Zbog toga se potreba kalcizacije mora utvrditi na temelju hidrolitičke kiselosti i kapaciteta za sorpciju kationa (KIK) u tlu, a nikako temeljem elektrometrijskog mjerenja (aktualne i izmjenjive kiselosti).



Slika 5. Utjecaj pH reakcije tla na usvajanja biljnih elemenata ishrane

Sposobnost tla da smanji ili onemogući promjenu pH-reakcije (npr. kod unošenja fiziološki kiselih ili lužnatih gnojiva) naziva se puferna moć tla, a procjenjuje se njegovim pufernim kapacitetom. Tlo se odupire promjeni pH-reakcije na više načina. Jedan od najznačajnijih mehanizama je vezivanje iona na adsorpcijski kompleks.

Promjena pH-reakcije tla može biti izazvana prirodnim pedoklimatskim čimbenicima, ali i djelovanjem ljudi, odnosno antropogenim čimbenicima, kako agrotehničkim, tako i industrijskim. Od čimbenika koji utječu na promjenu pH reakcije tla najznačajniji su gnojidba, kalcizacija, neadekvatna agrotehnika (obrada, biljni pokrov i sl.), blizina industrijskih i energetske postrojenja koja koriste fosilna gnojiva (ugalj, nafta, mazut i dr.) i doprinose pojavi tzv. *kiselih kiša*.

Različite biljne vrste ne podnose jednako efekte kisele reakcije tla (Tablica 6.). Pojedine vrste su osjetljive na nedostatak kalcija (Ca^{2+}), odnosno višak aluminijske (Al^{3+}), željezne (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ili manganske (Mn^{2+}). Npr., šećerna repa loše podnosi nedostatak kalcija, ali je tolerantna na višak mangana, dok krumpir dobro podnosi višak Al^{3+} itd. Reakcija tla je značajna i kod pojave nekih gljivičnih oboljenja.

Tablica 6. Optimalni pH tla za različite biljne vrste

Usjev/nasad	Optimalni pH	Usjev/nasad	Optimalni pH
Borovnica	4,0 - 4,8	Sudanska tr.	5,5 - 7,0
Krumpir	4,9 - 6,5	Šeć. repa	6,4 - 7,4
Duhan	5,0 - 6,0	Lucerna	6,5 - 8,0
Jagoda	5,0 - 6,5	Pšenica	6,0 - 8,0
Krastavac	5,3 - 6,8	Salata	5,8 - 7,0
Ječam	5,5 - 7,0	Raž	5,0 - 7,0
Jabuka	5,6 - 7,0	Mrkva	5,7 - 7,0
Grašak	5,8 - 6,8	Lupina	5,5 - 7,0
Špinat	6,0 - 7,0	Soja	5,5 - 7,0
Djetelina	6,0 - 7,5	Zob	5,5 - 7,0
Suncokret	6,5 - 8,5	Rajčica	5,3 - 7,8

Nasuprot kiselosti, više biljke znatno lošije podnose povećanu alkalnost tla koja je tipična za *aridnu* i *semiaridnu* klimu (suhu i polusuhu) u kojima je zbog male količine oborina sporo ispiranje lužina s adsorpcijskog kompleksa. Često alkalna i/ili slana tla (Slika 6.) u suhim uvjetima postaju još jače alkalna zbog jačeg isparavanja vode s površine tla (*evaporacija*). Naime, voda se iz dubljih slojeva „podize“ s otopljenim baznim ionima,

isparava na površini gdje se akumuliraju alkalne soli. Posebice je štetna uloga natrija koji pogoršava fizikalna svojstva tla jer uzrokuje raspad zemljišnih agregata (*disperzija*). Također, natrij povećava moć čvrstog vezivanja vode pa porast osmotske vrijednosti vodene faze tla uzrokuje nedostatak pristupačne vode uz toksičnu učinkovitost viška natrija.



Slika 6. Solonjeci između Čelija i Bobote (foto: Vesna Vukadinović, 2015.)

Na prostoru Republike Hrvatske problem salinizacije i/ili alkalizacije je ograničen na područje istočne Slavonije i Baranje, dolinu Neretve te uski obalni pojas Dalmacije i otoka. Premda kod nas u RH, zbog pretežitog utjecaja relativno humidne klime, ima malo zaslanjenih i alkalnih tala koja su uglavnom mozaično raspoređena unutar većih proizvodnih parcela, ima i većih kompleksa tako degradiranih površina (Slika 6.).

Lužnatost vode za navodnjavanje (*irigacija*) i *fertirigaciju* izražava se u jedinicama RSC (*Residual Sodium Carbonate*; ekvivalent količini kiseline potrebne za neutralizaciju lužnatosti izazvane kalcijevim i magnezijevim karbonatima i hidrogenkarbonatima). Kada je vrijednost RSC $>2,5$ takvu je vodu rizično koristiti, kad je RSC 1,25 - 2,50, voda je potencijalno opasna za dulju uporabu, a ispod 1,25 pogodna je za navodnjavanje.

Koncentracija otopljenih soli u vodi konvencionalno se utvrđuje mjerenjem EC, odnosno *električnog konduktiviteta* ili *električne provodljivosti tla* (EC; recipročna vrijednost specifičnog otpora u Ω). Kada vrijednosti EC prelazi 4 dS m^{-1} , tlo se smatra zaslanjenim, a iznad te vrijednosti tenzija vode je

iznad granice njezine raspoloživosti (>15 bara), što zaustavlja usvajanje vode hranjivih tvari.

Uklanjanje suviška natrija iz slanih i alkaliziranih tala moguće je provesti melioracijskim dozama gipsa jer njegovom primjenom dolazi do zamjene natrijevih (Na^+) kalcijevim ionima (Ca^{2+}) na adsorpcijskom kompleksu tla pa se natrij ispire vodom iz tla. Gipsanje tla ne treba nipošto provesti „napamet“ već nakon analize tla kojom se mora utvrditi koliki je kapacitet tla za sorpciju kationa (KIK) i kolika je zastupljenost natrija na njemu.

Organska tvar tla - humus

Organska tvar u tlu ima presudnu i nezamjenjivu ulogu u nastanku i plodnosti tla. Podrijetlom je od ostataka živih organizama koji su više ili manje razloženi i zatim najvećim dijelom iznova grade organske spojeve tla, ali bitno različite u odnosu na živu tvar. U odnosu na količinu mineralnog dijela, organske tvari u tlu je malo, no ipak je ta količina od suštinskog značenja. Naime, prisutnost organske tvari u tlu određuje razliku između tla kao prirodnog staništa za biljke i rastresite mase stijena koje su usitnjene u termičkim i kemijskim procesima njihovog postupnog raspadanja.

Organska tvar veoma snažno utječe na čitav niz vrlo značajnih fizikalnih i kemijskih svojstava tla, kao što su struktura, kapacitet za vodu, sadržaj i zadržavanje hranjivih elemenata u pristupačnom obliku za usvajanje i dr. Ona je jedini izvor energije za životnu aktivnost mikroorganizama tla pa bi eventualnim nestankom organske tvari tla došlo do katastrofalnih posljedica po čitav život na Zemlji. Od ukupne količine nežive organske tvari tla (npr. ostaci biljnih i životinjskih organizama), na humus otpada 60 - 80 %.

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

Ugljik i dušik organske tvari u tlu podrijetlom su iz atmosfere, jednako kao i vodik i kisik, odakle su dospjeli u tlo asimilacijskim procesima mikroorganizama i biljaka. Sumpor djelomično potječe iz atmosfere jer se može nalaziti i u plinovitom stanju kao sumpordioksid i sumporovodik (SO_2 i H_2S), dok fosfor vodi isključivo podrijetlo iz materijala od kojeg je nastalo neko tlo (matičnog supstrata ili stijene). Nabrojani elementi (C, H, O, N, P i S) koji ulaze u sastav humusa, uslijed aktivnosti mikroorganizama tla prelaze u mineralne oblike (*mineralizacija*) i postaju raspoloživi biljkama za usvajanje. Humus nipošto nije određena kemijska tvar, pa čak niti grupa sličnih kemijskih spojeva koji bi se kemijskom analizom lako mogli odrediti. Stoga je razumljivo da humus različitih tala posjeduje bitno drugačija kemijska i fizikalna svojstva.

Proces oslobađanja elemenata iz organske tvari do pristupačnih oblika naziva se *mineralizacija* ili *mobilizacija hraniva*. Pod tim pojmom podrazumijevaju se svi procesi koji dovode do transformacije nepristupačnih organskih rezervi u pristupačna hraniva. To podrazumijeva razgradnju humusa od veoma kompleksne organske tvari do nisko molekularnih organskih spojeva podložnih mineralizaciji ili izravno pogodnih za usvajanje korijenom kad im je molekularna masa mala (<1.000 kDa). Dakle, humus nastaje biokemijskim putem pri čemu aktivnost mikroorganizama koji sudjeluju u tom procesu (*gljive, bakterije, aktinomicete*, ali i kišne gujavice i drugi crvi) ovisi o uvjetima u kojima djeluju. Najznačajniji čimbenici su vodozračni režim tla, pH-reakcija, temperatura, količina i sastav svježe unesene organske tvari u tlo.

U tlima pod prirodnom vegetacijom intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen, što rezultira stabilnim sadržajem humusa. S pedološkog aspekta, humus je organska tvar koja je ovisno o agroekološkim uvjetima teško razloživa, što na tlima pod prirodnom vegetacijom dovodi do njenog nagomilavanja u tlu. Uključivanjem tla u poljoprivrednu proizvodnju neizbježno se intenziviraju procesi razgradnje te otuda sklonost svih poljoprivrednih tala smanjivanju sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari najviše je ovisan o sustavu gospodarenja i korištenja nekog tla. Stoga se kod provođenja svake agrotehničke mjere mora pažljivo razmotriti kako će se to odraziti na

bilancu organske tvari tla. Potrebno je naglasiti da je pad sadržaja organske tvari u tlu prilično spor proces, ali samo pod "normalnim" okolnostima korištenja tla.

Sadržaj organske tvari u tlu može se povećavati, smanjivati ili zadržavati na istoj razini. Promjene su spore jer su komponente humusa, *huminske* i *fulvo kiseline*, vrlo otporne na razlaganje. Organska tvar u tlu sadrži prosječno 50 - 54 % ugljika i 4 - 6 % dušika pa je omjer C/N približno 10 : 1 („zreli“ humus ima omjer C/N 9-14 : 1, prosječno 10 : 1). Obradom tla, napose oranjem, zaorava se više ili manje žetvenih ostataka širokog C/N omjera. Također, organskom i zelenom gnojdbom u tlo se unosi organska tvar s prilično širokim omjerom C/N (npr. pšenična slama ima omjer C/N od ~100 : 1). Mikrobiološka aktivnost u tlu dovodi do postupnog sužavanja tog omjera u procesu oksidacije (razgradnje) organske tvari, a oslobođenu kemijsku energiju koriste mikroorganizmi za svoje potrebe (*kemosinteza*). Sve dok C/N omjer ne padne na određenu vrijednost, sav oslobođeni dušik u toj fazi razgradnje organske tvari koriste mikroorganizmi za svoje potrebe pa mogućnost njegovog usvajanja višim biljkama započinje tek kad je C/N <25 : 1. Kad je omjer C/N >32 : 1 i viši sav oslobođeni dušik usvoje mikroorganizmi što se manifestira pojavom nedostatka dušika (*dušična depresija*), odnosno sav mineralizirani (mobilizirani) N je ugradnjom u živu tvar mikroorganizama privremeno nedostupan biljkama (tzv. *biološka fiksacija N*). Na sreću, život mikroorganizama je kratak pa njihovo umnažanje brzo opada nakon sužavanja C/N omjera ispod 20 : 1, jer u preostaloj organskoj tvari, premda ima dovoljno dušika, nema više dovoljno energije za njihovu životnu aktivnost (*metabolizam*).

Omjer ugljika i dušika u humusu ovisi i o fizikalno-kemijskim svojstvima tla pa je tako u kiselim tlima uobičajeno širi nego u neutralnim i lužnatim tlima. Također, C/N omjer se mijenja s povećanjem dubine soluma. U podoraničnom sloju omjer je uži (teže razgradiv humus) u odnosu na pliće slojeve tla te duboka obrada znatno ubrzava pad sadržaja humusa.

Vrlo značajna uloga humusa je u stvaranju kompleksnih spojeva organske tvari s metalima (tzv. *kelati*) koje biljke lako mogu usvajati, jer tako vezani ioni kovina nisu podložni ispiranju ili različitim mogućnostima imobilizacije (kemijska i biološka fiksacija). Teški metali (čija je gustoća $\rho > 5 \text{ kg dm}^{-3}$,

npr. željezo, mangan, cink, bakar i dr.) imaju posebice izraženu sklonost kelatiranju.

Pored sprječavanja gubitaka teških metala ispiranjem ili transformacijom u teško topljive spojeve, značajna je uloga organske tvari u sprječavanju kemijskog vezivanja fosforne kiseline (*kemijska fiksacija*) nakon gnojidbe fosfornim gnojivima, tzv. *humat efekt*. Humat efekt je posebice značajan u kiseloj sredini u kojoj lako i brzo nakon P-gnojidbe nastaju netopljivi i nepristupačni fosfati željeza i aluminija. Stoga je humus veoma važan u opskrbi biljaka fosforom, ali i drugim biogenim elementima.

Dakle, značaj organske tvari tla je višestruk. Ona je izvor biljnih hraniva i ima nezamjenjivu ulogu za stabilnost agregata tla, odnosno najvažniji je preduvjet dobre obrade, potpomaže kretanje vode i zraka u tlu, povećava zadržavanje vode u tlu (*retencija*) i biogenost, sprječava eroziju, snažno povećava puforni efekt tla uz sprječavanje ispiranja hraniva (zadržavanje hraniva u zoni korijena, sorpcija pesticida itd.). Humus daje tamniju boju tlu što omogućava njegovo bolje zagrijavanje i snažno utječe na smanjivanje gustoće tla zbog povoljnog utjecaja na strukturu. Prosječna apsolutna gustoća čvrste faze mineralnih tala (ρ_s) iznosi $\sim 2,65 \text{ g cm}^{-3}$, a u tresetnim (>30 % humusa) je tek $\sim 0,90 \text{ g cm}^{-3}$. Volumna gustoća (ρ_v) u većini poljoprivrednih tala ipak je znatno niža zbog strukture tla jer pore mogu činiti i do 50 % zapremine tla, te iznosi prosječno $\frac{1}{2}$ volumne gustoće, odnosno $\sim 1,35 \text{ g cm}^{-3}$ pa 1 dm^3 tla teži između 1,2 i 1,8 kg.

Sadržaj štetnih tvari u tlu

Brz tehnološki napredak i potreba za sve većim količinama hrane uz intenzivnu kemizaciju poljoprivrede uzrok su sve onečišćenijoj životnoj sredini, smanjenju njenih prirodnih mogućnosti *regeneracije* i sve bržoj *devastaciji*. Stoga većina razvijenih zemalja, uključujući i RH, shvaća da je zaštita tla neodvojiva od gospodarskog razvitka društva te donosi stroge zakone o zaštiti okoliša i uvodi monitoring, odnosno sustavno motrenje, mjerenje i utvrđivanje stanja okoliša, emisije polutanata ili populacije u duljem vremenskom periodu, uključujući i motrenje poljoprivrednih površina. Članak 69. Ustava RH kaže: "(1) Svatko ima pravo na zdrav život; (2) Država osigurava uvjete za zdrav okoliš; (3) Svatko je dužan u sklopu

svojih ovlasti i djelatnosti, osobitu skrb posvećivati zaštiti zdravlja ljudi, prirode i ljudskog okoliša”.

Monitoring je sustav neprekidnog promatranja elemenata životne sredine u prostoru i vremenu. Cilj je prikupiti podatke kvantitativne i kvalitativne prirode o prisutnosti i distribuciji onečišćivača (zagađivači; polutanti), njihovoj emisiji, izvorima i vrsti onečišćenja (točkasti ili difuzni) i njihovoj lokaciji na određenim mjernim postajama.

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja danas podrazumijeva visoku tehnologiju i visok stupanj kemizacije. Budući da korištenje mineralnih gnojiva i pesticida postupno mijenja prirodna svojstva tla, a preko podzemnih voda djeluje negativno i na širu životnu okolicu, sve je više „zelenih“, odnosno pristalica očuvanja prirodne životne sredine. Taj pokret se širi i u proizvodnji tzv. „zdrave“ hrane, odnosno različitim tipovima alternativne poljoprivrede (npr. organsko ratarenje, biološka poljoprivreda, biodinamička, ekološka, prirodna, bioproizvodnja, održiva, obnovljiva i dr.). Zajedničko je svim tim načinima proizvodnje hrane isključivanje ili drastično smanjenje primjene kemijskih sredstava za zaštitu, dakle manja uporaba mineralnih gnojiva, regulatora rasta i aditiva stočnoj ishrani. Inzistira se na pravilnom plodoredu, korištenju biljnih ostataka, organskim gnojivima i zelenoj gnojidbi, uzgoju leguminoza i biološkim metodama zaštite od štetnika s ciljem održavanja i povećavanja efektivne plodnosti tla.

Najveći dio poljoprivredne proizvodnje (>95 %) još uvijek se temelji na intenzivnoj primjeni mineralnih gnojiva, pesticida, regulatora rasta i velikog broja različitih aditiva u ishrani životinja i to se neće znatnije promijeniti u duljem vremenskom periodu obzirom na brz porast populacije ljudi. Tlo se zagađuje (kontaminacija) i velikim brojem polutanata iz vode i zraka (plinovi i aerosoli u blizini velikih gradova, kemijskih, metalnih i energetskih postrojenja). Aero onečišćenje plinovima (CO₂, SO₂, N₂O) u obliku kiselih kiša izaziva oštećenja tla i vegetacije pa se u posljednje vrijeme sve češće spominje kao uzrok odumiranja šuma. Najčešći onečišćivači tla su ugljikovodici, teški metali (kadmij, olovo, krom, bakar, cink, živa i metaloid arsen), herbicidi, pesticidi, ulja, katran, PCB, dioksin i dr.

Mineralna i organska gnojiva, primijenjena u količinama većim od potrebe bilja, podjednako uzrokuju narušavanja kemijskih i fizičkih svojstava tla, onečišćenja podzemnih voda ili lošiju kakvoću poljoprivrednih proizvoda. Zbog toga se u posljednjih 30-ak godina intenzivno ispituje ekološki rizik primjene dušičnih, fosfornih i kalijevih gnojiva te teških kovina (uključujući i mikroelemente) kao primjesa mineralnih ili organskih gnojiva, posebice onih dobivenih iz različitih otpadaka (gradsko smeće, kože itd.).

Naročito je opasna predozacija dušičnim gnojivima, bez obzira potječe li dušik iz mineralnih ili organskih gnojiva. Naime, nagomilavanje lako pokretljivog nitratnog oblika dušika u tlu utječe na njegovo pojačano ispiranje uz kontaminaciju okolnih vodenih tokova i podzemnih voda, a nakupljanje u hrani štetno djeluje na ljude i stoku. Smatra se da u prosječnom dnevnom obroku čovjeka, od ukupne količine nitrata (~90 mg), $\frac{2}{3}$ se unosi povrćem, a $\frac{1}{3}$ vodom za piće. WHO (Svjetska zdravstvena organizacija) dopušta u pitkoj vodi koncentraciju nitrata (NO_3^-) od samo 45 mg dm^{-3} (što odgovara ~10 ppm nitratnog dušika). Premda se nitrati brzo izlučuju iz organizma, njihov visok sadržaj u vodi i hrani smatra se rizičnim, jer se u probavnom traktu ljudi i životinja (u kiseloj sredini želuca) reduciraju do *nitrita* (NO_2^-) koji reagiraju sa sekundarnim aminima (uključujući i neke pesticide) dajući *kancerogene nitrozamine*.

Nitrati i nitriti izazivaju i *methemoglobinemiju*, bolest eritrocita koja je česta kod djece starosti do 4 mjeseca (tzv. sindrom „plavih beba“) koja ne posjeduju razvijen sustav zaštite (niska razina HCl kiseline u želucu ne može uništiti sve mikroorganizme koji transformiraju nitrata do nitrita, te odsustvo enzima *diaforaze*), pa koncentracija nitrata u dječjoj hrani ne smije prelaziti $250 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ svježe tvari. *Methemoglobin* se u kritičnim slučajevima može pomoću injekcija metilenskog plavog transformirati u *hemoglobin*.

Čest argument protiv uporabe visokih doza dušičnih gnojiva je favoriziranje bolesti i pojava infekcija biljaka. Visoke ili *luksuzne doze dušika* dovode do formiranja lišća čije parenhimske stanice imaju tanke stjenke što smanjuje njihovu otpornost na infekcije i parazite. Također, u procesima *denitrifikacije* (u nedostatku kisika denitrifikacijske bakterije oslobađaju iz organske tvari plinoviti dušik N_2 i dušični okside NO_x i N_2O) za koje se

smatra da uništavaju *ozonski omotač Zemlje* koji štiti žive organizme od štetnog utjecaja *UV zračenja*. Ipak, treba istaći da je uporaba mineralnih i organskih gnojiva izvor beznačajnih količina dušikovih oksida (manje od 1 %) u odnosu na druge izvore uništavanja ozonskog sloja.

Fosfatna gnojiva uvijek sadrže izvjesnu količinu *radioaktivnih elemenata (radionuklidi ^{238}U i ^{40}K)*, ali treba naglasiti da je onečišćavanje oranica *radionuklidima* iz gnojiva vrlo spor proces koji ne mijenja fizička i kemijska svojstva tla. Dosadašnja cjelokupna primjena fosfata, od prvih početaka do danas, ispod je prirodne razine zračenja tla (*fon*). Međutim, fosfor može biti itekako uzrok *eutrofikacije voda*, odnosno burne pojave algi, a nakon njihovog uginuća troši se kisik za razgradnju ogromne organske mase što dovodi do izumiranja drugih živih organizama u vodi. Ipak, opasnosti od eutrofikacije voda najviše pridonose *detergenti s polifosfatima* (67 %), industrija (13 %), erozija tala (10 %), od čega samo 3 % otpada na obradiva tla, a razlog je vrlo slaba pokretljivost fosfora u tlu.

Mikroelementi (Cu, Mo, Zn), kao i druge teške kovine ili nekovine (Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, As, Se i dr.), kod visokog sadržaja u tlu mogu imati štetne efekte na biljke, domaće životinje i ljude. Njihovo nakupljanje u oraničnom sloju tla može biti posljedica onečišćenja ljudskom aktivnošću, ali i prirodnim biogeološkim procesima. Naime, biljke djeluju kao svojevrsne crpke jer usvajaju korijenom relativno veliku količinu mikroelemenata iz dubljih slojeva i premještaju ih u oranični sloj.

Uklanjanje štetnih tvari, teških kovina i drugih onečišćivača biljkama, tzv. *hiperakumulatori*, vrlo je učinkovito, naročito u posljednje vrijeme. Naime, modificirane biljke uz pomoć GMO tehnika (tzv. *transgene biljke*) postale su vrlo efikasne u čišćenju zemljišta od zagađivača (tzv. *fitoremedijacija*), ali se ne smiju koristiti za kompostiranje ili prehranu ljudi i životinja. *Fitoremedijacija* može biti vrlo učinkovita tehnologija za uklanjanje štetnih elemenata iz tla, ali i dalje ostaje problem kamo s tim biljkama jer su opasne za dalju uporabu, a niti spaljivanje nije dobro rješenje jer neke tvari, npr. teške kovine, zaostaju nepromijenjene u pepelu.

U posljednje vrijeme velika pozornost se pridaje *kadmiju* (Cd) jer se kao pratitelj fosfora nalazi u znatnim količinama u fosfatima iz kojih se dobivaju P-gnojiva. Normalne koncentracije Cd u tlu su 0,1 do 1 mg Cd kg⁻¹ tla, dok

mineralna gnojiva iz kutinske Petrokemije sadrže $\sim 35 \text{ mg Cd kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ te kadmij iz mineralnih gnojiva, neće predstavljati problem barem u slijedećih sto godina. Također, opasnost od vrlo otrovnog kadmija, kao i drugih teških metala, realna je tek u vrlo kiselim tlima.

Organska gnojiva primijenjena u velikim količinama, također su izvor onečišćavanja tla i voda. Npr., korištenje gnojovke, posebice svinjske u blizini velikih stočnih farmi, često na tlima lakšeg mehaničkog sastava dovodi do ispiranja topljivih dušičnih oblika i detergenata u vodotokove.

Opasni su i ostaci *perzistentnih pesticida* (poluvijek razgradnje 1 - 10 godina) koji dovode do redukcije ili uništenja flore i faune tla, blokiraju aktivna mjesta na adsorpcijskom kompleksu tla i umanjuju sposobnost kelatiranja teških metala organskom koloidnom frakcijom tla. Prema Pravilniku o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10), u RH su utvrđene maksimalno dopuštene količine onečišćujućih tvari u poljoprivrednom zemljištu.

Nakon što su posljednjih godina zapažena oštećenja ozonskog omotača Zemlje, sve se češće proučava štetno djelovanje *ultravioletnog*, posebice *UV-B zračenja* (λ 290 - 320 nm) na ljude i životinje, ali i tzv. *fotobiološki efekt* na biljke i njihovu produktivnost. Oštećenje ozonskog sloja u *stratosferi* (sloj atmosfere između 12 i 45 km visine) izazivaju povećane koncentracije ugljičnog dioksida (CO_2), *klorfluorugljika* (CFC), *metana* (CH_4) i/ili *dušikovih oksida* (NO_x , N_2O). Suvremena mjerenja u *ozonosferi* (donji dio stratosfere) pokazuju zabrinjavajuću godišnju stopu povećanja od 0,5 % za CO_2 , 5 - 7 % za CFC, 1 % za CH_4 i 0,2 % za N_2O .

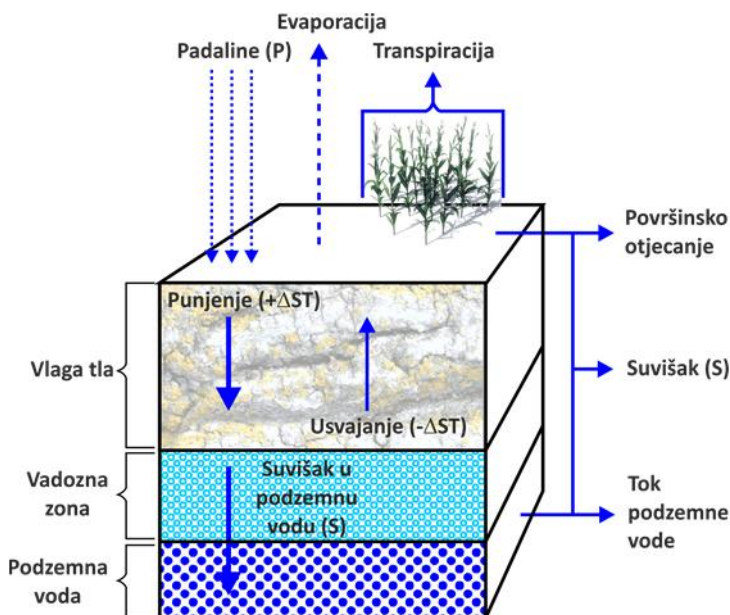
UV-B zračenje je opasno jer se apsorbira makromolekulama (bjelančevinama i nukleinskim kiselinama) i izaziva njihove strukturne promjene te izaziva promjenu gena (*malformacija*) i pojavu raka. Također, kod UV senzitivnih kultivara usjeva, npr. soje, pokusima je utvrđeno snižavanje prinosa do 25 %, ovisno o jačini UV-B zračenja.

Voda u tlu

Voda je "medij života" pa je dobra opskrbljenost vodom svih živih bića iznimno važna. Biljke najveći dio vode usvajaju korijenskim sustavom iz tla,

ali će je zbog njene iznimne važnosti usvojiti listom i svim drugim organima (ako nisu prekriveni debelom kutikulom ili korom). Naime, u hijerarhiji biljnih potreba voda je na drugom mjestu, odmah ispod potrebe za sunčevom energijom, a iznad potrebe za hranjivim tvarima.

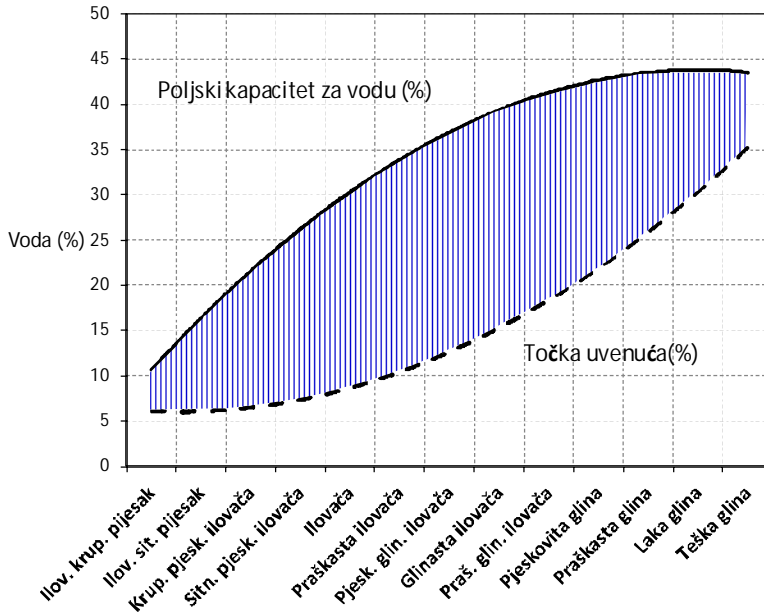
Bilancu vode u tlu čini njen dotok, kretanje i gubitak (Slika 7.). Pokretljivost vode u tlu i njeni gubici vrlo su složeni na što djeluje niz čimbenika, od kojih su veoma važna fizikalna svojstva tla (tekstura, struktura, dubina soluma, dubina podzemne vode i dr.), klima (količina i raspored padalina, temperatura i vlaga zraka, evaporacija i dr.), vegetacija, naročito potreba biljaka za vodom, dubina i moć usvajanja korijenskog sustava, intenzitet transpiracije i dr.



Slika 7. Bilanca vode u tlu (ΔST = promjena vode u tlu)

Visok *osmotski tlak* vodene faze tla, koji je razmjern temperaturi i koncentraciji otopljenih tvari stalna je pojava na slanim tlima, ali i u svim tlima može porasti do granice kad biljke otežano ili uopće više ne mogu vodu usvojiti iz tla. To se relativno često događa tijekom vegetacije za vrijeme suše, ili nakon gnojidbe mineralnim gnojivima u suhom tlu.

Voda se u tlu nalazi različitom silom vezana za čestice tla, molekule, koloide ili ione koje korijenski sustav kod usvajanja mora savladati pa se voda u tlu dijeli na pristupačnu i nepristupačnu vodu. Sile koje vodu drže uz čestice tla su s jedne strane *tenzija vlažnosti* (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane djeluje *osmotski tlak* vodene faze tla.



Slika 8. Utjecaj teksture tla na raspoloživost vode

Ukupna količina vode koju tlo može zadržati nakon procjeđivanja (*perkolacija*) oborina (*gravitacijska voda*) i gubitka površinskim otjecanjem na nagnutim parcelama (*runoff*) koju tlo ne može upiti (*infiltracija vode*) označava se kao njegov retencijski kapacitet za vodu. Porozitet i kapacitet nekog tla koji su funkcija teksture i strukture tla (Slika 8.), presudni su za njegovu sposobnost zadržavanja vode. *Tla fine teksture*, zahvaljujući većoj površini čestica i mnoštvu kapilarnih pora, zadržavaju više vode u odnosu na *tla grube teksture* (Slika 8.). Zbog toga pokretljivost vode u tlu, odnosno njegova hidraulična svojstva, ovise o teksturi i strukturi tla, odnosno ukupnoj poroznosti tla, dijametri pora i popunjenosti pora vodom. Što tlo

sadrži manje vode, posebice suho tlo, to teže provodi vodu (negativniji potencijal) pa *konduktivitet* (provodljivost tla za vodu) raste s vlažnošću tla.

Voda u tlu dijeli se u četiri klase, ovisno o njenoj pristupačnosti za usvajanje: *gravitacijska*, *kapilarna*, *higroskopna* i *kemijski vezana* voda.

Gravitacijska voda zadržava se u krupnim porama tla i otječe pod djelovanjem sile teže (*gravitacija*) i biljke je veoma slabo koriste. Zbog brzog gubitka, gravitacijska voda se često naziva i slobodna voda. U slučaju jačih padalina ili poplave (kod duljeg zadržavanja gravitacijske vode) najčešće prvo nastupa *hipoksija*, a zatim i potpuni manjak kisika (*anaerobioza*) uz otkazivanje funkcija korijenja i „gušenja“ biljaka.

Kapilarna voda zadržava se u porama pod utjecajem površinskih sila čestica tla (*adhezija*). Ona ne podliježe gravitaciji jer se drži silama površinskog napona za zidove kapilara tla ili je pak "poduprta" razinom podzemne vode. Kapilarna voda je raspoloživa za usvajanje i predstavlja najvažniji dio vode u tlu. Količina kapilarne vode u nekom tlu označava se kao poljski kapacitet vlažnosti ili kapilarni kapacitet tla.

S obzirom da adhezijske sile čestica tla smanjuju vodni potencijal, kapilarna voda ima sposobnost kretanja po gradijentu vlažnosti, odnosno od vlažnijeg (veća slobodna energija vode) prema manje vlažnom dijelu tla (manja slobodna energije vode).

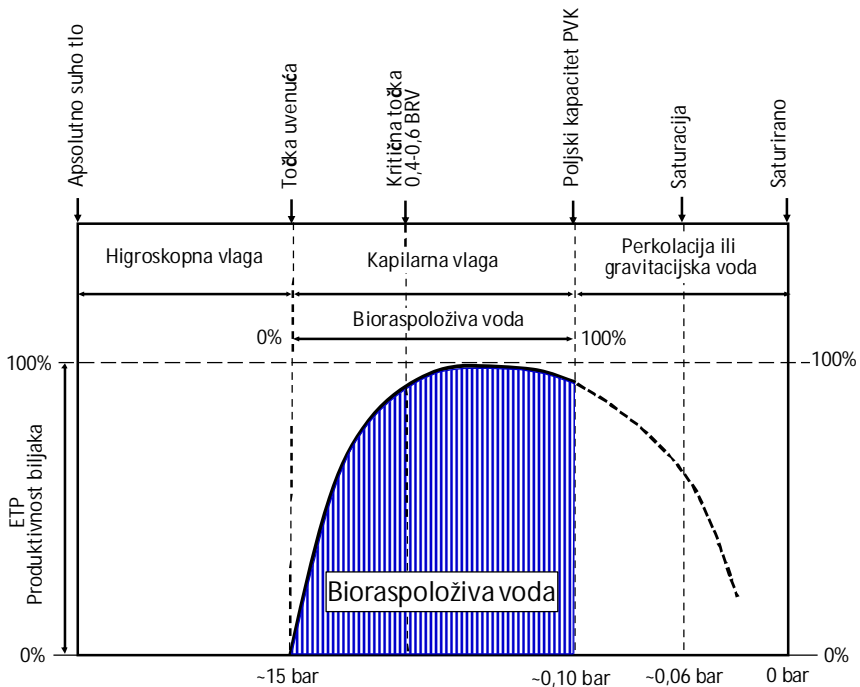
Higroskopna voda je dio kapilarne vode čije opne ne prelaze debljinu 15 - 20 molekula vode i ona se drži za čestice tla snagom koja dostiže 100 MPa (100 mega Paskala = ~1.000 atmosfera). Ovaj oblik vode određuje se sušenjem na 105°C i biljkama je potpuno nedostupan. Količina higroskopne vode u nekom tlu upravo je proporcionalna njegovoj koloidnoj frakciji, a obrnuto proporcionalna veličini čestica. Dakle, s porastom sadržaja koloida tla i smanjivanjem njegovih čestica, sve je više higroskopne vode u tlu koje biljke ne mogu koristiti.

Kemijski vezana voda ugrađena je u različite hidratizirane kemijske spojeve tla i nije biljkama raspoloživa za usvajanje.

Higroskopna i kemijski vezana voda u tlu predstavljaju takozvanu mrtvu rezervu vode i mogu se odrediti *metodom uvenuća biljaka*. U trenutku

početka venjenja biljaka vlažnost tla označava kao *koeficijent uvenuća* nekog tla za promatranu biljnu vrstu ili kultivar. U tom trenutku tlo još sadrži izvjesnu količinu vode koju biljke mogu s velikim naporom koristiti, a nakon toga uvenuće biljaka je toliko da se ne mogu više povratiti u život dodavanjem vode. To stanje vlage u tlu naziva se *točka trajnog uvenuća* i odgovara približno stanju u kojem tlo sadrži isključivo higroskopnu vodu. Interval vlažnosti između koeficijenta uvenuća i točke trajnog uvenuća naziva se *interval uvenuća*. Otuda je:

$$\text{Raspoloživa voda} = (\text{sadržaj vode u tlu} - \text{točka uvenuća}) \times \text{dubina korijena}$$



Slika 9. Tenzija vode u tlu i njena raspoloživost za usvajanje

Biljke mogu usvajati vodu silom do 1,5 MPa (~15 bar ili atm), što odgovara vrijednosti $pF = -4,2$ (pF je potencijal vlage tla; negativan predznak se uobičajeno izostavlja), odnosno tlaku stupca vode od 150 m. Naime, pF jedinica za definiranje vlage tla je \log_{10} tlaka vode u kPa (kilo Paskali) pa dekadski logaritam 15.000 cm vodenog stupca odgovara vrijednosti pF

~4,20. Voda koja je vezana za čestice tla silom manjom od 10 kPa (-0,1 bar) lako se gubi iz tla pod utjecajem gravitacije i procjeđivanjem kroz krupnije pore tla (slika 9.).

Utvrđivanje raspoloživosti vode je vrlo složen problem jer je status vode dinamičan sustav čiji su reprezentanti *higroskopna*, *kapilarna* i *gravitacijska voda*. *Ukupni potencijal vode tla* (Ψ_t) suma je *matriks* (Ψ_p), *osmotskog* (Ψ_o), *hidrostatskog* (Ψ_m), *pneumatskog* (Ψ_{pn}) i *gravitacijskog potencijala* (Ψ_g) od kojih su prva tri presudna za raspoloživost vode. *Matriks potencijal* je posljedica međusobnih veza vode i čestica tla, *osmotski potencijal* nastaje vezivanjem vode za otopljene tvari u njoj, a *hidrostatski potencijal* je posljedica količine vode, njene gustoće i gravitacije). Stoga je *retencija vode* prvenstveno određena teksturnom klasom tla, ali i velikim brojem drugih parametara (zbijenost, prisutnost nepropusne zone, nagib, visina podzemne vode, homogenost soluma itd.) koji se teško mogu točno procijeniti.

Budući da postoji vrlo velika razlika u potencijalu vode između tla, biljke i atmosfere, *korijenski tlak*, koji je posljedica aktivnog usvajanja vode korijenom, veoma je važna pokretačka sila za usvajanja vode, njenog kretanja kroz biljku i konačno gubitka transpiracijom. Premda je korijenski tlak u tim odnosima tla, biljke i atmosfere mali (iznosi svega 1 do 2 bara ili atm, odnosno 10 - 20 m vodenog stupca), njegova je uloga nezamjenjiva, posebice u okolnostima kada je visoka relativna vlaga zraka (npr., rosa, gutacija, plač biljaka i dr.), ili u ranim fazama rasta kad biljke nemaju još formirano lišće.

Temperatura tla

Temperatura tla može znatno varirati ovisno o vremenu (godišnje, dnevno), nadmorskoj visini, dubini profila tla i dr. Osim temperature tla, važan je i njegov *toplinski kapacitet* koji je ovisan o omjeru vode, mineralne i organske tvari, sposobnosti prijenosa topline (*toplinski konduktivitet tla*) između zagrijavanog površinskog sloja prema rizosferi i dublje, kao i sposobnost odavanja topline radijacijom (zračenjem ili isijavanjem topline u okolni prostor) te *konvekcijom* (kretanjem zagrijanog, lakšeg zraka).

Tla koja sadrže više organske tvari uobičajeno imaju dobru strukturu, tamnije su boje te bolje apsorbiraju Sunčevo zračenje. Npr. *albedo* (refleksija Sunčeve radijacije u %) tamnog tla je 5 - 15 %, travnjaka 10 - 20 %, dok na golom, vlažnom tlu s malo organske tvari *albedo* može doseći gotovo 50 %. Važno je znati da od Sunčeve radijacije koja dospije na površinu usjeva svega ~1 % biljke iskoriste u procesu fotosinteze, ~80 % se potroši za isparavanje (*evapotranspiracija*) vode, a tek ~20 % je iskorišteno za zagrijavanje tla. Važno je istaći kako zagrijavanje tla veoma ovisi o *ekspoziciji* (položaj u odnosu na upadni kut Sunčevog zračenja) što je važno kod uzgoja *termofilnih vrsta* (npr. vinove loze). Također, na zagrijavanje tla utječe godišnje doba, nadmorska visina (za svakih 100 m nadmorske visine temperatura zraka u RH pada za ~0,65°C), biljni pokrov, vlažnost tla, brzina vjetra i mikro topografija tla (manje neravnine, dubina soluma, način obrade i sl.).

Temperatura je važan ekološki čimbenik koji određuje niz strukturnih i funkcionalnih svojstava tla, kako prirodnih tako i poljoprivrednih ekosustava. U klimatski hladnijim područjima temperatura u zoni korijena je najvažniji čimbenik za utvrđivanje prirasta organski tvari (*neto primarna produktivnost*) jer određuje duljinu vegetacije. Porastom temperature raste aktivnost *žive faze tla* (*biota*; živi organizmi tla; 5 - 20 t ha⁻¹ ili još više u plodnom tlu) jednako kao i metabolizam i rast korijena uz porast usvajanja vode i hraniva što ubrzava rast i razvitak biljaka. Temperatura tla utječe i na brzinu usvajanja hraniva, posebice NH₄⁺, H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻ i K⁺, tako da porast temperature za svakih 10°C ubrzava usvajanje 2 do 3 puta. To vrijedi samo do neke granice (npr. usvajanje fosfora i kalija raste kod kukuruza sve do 35 °C), zapravo dok se ne usori ili zaustavi disanje korijena.

Značaj temperature tla može se promatrati s više gledišta:

- *Razgradnja i mineralizacija organske tvari* (oslobađanje hraniva, utjecaj na vodni režim, strukturu tla itd.);
- *Razgradnja primarnih i sekundarnih minerala tla te tvorba gline* (led, temperaturna amplituda dan/noć, izlučevine korijena i drugi kemijski agensi);
- *Rast i razvitak biljaka* (potreba za temperaturom, temperaturna valenca, optimum, usvajanje vode i hraniva i dr.). Također, temperatura

ima izravan utjecaj (klijanje i nicanje sjemena, rast korijena, usvajanje hraniva i rast izdanaka), ali i neizravan (premještanje vode, premještanje plinova, npr. N₂, O₂, struktura tla, raspoloživost hraniva i difuzija hraniva);

- *Pokretljivost vode (konvekcija, evaporacija);*
- *Biologija tla* (bakterije i gljive mogu preživjeti od -12°C pa čak do 100°C, ali u tlu većina ih živi između 0 i 30°C; većina velikih organizama spušta se dublje u tlo tijekom zime ili ljeta).

Plodnost i produktivnost tla

Agrokemijska svojstva tla i njegova plodnost

Tlo je vrlo složen sustav građen iz krute, tekuće, plinovite i žive faze. Nprestanto se mijenja u prirodnim ciklusima održavajući povoljnu strukturu i oslobađajući hranjive elemente neophodne za život biljaka i mikroorganizama u tlu. Kruta faza sastavljena je iz mineralnog i organskog dijela, podjednake važnosti za biljke. Mineralnu (krutu) frakciju tla čine primarni minerali (~80 %) koji su slabo podložni raspadanju i zanemarive su sposobnosti zadržavanja hraniva i vode te sekundarni ili glineni minerali (~20 %) koji zajedno s humusom (~2%) čine organomineralni kompleks, aktivni i najvažniji dio tla. Aktivnost organomineralnog kompleksa tla temelji se na električnom negativnom naboju čestica gline i humusa što mu omogućuje zadržavanje hraniva i vode, ali i međusobno povezivanje čestica tla uz tvorbu prostornih struktura ili tzv. agregata tla. Adsorpcijska moć strukturnih agregata tla često je vrlo jaka zbog izuzetno velike unutarnje površine. Primjerice 1 m² površine tla koje sadrži 20 % gline, do dubine od 20 cm ima ukupnu (unutarnju i vanjsku) površinu veću od 25 km² te je stoga struktura tla jedan od najvažnijih pokazatelja njegove plodnosti. Električno (negativno) polje koloidnih čestica tla omogućuje vezivanje drugih nabijenih, polarnih i nesimetrično nabijenih čestica (iona i molekula, npr. vode) što učinkovito sprečava ispiranje hraniva iz zone korijenskog sustava i zadržava vodu u tlu neophodnu biljkama i mikroorganizmima.

Izraz *plodnost tla* označava njegovu sposobnost da biljkama osigura hraniva i vodu, dok *produktivnost tla* (ili *efektivna plodnost*) ovisi još o načinu i tipu korištenja tla (npr. razina agrotehnike, *tradicionalni*, *konvencionalni*, *intenzivni*, *ekološki* i dr. tipovi), odnosno o gospodarenju tlom. Plodna tla su neutralne ili blizu neutralne pH reakcije, bogata su hranivima koje biljke mogu usvojiti, dobrih su fizikalno-kemijskih svojstava i ne sadrže štetne tvari. Otuda plodnost tla ovisi o tipu tla, teksturi, strukturi, vodnom i toplotnom režimu, bioraspoloživosti hraniva, sadržaju humusa, biogenosti i dr., a produktivnost još o razini agrotehnike (npr. obrada, gnojidba, mogućnost odvodnje i/ili navodnjavanja i dr.) i tipu korištenja tla.

Efektivna (stvarna) plodnost ili *produktivnost biljnog staništa* vrlo je složeno svojstvo tla. Najlakše se može definirati količinom organske tvari koju biljke mogu sintetizirati na nekom staništu tijekom vegetacijskog razdoblja (dio godine kada je rast biljaka moguć), naravno uz primijenjenu agrotehniku. Razumljivo je da količina nastale organske tvari neposredno ovisi o biološkim, klimatskim i zemljišnim čimbenicima pa se plodnost tla, iako je to njegovo najvažnije svojstvo, ne može apsolutno utvrditi. Stoga postojeći, arhaični sustav klasifikacije RH (*bonitet*) uspijeva tek općenito i kvalitativno odrediti plodnost tla.

Svojstva tla mogu se promatrati statički i dinamički. *Statička svojstva* uključuju teksturu, strukturu, dubinu, apsolutnu masu, pH i električnu provodljivost jer se one u kratkom vremenu malo ili uopće ne mijenjaju. *Dinamička svojstva* podrazumijevaju izgled površine tla, sadržaj vode, raspoloživost hraniva i druge, relativno brzo promjenjive, veličine na koje čovjek utječe agrotehnikom ili se mijenjaju pod utjecajem vremenskih uvjeta (sadržaj vode, zraka, erozija itd.).

Izraz plodnost tla tijesno je povezan s kapacitetom tla čime se označava njegova sposobnost da osigura potrebnu hranu biljkama u adekvatnim količinama i pogodnim proporcijama. Stoga je prvi zadatak ishrane bilja i njenog praktičnog aspekta gnojidbe istražiti međusobni odnos biljaka i tla. *Supstrat ishrane*, osim prirodnog tla, može biti pijesak, šljunak, sintetska ili organska inertna podloga, kao i vodena otopina hranjivih elemenata (*hidroponi*, *aeroponi* itd.). S agrokemijskog gledišta, plodno je ono tlo koje

u tijeku čitave vegetacije osigurava biljkama dovoljno hraniva i na kome se trajno postižu visoki prirodni.

Plodnost tla najpouzdanije se definira vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje *kvantificiraju* (brojčano određuju) biljnu produktivnost, ali ujedno opisuju i utjecaj na zdravlje ljudi. Otuda "*Dobro organizirana poljoprivredna proizvodnja na dugi rok povećava ili održava produktivnost i profitabilnost proizvodnje na nacionalnoj razini, čuva ili poboljšava integritet, raznolikost i sustav poljoprivredne proizvodnje kao i okolnih prirodnih ekosustava, a također poboljšava zdravlje ljudi, njihovu sigurnost i zadovoljstva u estetskom pogledu*" (Stuart i Robinson, 1997.).

Korištenje tla u poljoprivrednoj biljnoj proizvodnji može se opisati trima ključnim atributima koje čini više *indikatora* (pokazatelja) *plodnosti*:

- *Biološko-ekološkog,*
- *Sociološko-ekonomskog* i
- *Tehničko-tehnološkog.*

Njihov složeni međusobni odnos zahtijeva multidisciplinarni pristup u kvantifikaciji i analizi produktivnosti tla te veliki broj različitih podataka o njemu. Razumijevanje utjecaja i intenziteta djelovanja *indikatora plodnosti* (*pokazatelji, atributi* ili *parametri*) i uvid u njihove međusobne interakcije neophodno je za optimalno korištenje zemljišnih resursa i primarnu produkciju hrane uz učinkovito korištenje klime, reljefa i usjeva.

Primarna poljoprivredna produkcija u svijetu, zbog strateškog značaja i ovisnosti o klimatskim faktorima, podložna je fluktuaciji oscilatornog tipa s posljedicama koje se odražavaju preko tržišta hrane na značajne promjene cijena poljoprivrednih proizvoda. Jasno je kako se poljoprivredna proizvodnja ne može preorijentirati u kratkom vremenu, pa se metode predviđanja i prognoze u primarnoj produkciji hrane sve više koriste, prvenstveno u sociološko-ekonomskim, ali i drugim aspektima proizvodnje hrane na polju.

Biološko-ekološki aspekt suvremenog korištenja tla sve više uključuje brojčane metode dinamičkog definiranja sustava biljka-tlo-atmosfera, dok tehničko-tehnološku razinu problema u sadašnjem trenutku karakterizira visoko učinkovita agrotehnika s problemima nadzora i automatizacije.

Degradacija fizikalnih svojstava tla antropogenim zbijanjem

Veliki broj prohoda teških strojeva, posebice po vlažnom tlu, neizostavno dovodi do zbijanja tla i općenito pogoršanja njegovih fizikalnih svojstava, odnosno kvarenja strukture, poremećaja vodno-zračnih odnosa u zoni rizosfere, otežanog ukorjenjivanja i penetracije korijena u dublje slojeve, te slabijeg korištenje hraniva. *Posljedica zbijanja su i povećani troškovi obrade uz veći utrošak energije i znatno smanjenu kakvoću obrade.*

Kvarenje strukture može biti i posljedica *pada sadržaja humusa* kao rezultata brže mineralizacije organske tvari u uvjetima intenzivne obrade, ali i lošeg "prometa" organske tvari (spaljivanje i odvoženje žetvenih ostataka, izostanak organske i zelene gnojidbe, uzak plodored i dr.). Pojava pokorice je česta na antropogenim tlima što uzrokuje poteškoće, posebice u nicanju i ranim etapama rasta i razvitka biljaka. Pokorici su sklona tla bogata frakcijama praha, a siromašna humusom i kalcijem.

Degradacija kemijskih svojstava tla

Pogoršavanje kemijskih svojstava tala pripisuju se opravdano neadekvatnoj i pretjeranoj primjeni *agrokemikalija* (mineralna gnojiva, pesticidi, stimulatori rasta, desikanti i dr.). Štetne posljedice pogoršavanje kemijskih svojstava tla su višestruke, a njihova korekcija zahtijeva velike investicije.

Opadanje sadržaja humusa u tlu je redovita pojava u antropogeniziranim tlima i općenito je sadržaj humusa znatno niži u poljoprivrednim u odnosu na prirodna, djevičanska (nerazorana) tla. Uzroci opadanja humusa mogu biti intenzivna obrada i s njom povezana pretjerana aeracija (prozračivanje tla) što pojačava oksidaciju (razgradnju) organske tvari tla, zatim primjena isključivo mineralnih gnojiva, loše gospodarenje organskom tvari (odvajanje ratarske od stočarske proizvodnje, izvoženje ili spaljivanje žetvenih ostataka, izostanak zelene gnojidbe) i dr.

Acidifikacija (zakišeljavanje) tla je posljedica primjene koncentriranih i fiziološki kiselih gnojiva bez balasta (*punila*, npr. karbonata, dolomita itd.), visoke doze gnojovke, ispiranje baza iz tla (navodnjavanje, *imisjska acidifikacija* (*kisele kiše*)). Posljedice zakišeljavanja su pad pH vrijednosti tla, gubitak Ca, *migracija gline* u dublje slojeve i *stvaranje nepropusnog sloja*

koji sprječava *perkolaciju* (prolaz od površinske do podzemne vode), ali i prodor korijena, pogoršanje fizikalnih i bioloških osobina tla, općenito smanjenje plodnosti tla.

Zaslanjivanje tla (*salinizacija*) je proces koji je tipičan za suha klimatska područja, ali se često događa i zbog navodnjavanja vodom loše kakvoće, pretjeranom uporabom mineralnih gnojiva, posebice u plastenicima i staklenicima itd. Prema FAO/UNESCO zemljišnoj karti, ukupne površine slanih tala (*halomorfna tla*) na Zemlji iznose približno 831 miliona ha, a od 230 miliona ha ukupno navodnjavanih površina 45 miliona ha je zaslanjeno ili izloženo sekundarnom zaslanjivanju. Izvor lako topljivih soli može biti *izravan* kad se koristi voda loše kakvoće za navodnjavanje, što može dovesti relativno brzo do zaslanjenja i/ili alkalizacije tla, kao i podzemnih voda. Navodnjavanje u RH još ne predstavlja ozbiljan problem u pravcu zaslanjivanja tala jer se navodnjava tek ~0,5 % obradivih površina. Štete koje mogu nastati navodnjavanjem vodom loše kakvoće dobro ilustrira primjer susjedne Mađarske gdje je sekundarno zaslanjeno ~1.200.000 ha² poljoprivrednih tala. *Neizravan* razlog zaslanjivanja može biti lokalni sastav pedosfere, pa se razgradnjom nekih stijena u tlu akumuliraju soli koje utječu na alkalizaciju i zaslanjivanje. Neizravna salinizacija u RH je ograničena na područje istočne Slavonije i Baranje, dolinu Neretve i uski obalni pojas Dalmacije i otoka.

Fitotoksičnost i depresija rasta

Fitotoksičnost je najčešće izazvana utjecajem suviše velikog i čestog korištenja pesticida te njihovi ostaci (*rezidue*), naročito na tlima slabe puferne moći, dovode do kontaminacije tla i oštećenja biljaka, često i narednih usjeva za koje nisu namijenjeni. Pojava fitotoksičnosti spada u *difuzne (široko prostorne) izvore zagađenja*, a poremećaj se definira kao *degradacija kemijskih značajki tla*. Također, fitotoksičnost može biti posljedica i nekih kemijskih značajki tla, npr. negativan utjecaj *mobilnog aluminija* na kiselim tlima, posebice pseudoglejima zapadne Slavonije i središnje Hrvatske, te kisela smeđa tla Posavine i Međimurja.

Ugrožavanje vodenih ekosustava

Poljoprivreda je vrlo često izvor zagađenja vodenih (*akvatični*) sustava, najčešće zbog ispiranja i površinskog sapiranja hranjivih tvari iz mineralnih i organskih gnojiva, pesticida i drugih agrokemikalija.

U podzemne vode se najviše ispiru *topivi oblici dušika*, posebice *nitriti* i *nitriti* koji se ne vežu u tlu (tzv. *negativna sorpcija*). Na lakim (pjeskovitim, ali i organskim tlima) mogu se ispirati fosfor i kalij, zatim *baze* (Ca, Mg, K i Na), a najmanje se ispiru *teški metali*, posebice na humoznim, neutralnim i alkalnim tlima.

Posljedica ispiranja elemenata je smanjena uporabljivost podzemnih i tekućih voda te povećana mogućnost njihovog onečišćenja (*eutrofikacija*, odnosno bujanja vodene vegetacije, uključujući i alge). Stoga se poljoprivreda opravdano smatra *difuznim izvorom zagađenja*, za razliku od industrije koja spada u *točkaste izvore emisije štetnih tvari*. Sve tvari koje se ispiru iz tla *nisu same po sebi štetne*, no one uzrokuju *poremećaj* odnosa pojedinih bioloških vrsta u vodi, favorizirajući jedne na račun drugih, a neke i uništavaju.

Degradacija bioloških značajki tla

Agrotehnika je u intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji veoma često potencijalno rizična s aspekta *ekološkog opterećenja okoliša* i uzrok poremećaja bioloških svojstava tla. *Degradaciju bioloških svojstava tla* (Tablica 7.) može se jednostavno utvrditi temeljem mikrobiološke aktivnosti i promatranja broja gujavica, premda brojnost gujavica pada i zbog nedostatka organske tvari u tlu, odnosno njene pojačane razgradnje obradom. Na tlima visoke mikrobiološke aktivnosti (*biogenost tla*) u slijedećoj vegetacijskoj godini se ne zapažaju zaorani, lako razgradljivi žetveni ostaci (npr. pšenična slama, sojine stabljike i dr.), kad je ta aktivnost prosječna zaostaju samo teže razgradivi ostaci (npr. stabljike kukuruza ili suncokreta, posebice na dnu oraničnog sloja). Kad je biogenost tla niska ili je uopće nema, u tlu se slijedeće godine mogu pronaći lako razgradivi biljni ostaci, npr. repe, mrkve, gomolja krumpira itd.

Tablica 7. Stupnjevi biološke degradacije tla

Stupanj oštećenja	Vrsta oštećenja	Procesi oštećenja	Posljedice oštećenja
SLAB (1.) Lako obnovljivo	Degradacija tala u intenzivnoj proizvodnji	Degradacija fizikalnih osobina- antropogenim zbijanjem	1) Poremećaji vodoraznih odnosa
		Degradacija kemijskih svojstava	2) Otežana penetracija korijena
		Degradacija bioloških svojstava	3) Pad prinosa
		Degradacija tala hidromelioracijama	4) Zakišeljavanje
			5) Zasljanjivanje
			6) Fitotoksični efekti ili depresija rasta
			7) Smanjena biogenost
			8) Poremećen odnos fizioloških grupa mikroorganizama
SREDNJI (2.) Uvjetno obnovljivo	Zagađenje tla Kontaminacija	Teški metali i potencijalno toksični elementi	1) Hrana neuporabiva za animalnu i humanu ishranu, zbog mutagenih i kancerogenih efekata
		Ostatci pesticida i policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)	2) Depresija rasta biljaka
		Petrokemikalije	3) Fitotoksični efekti
		Radionuklidi u tlu	4) Ugroženi ekosustavi
		Imisija acidifikacijskih tala	
TEŽAK (3) Neobnovljivo	Premještanje tla	Erozija vodom i vjetrom	1) Gubitak dijela tla
		Premještanje rudarskim kopovima, ciglanama, eksploatacijom kamena, šljunka i pijeska	2) Promjena stratigrafije profila
		Odošenje tla plodinama	3) Smanjenje proizvodnih površina
		Prekrivanje tla: smećem, industrijskim otpadom i pepelom	4) Smetnje u obradi tla
		Prekrivanje drugim tlom	5) Povećana heterogenost pedološkog pokrova
		Oštećenja tla šumskim požarom	6) Povećani troškovi proizvodnje
		Izgradnja urbanih područja	7) Smanjen prinos
			8) Ugroženi drugi ekosustavi
NEPOVRATAN (4.) Trajni gubitak tla	Prenamjena tla	Industrija, prometnice, aerodromi	Gubitak površina i smanjenje proizvodnje hrane
		Hidro akumulacije	Gubitak površina i smanjenje proizvodnje hrane
			Gubitak površina

Kvantitativno mjerenje mikrobiološke aktivnosti tla može se obavljati brojnim mikrobiološkim metodama, a u posljednje vrijeme često se brzo i jednostavno utvrđuje *intenzitet disanja tla* kao opći pokazatelj biogenosti. Ispitivanja mikrobiološke aktivnosti tla u RH unazad 50-ak godina pokazuju pad ukupne biogenosti i poremećeni odnos važnijih fizioloških skupina mikroorganizama. Degradacija bioloških svojstava tla uzrokuje usporenu

transformaciju organske tvari i sinteza humusa (*humifikacija*) koji je loše kakvoće čime se narušava i struktura tla.

Infekcija tla patogenim mikroorganizmima je pojava do koje dolazi često kod primjene svježeg stajnjaka i gnojovke sa stočnih farmi na kojima se javljaju bolesti. Nema podataka o takvim infekcijama u našoj zemlji, a uporaba ovih gnojiva *zakonski je posebno regulirana*.

Prema *Mihaliću* (1987.) virusi *slinavke* i *šapa* mogu u gnojovci preživjeti 103 dana, a afričke svinjske kuge čak 160 dana. *Salmonella* iz gnojovke aktivna je do deset mjeseci.

Agrotehničke mjere i plodnost tla

Gnojidba je najvažniji činitelj produktivnosti tla jer utječe na povećanje prinosa ~50 % u odnosu na sve druge agrotehničke mjere (navodnjavanje, obrada, izbor kultivara, zaštita i dr.). Ona održava i podiže prirodnu plodnost tla i najviše povećava vrijednost uloženog rada i sredstava u poljoprivrednu proizvodnju (*produktivnost*), ali mora biti primjerena potrebama, uzrastu i stanju usjeva, jer suvišni, neusvojeni dio hraniva može eskalirati u onečišćenje okoliša, prije svega podzemnih voda.

U održavanju i povećavanju prirodne plodnosti pomažu primjena organskih i mineralnih gnojiva, odgovarajuća obrada tla, pravilna rotacija usjeva, kultivacija, uzgoj leguminoza, zaoravanje žetvenih ostataka, zelena gnojidba i sjetva pokrovnih usjeva, mjere popravke tla (kalcizacija, humizacija, primjena mikroelemenata i dr.) i agrokemijska analiza tla kao temelj profitabilne gnojidbe i regulacije plodnosti tla.

Važan indikator plodnosti su struktura i tekstura tla koja je najvažniji čimbenik kvalitetne obrade tla i kulture usjeva, bolje infiltracije i zadržavanja oborinske vode (*retencija*) u tlu, sprečavanja zbijanja i održavanja povoljnog vodno-zračnog režima.

Plodnost tla jako ovisi o njegovim agrokemijskim svojstvima kao što su povoljna pH reakcija (najbolje da je neutralna, slabo kisela ili slabo alkalna), uravnotežen i dovoljan sadržaj humusa koji se postiže organskom gnojidbom i zaoravanjem žetvenih ostataka u količini jednakoj

mineralizaciji org. tvari tla, raspoloživost elemenata biljne ishrane, dobra biogenost tla koja ukazuje na brzinu razlaganja žetvenih ostataka i organskih gnojiva, odnosno tempo oslobađanja dušika, fosfora i drugih biogenih elemenata i dr.

Budući je plodnost tla njegovo najvažnije i vrlo složeno svojstvo koje se ne može apsolutno odrediti, procjena je to pouzdanija što je broj relevantnih pokazatelja veći. Stoga se ona obavlja temeljem fizikalno-kemijske analize tla, ali i niza drugih, tzv. dopunskih, najbolje kvantitativnih pokazatelja. Npr. da bi se pouzdano utvrdila pogodnosti tla za uzgoj konkretnog usjeva, potrebno je znati kakav je bio prinos prethodnih usjeva, kakva je uređenost tla, njegova biogenosti itd., pa sve do cijene kapitala i proizvoda, raspoložive infrastrukture, ali i kakvo je znanje proizvođača.

Hraniva u tlu i njihova bioraspoloživost

Podjela hranjivih tvari

Mineralna hraniva biljke usvajaju u mineralnom obliku i ona pretežito potječu iz minerala tla ili gnojiva, a to su anorganski ioni, soli ili molekule. Ova grupa biljnih hraniva obuhvaća i mineralne oblike dušika (NO_3^- i NH_4^+) u kojima se on pretežito i usvaja, premda potječu iz organskih spojeva koji se *mikrobiološkom mineralizacijom organske tvari* transformiraju do mineralnih oblika i tako usvajaju korijenom.

Organska hraniva usvajaju se općenito jednako kao i mineralna, dakle kao ioni, ali to mogu biti i vrlo male molekule mase ispod 1.000 g mol^{-1} (1 *kilo Dalton*, 1 *kDa* = 1,66054 yg; yg = *jotiram* = 10^{-24} grama).

Usvajanje hraniva iz tla je vrlo učinkovit proces koji podržava velika površina korijena biljaka i njegova sposobnost apsorpcije elemenata ishrane pri njihovoj vrlo niskoj koncentraciji (<1000 ppm ili <1 g u litri) u vodenoj otopini tla. *Bioraspoloživost hraniva*, odnosno mogućnost njihovog usvajanja, potpomaže i niz živih organizama (*bakterije, gljive, mezofauna* i dr.) budući da korijenov sustav biljaka i tlo, koje on prožima, čine jedinstven sustav (*rizosfera*) s jakim uzajamnim utjecajem.

Na temelju egzaktnih pokusa u vodenim kulturama, gdje je moguće potpuno izostaviti pojedine elemente ishrane, smatra se kako je za život viših biljaka (*stabilisice; cormophyta*) neophodno 17 kemijskih elemenata koji se često nazivaju još *esencijalni* ili *biogeni*:

C (*ugljik*), O (*kisik*), H (*vodik*), N (*dušik*), P (*fosfor*), K (*kalij*), S (*sumpor*), Ca (*kalcij*), Mg (*magnezij*), Fe (*željezo*), B (*bor*), Mn (*mangan*), Zn (*cink*), Cu (*bakar*), Mo (*molibden*), Cl (*klor*) i Ni (*nikal*).

Elementi biljne ishrane se uobičajeno dalje dijele na:

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

Prefikse elemenata ishrane „*makro*“ i „*mikro*“ treba shvatiti pragmatično, obzirom na potrebnu količinu određenog elementa, a nikako u smislu njihovog značaja, jer je za život viših biljaka neophodan svaki od navedenih 17 elemenata bez obzira na njegovu količinu u biljkama. Koncentracija *makroelemenata* u biljkama najčešće je veća od 0,1 % u suhoj tvari (ST), dok *mikroelementi* čine tek 10^{-1} do 10^{-4} % na ST. *Ultramikroelemenata* ima manje od 10^{-4} % na ST. Niže biljke (*tallophyta*; nemaju list, stablo i korijen), s malim odstupanjima, imaju jednake zahtjeve za elementima ishrane kao i više biljke.

Unutar grupe makroelemenata često se izdvajaju *organogeni (nemineralni) elementi* (C, O i H) koji grade više od 90 % žive tvari. U klasifikaciji organogenih elemenata obično se izostavljaju dušik, fosfor i sumpor, premda su oni neizostavne sastavnice (*konstituenti*) organske tvari, ali ih biljke usvajaju pretežito u mineralnom obliku i u znatno manjim količinama prema ugljiku, kisiku i vodiku. Dakle, organogene kao i mineralne elemente biljke pretežito usvajaju u mineralnom obliku.

Oblici hranjivih tvari u tlu

Hranjive tvari tla nalaze se u različitim i vrlo promjenjivim kemijskim oblicima koji određuju njihovu bioraspoloživost pa je usvajanje hraniva

korijenskim sustavom biljaka jako ovisno o fizičko-kemijskim svojstvima pojedinih hraniva. Pristupačnost hraniva iz tla je, u pravilu, jako prostorno i vremenski promjenjiva, ovisna o nizu svojstava tla, genetskih odlika biljne vrste i kultivara, biljnog uzrasta (podjednako izdanka i korijena), intenziteta njenog metabolizma, vodno-zračnog režima, mikrobiološke aktivnosti itd.

Podjela hranjivih tvari prema njihovoj pristupačnosti temelji se na njihovoj topljivosti i pokretljivosti u vodi. Uobičajeno se *biljna hraniva* grubo dijele na *mobilne* i *rezervne elemente ishrane*. U grupu mobilnih hraniva svrstavaju se *vodotopljiva* i *izmjenjivo vezana hraniva*. Mobilna hraniva čine manje od 2 % ukupnih hraniva u nekom tlu, dok su preostalih 98 % (često i više) *rezervna hraniva*. *Rezervna hraniva* su hranjive tvari u tlu vezane organskim ili anorganskim kemijskim vezama koje ne dopuštaju njihovo usvajanje u tom obliku pa je njihova raspoloživost više potencijalnog karaktera, odnosno moraju prethodno proći kroz proces transformacije (*mobilizacije*) u pristupačne oblike.

Pokretljive hranjive tvari

Pod pokretljivim (*mobilnim*) hranivima u tlu podrazumijevaju se hraniva u vodenoj fazi tla, odnosno hraniva koja nisu čvrsto vezana na adsorpcijski kompleks, lako se zamjenjuju drugim ionima te su relativno dobro pokretljiva. Dakle, *vodotopljivi dio hraniva* potpuno je pokretljiv i premješta se u tlu kretanjem vode (*mass-flow*) ili *difuzijom* (od mjesta veće prema nižoj koncentraciji). *Izmjenjivo vezana hraniva*, usprkos polarnoj vezi (temeljem razlike električnog naboja) s tijelom sorpcije (koloidi tla; glina i humus), smatraju se također pokretnim, jer u tlu egzistira stalno prisutna ravnoteža između procesa *sorpcije* (vezivanja) i *desorpcije* (otpuštanja), odnosno njihove zamjene na koloidima tla.

Hraniva u vodenoj otopini tla pretežito su u ionskom obliku. Njihova koncentracija je vrlo niska i u granicama 0,01 - 0,10 % (100 - 1.000 ppm) uz osmotsku vrijednost vodene faze tla od 0,1 - 0,5 bara, a njihov udjel dostiže tek 1 - 10 % od izmjenjivo vezanih hraniva nekog tla. Važno je naglasiti kako vodotopljiva hraniva, premda su najpristupačniji oblik, zbog velike pokretljivosti u tlu, promjenjivosti koncentracije i mogućnosti lakog ispiranja, odnosno gubitaka, nipošto nisu i najpovoljniji oblik biljnih hraniva.

Izmjenjivo vezana hraniva u tlu također su u ionskom obliku, ali su električnim silama zadržana uz koloidne čestice. Takva hraniva lako se usvajaju, a istovremeno je onemogućeno njihovo kretanje s vodom tla i ispiranje iz zone korijena. Uglavnom su to kationi te njihov sadržaj u tlu ovisi o kapacitetu sorpcije tla. Adsorpcijski izmjenjivački kompleks neutralnog tla pretežito je popunjen ionima Ca^{2+} (oko 80 %), Mg^{2+} (10 - 15 %), a ostatak zauzimaju K^+ , Na^+ i drugi ioni. U kiselim tlima vodik i aluminij (H^+ i Al^{3+}), često Fe^{3+} , Mn^{2+} i dr., mogu zauzimati veći dio tijela sorpcije. Stoga je stupanj popunjenosti adsorpcijskog kompleksa bazama (Ca, Mg, K i Na) važno mjerilo za procjenu mogućnosti opskrbe biljaka hranjivim tvarima.

Rezervna hraniva su raznolika grupa spojeva čija je topljivost u vodi slaba, a usvajanje veoma ograničeno i izuzetno sporo. To su čvrsto vezana hraniva ugrađena u kristalnu rešetku primarnih i sekundarnih minerala, teško topljive soli i drugi kemijski spojevi, humusne tvari, fiksirani kalijevi ili amonijevi ioni, živa bića tla itd. Budući da je najveći dio hraniva tla upravo u obliku rezervnih tvari (95 - 99 %), ukupan sadržaj hraniva svakog tla približno odgovara toj veličini. Podjela na *organske i neorganske rezerve* je uvjetna zbog mogućnosti transformacije jednih u druge oblike. Na primjer, dušik i sumpor su u tlu pretežito organski vezani, a biljke ih usvajaju gotovo isključivo u mineralnoj formi. Rezerve fosfora u tlu su približno 50 % organske, dok su kalcij, magnezij, kalij i mikroelementi pretežito anorganski vezani.

Dinamika hraniva u tlu

Hraniva u tlu podložna su transformacijama različite brzine pri čemu jedni oblici prelaze u druge što uvjetuje i promjenu njihove mobilnosti i koncentracije, odnosno raspoloživosti. Promjene se događaju zbog niza razloga kao što je promjena koncentracije zbog usvajanja usjevom, mikroorganizmima, korovima, gubitaka ispiranjem i dr., promjene stanja vlažnosti, pH vrijednosti itd. Takve promjene hraniva u tlu nazivaju se jednim imenom *dinamika hraniva u tlu* ili *dinamička ravnoteža hraniva*. Čvrstoća vezanosti hraniva u tlu temelj je za gradaciju njihove pristupačnosti i pokretljivosti, kako to pokazuje Tablica 8.

Kod podjele hraniva prema pokretljivosti i raspoloživosti, najveću poteškoću čini granica između lako i teško pokretnih rezervi. Također, precizna definicija oblika hraniva nije sasvim moguća prema pokretljivosti, jer mobilnost hraniva ovisi o nizu čimbenika kao što su vrsta spoja, veličina čestica i kristala, nepravilnosti u kristalizacijskoj strukturi, prisutnosti stranih atoma u kristalnoj rešetki, površinska napetost čestica i sl. Zbog brojnih okolnosti nije moguće kemijskom analizom odrediti *apsolutno bioraspoloživi dio hraniva u tlu* (biljci pristupačan), već se približna veličina utvrđuje iskustveno, odnosno *empirijski*, na temelju vegetacijskih pokusa u konkretnim agroekološkim uvjetima.

Tablica 8. Shematski prikaz oblika i pokretljivosti hraniva u tlu

Oblik hraniva	Vodotopljiva	Izmjenjiva	Rezervna	
Pokretljivost	Pokretljiva		Nepokretna	
	Potpuno	Djelomično	Slabo	Teško
Raspoloživost	Vrlo laka	Laka	Umjerena	Nepristupačna
	Pristupačna			

Pod pojmom *mobilizacija* podrazumijevaju se svi procesi koji uzrokuju prijelaz nepristupačnih u raspoložive oblike hraniva, dok je *imobilizacija* suprotan proces. Dakle, mobilizacija i imobilizacija označavaju sve procese u tlu koji vode promjeni bioraspoloživosti hraniva. *Fiksacija* podrazumijeva prijelaz pokretljivih hraniva u teško pokretne oblike, dok je *defiksacija* obrnut proces.

Uzroci koji dovode do promjena u dinamičkoj ravnoteži hraniva vezani su uglavnom uz promjenu koncentracije iona u vodenoj fazi tla. Takva promjena redovito nastaje kod gnojidbe pa unošenjem vodotopljivih hraniva raste koncentracija iona u vodenoj fazi tla što uzrokuje izmjenjivo

vezivanje viška iona na adsorpcijski kompleks. Zamijenjeni ioni s kationskog izmjenjivačkog kompleksa dalje reagiraju što još smanjivanje raspoloživosti i pokretljivosti hraniva, odnosno, dolazi do brze transformacije pokretljivih u manje pokretne oblike.

Porast koncentracije iona u vodenoj fazi može biti izazvan porastom mikrobiološke aktivnosti kada su uvjeti u tlu povoljni (voda, temperatura, kisik, pH, prisutnost organske tvari širokog C/N odnosa, prisutnosti drugih iona itd.). Kad koncentracija iona u vodenoj fazi tla opada zbog usvajanja, ispiranja ili zbog mikrobiološke fiksacije, nedostatak se postupno nadoknađuje iz izmjenjivog dijela hraniva, a nedostatak izmjenjivih hraniva iz labilnih rezervi (Tablica 8.). Dakle, promjena koncentracije u vodenoj fazi tla izaziva promjenu koncentracije izmjenjivih hraniva što dalje aktivira procese mobilizacije rezervnih hraniva u cilju održanja prvobitno uspostavljene ravnoteže.

Smjer dinamičke ravnoteže hraniva od vodotopljivih preko izmjenjivih do rezervnih hraniva (*imobilizacija*) uvijek je brži od suprotnog smjera, odnosno *mobilizacije* (Tablica 8.). *Stoga mobilizacija hraniva iz rezervi tla, koliko god one bile bogate, nema potreban intenzitet za osiguravanje optimalne ishrane poljoprivrednih vrsta, posebice onih čija je vegetacija relativno kratka. Zbog toga se gnojidba s pravom smatra najvažnijom agrotehničkom mjerom za osiguranje visokih i stabilnih uroda.*

Biljka

Poput svih živih organizama i biljke su izgrađene od stanica unutar kojih se događaju brojne biokemijske reakcije i složeni fiziološki procesi koji su odgovorni za njihov rast, razvitak i razmnožavanje. *Metabolizam* ili *izmjena tvari* je skup kemijskih reakcija koje se odvijaju u živom organizmu radi održanja života. Reakcije *katabolizma* odgovorne su za razgradnju tvari radi dobivanja potrebne energije i jednostavnijih tvari koje u procesima *anabolizma* grade složene tvari neophodne za održavanje života. Ti procesi omogućuju organizmu da raste, razmnožava se, održava svoju strukturu i reagira na podražaje iz okoliša. Za održavanje potrebne razine metabolizma biljkama je potrebna energija Sunca, voda, ugljični dioksid i biogeni elementi koje usvajaju iz zraka, vode i tla.

Biljke transformiraju usvojene hranjive tvari korijenom i listom (ali i drugim organima) u vlastite građevne tvari, a samo se jedan, manji dio, nakuplja u usvojenom obliku. Budući da su biljke autotrofni organizmi (*samoishrana*) i svoju hranu same sintetiziraju iz vode i ugljičnog dioksida uz pomoć sunčeve svjetlosti (fotosinteza), biogene elemente usvojene iz tla (bilo iz prirodnih rezervi tla, organskih ili mineralnih gnojiva) pogrešno je smatrati biljnom hranom. Naime, organsku tvar biljaka pretežito čine elementi iz vode i zraka (C, O i H), a mineralni elementi, koji zaostaju u pepelu biljaka nakon njihovog spaljivanja, čine svega 1 - 2 % biljne tvari. Oni mogu biti *konstitucijski* (strukturni) kao što su N, P i S, *aktivatori enzima* (K, Ca, Mg, Mn i Zn), *regulatori redoks reakcija* (Fe, Cu, Mn, Mo) te B i Cl čije funkcije se ne mogu svrstati u jednu od navedenih grupa. Bez svih njih biljke ne mogu sintetizirati svoju hranu i zaokružiti svoj životni ciklus od sjemena do sjemena, ili ploda, te se stoga smatraju biogenim ili neophodnim elementima, odnosno *biljnim hranivima*. Ukupno je poznato 17 biogenih elemenata (vjerojatno ih ima više jer su neki potrebni tek u ultra malim količinama što još nije potvrđeno) i po analogiji s ljudskim metabolizmom, možemo ih smatrati „*multivitaminskim dodatkom*“ biljnoj hrani. Biljke s nedostatnom ishranom, kojima nedostaju biogeni elementi, mogu preživjeti dugo razdoblje vegetacije, ali to nikad nije dobro obzirom na visinu i kakvoću prinosa.

Uobičajeno je da se koncentracija (udio) biogenih elemenata izražava na suhu biljnu tvar (ST) zbog vrlo promjenjivog sadržaja vode u organima zelenih biljaka. Koncentracija makroelemenata izražava se u postotku na suhu tvar (ST), ali se ponekad može iskazivati na svježu, te na apsolutno suhu tvar biljke. Npr., kod primjene brzih testova za utvrđivanje potrebe u prihrani dušikom, koncentracija nitrata se utvrđuje u svježoj tvari mladih biljaka pšenice, peteljka kod šećerne repe itd. *Koncentraciju* (udio u nečemu) treba razlikovati od *sadržaja* (količine) koja je umnožak koncentracije i mase biljaka. Npr. ako je koncentracija N u zrnu pšenice 2,25 %, a u slami 0,45 %, prinos zrna po jednom hektaru 7,50 uz žetveni indeks 50 % (koliko ima zrna, toliko je i slame) tada je sadržaj (ukupna količina) dušika u pšenici 225 kg N ha^{-1} (zrno $168,75 +$ slama $56,25$):

zrno: $(2,25 \times 7.500) / 100 = 168,75 \text{ kg N ha}^{-1}$

slama: $(0,75 \times 7.500) / 100 = 56,25 \text{ kg N ha}^{-1}$

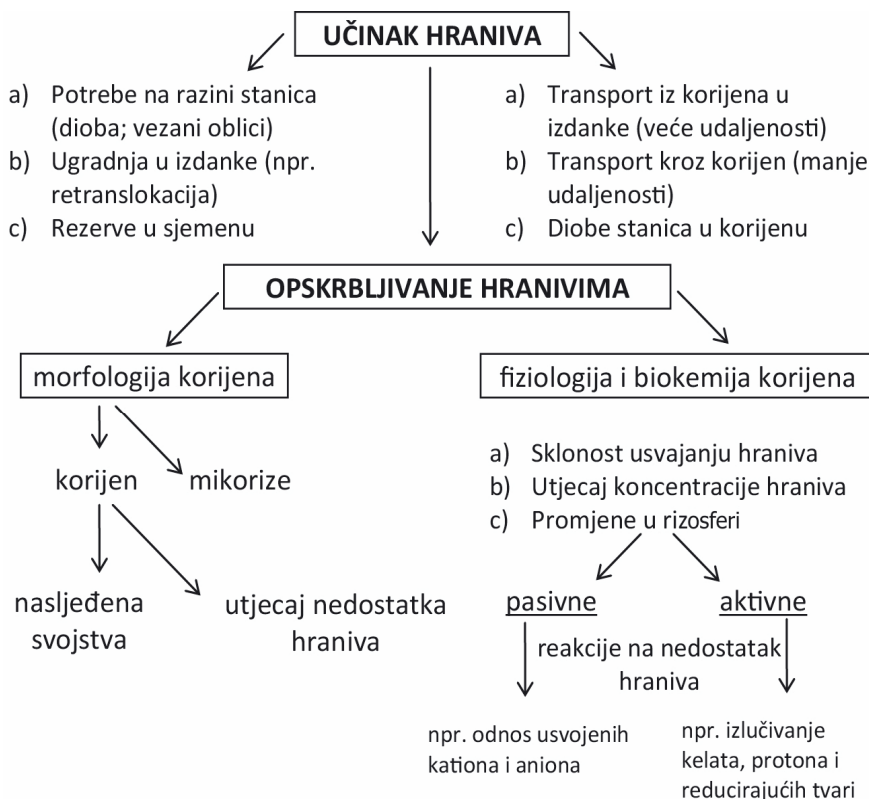
Uobičajeno se sadržaj elemenata u cjelokupnoj suhoj tvari (*biomasa*) označava kao *iznošenje elemenata*, a dio u prinosu (*merkantilni dio biomase*) označava kao *odnošenje elemenata* jer su odneseni s njive urodom, često spaljenim ili odnesenim žetvenim ostacima s njive. Ovakva podjela je pragmatična zbog utvrđivanja potrebe u gnojidbi i održavanja, odnosno podizanja plodnosti.

Suha tvar (ST) biljaka sadrži najviše *organogenih* (nemineralnih) elemenata i to u prosjeku 44 - 49 % ugljika, 42 - 46 % kisika i 5 - 7 % vodika. Dušik (N) i sumpor (S) također se usvajanja u mineralnom obliku te se najčešće izuzimaju iz ove grupe elemenata (premda su konstituenti organske tvari, a njezinim spaljivanjem, jednako kao C, H i O, ne zaostaju u pepelu). Ostatak su *mineralni elementi* ili elementi pepela jer zaostaju u njemu nakon spaljivanja organske tvari na 500°C i to u obliku soli (karbonata, silikata, fosfata i dr.), ili u obliku oksida.

Koncentracija mineralnih elemenata znatno varira ovisno o biljnoj vrsti, dijelu (biljnom organu) koji se analizira, starosti, opskrbljenosti tla hranivima, vodom i drugim vanjskim i unutarnjim (biljnim) čimbenicima rasta i razvitka. Također, prisutne su značajne razlike unutar biljaka jedne vrste što se označava pojmom *sortne ili genotipske specifičnosti* (Slika 10.)

i mora se uvažiti kod utvrđivanja potrebe usjeva za pojedinim elementima ishrane.

Koncentracija elemenata u lišću, zbog njihove fotosintetske funkcije, dobar je pokazatelj ishranjenosti biljaka pri čemu treba obratiti pozornost na sposobnost premještanja pojedinog elementa iz starijeg u mlađe, fiziološki aktivno lišće.



Slika 10. Uzroci sorte specifičnosti biljaka

Biljke iz porodice trava sadrže relativno manje kalcija (Ca), magnezija (Mg) i bora (B), a puno silicija (Si). Leguminoze sadrže relativno više kalcija, magnezija i bora, a malo silicija, dok su krstašice bogate sumporom (S). Biljke uzgajane na kiselom tlu sadrže više željeza (Fe) i aluminija (Al), a biljke slanih staništa više natrija (Na), magnezija (Mg), klora (Cl) i sumpora (S).

Raspodjela elemenata unutar jedne biljne vrste, kao i dinamika usvajanja, također je veoma promjenjiva, ovisno o dobu vegetacije i biljnom dijelu. Lišće u pravilu sadrži više kalija (K), kalcija (Ca), magnezija (Mg) i sumpora (S), a posebno je visok sadržaj dušika (N) i fosfora (P). Mlađe lišće ima visok sadržaj većine elemenata, dok starije sadrži više slabo pokretljivih elemenata kao što su kalcij (Ca), bakar (Cu) i bor (B). Sjeme ima visok sadržaj dušika (N), fosfora (P) i magnezija (Mg), dok korijen ima relativno nizak sadržaj svih elemenata.

Usvajanje hraniva i vode

Stanična građa svih živih organizama uključuje složeni membranski sustav kroz koji se obavlja i regulira usvajanje vode i hraniva te njihovo premještanje u druge dijelove stanica i dalje u pojedina tkiva i organe. Sve žive membrane su univerzalno građene i nipošto nisu tek jednostavne pregrade. Njihova uloga je da različitim intenzitetom selektivno propuštaju vodu i pojedine tvari pa žive membrane reguliraju promet tvari i energije te tako usklađuju metabolizam stanice s uvjetima koji vladaju u njoj i njenom okruženju.

Usvajanje hranjivih tvari je različito po vremenu, intenzitetu i količini, ovisno o biljnoj vrsti, ali je općenito veće kod korova u odnosu na "kulturne" vrste. Jedan dio objašnjenja je u većoj aktivnoj površini korijena korova, njegovoj većoj sposobnosti zamjene iona zbog veće količine i raznovrsnosti izlučevina koje su sposobne mobilizirati hraniva u rizosferi.

Aktivnu površinu korijena čini vršna zona korijena s vrlo finim *korijenskim dlačicama* (žive i vrlo aktivne stanice) koje lako mogu doći u neposredan dodir s koloidnim česticama tla. Stoga je površina korijena vrlo značajna s gledišta usvajanja hraniva. Npr., leguminoze po 1 aru (1 ar = 100 m²) imaju aktivnu površinu korijena od 5.000 m², pšenica 10.000 m², dok površina svih čestica tla u oraničnom sloju 1 ara iznosi $\sim 3 \times 10^8$ m² (~30.000 ha ili 300 km² ili ~1/4 površine Baranje). Stoga je razumljivo da korijen mora u "potragu" za hranivima i to postiže isključivo rastom.

Ulazak vode i hraniva u biljku najčešće se odvija u dvije faze. Prva je tzv. pasivna faza usvajanja u kojoj biljke ne troše energiju. Slijedeća faza je

aktivno usvajanje vode i hraniva koja se odvija uvijek uz potrošnju energije, bilo iz novo izgrađenih tvari tijekom fotosinteze, ili iz rezervnih tvari kad fotosinteza nije moguća (noću, niska temperatura, nedostatak vode i dr.)

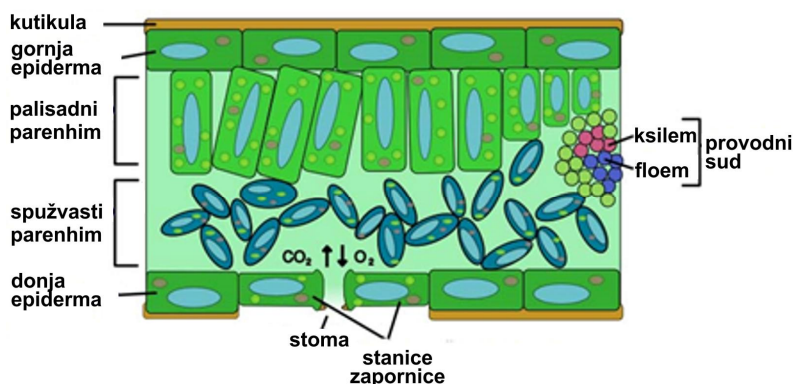
Pasivno usvajanje vode i hraniva temelji se na fizikalnim zakonima *difuzije* i *osmoze*, bez utroška energije. Razmjena tvari između biljnih stanica i vanjske sredine moguća je tim procesima samo u uvjetima dovoljne vlažnosti tla, ali i tada uz velike prepreke. Stoga biljke usvajaju i troše veliku količinu vode od koje se samo manji dio zadržava za potrebe biljke, dok veći dio kao tranzitna voda prođe kroz biljke u tzv. *transpiracijskoj struji*. Dakle, *tranzitna voda* se premješta iz korijena, kroz stablo do lista gdje isparava u okolni prostor, a ponekad se gubi i u vidu kapljica. Mnoga ispitivanja su pokazala kako je usvajanje pojedinih hraniva u korelaciji s *intenzitetom transpiracije*, ali se to događa najčešće samo na plodnim tlima. Na tlima niske plodnosti nema jače veze između transpiracije i usvajanja hraniva, što jasno pokazuje kako biljke koriste i druge mehanizme usvajanja hraniva. Stoga, pasivno usvajanje iona na principima difuzije, osmoze, kontaktne zamjene i slobodnog toka vode s otopljenim tvarima ima samo ograničeni značaj.

Aktivno usvajanje hraniva i vode i premještanje tvari iz tla, gdje im je koncentracija veoma niska, do krajnjeg mjesta ugradnje u organsku tvar ili nakupljanja, zahtijeva energiju, odnosno utrošak rada (savladavanje sile na tom putu). Količina potrebne energije za prijenos neke tvari kroz membranu ovisi najviše o koncentraciji te tvari unutar stanice. Npr., ako se prenesena tvar koncentrira 100 puta, potrebno je dva puta više energije uložiti u odnosu na povećanje koncentracije od 10 puta, odnosno 3 puta više za koncentracije od 1.000 puta (proporcionalno je dekadnom logaritmu).

Velika većina suvremenih istraživanja zaključuje kako je usvajanje hranjivih tvari pretežito aktivan proces koji ovisi o disanju, sintetskoj aktivnosti korijena i fotosintetskoj aktivnosti zelenih organa. Pasivan tijek usvajanja ograničava se najvećim dijelom na tzv. *slobodan prostor korijena* (prostor u korijenu u koji vodena otopina tla slobodno ulazi i dostiže koncentraciju vanjske otopine).

Usvajanje i kretanje vode kroz biljku

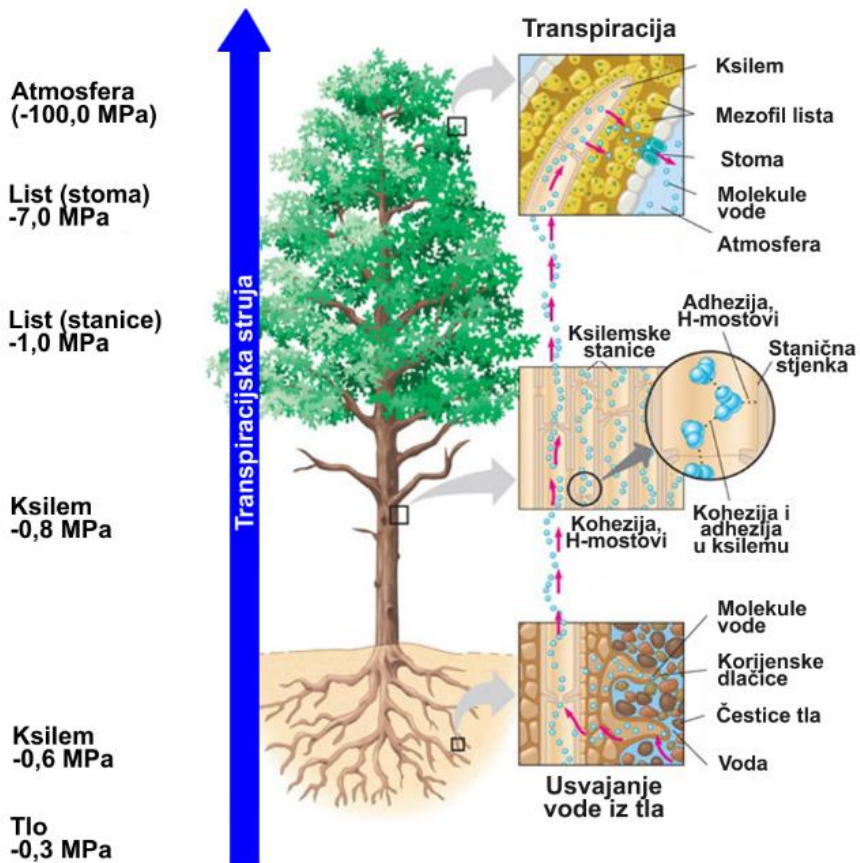
Vodni režim biljaka sastoji se iz njenog usvajanja, kretanja kroz biljku i gubljenja transpiracijom, ponekad i gutacijom. *Bilanca vode* u biljkama, zbog njezinog izuzetnog fiziološkog i poljoprivrednog značaja, danas je predmet svestranog izučavanja. Ona ovisi o razvijenosti te svojstvima korijenskog i provodnog sustava, pokrovnih tkiva kroz koja se voda gubi, kao i vanjskih čimbenika od kojih su najznačajniji sadržaj i raspoloživost vode u tlu, temperatura i aeracija, odnosno opskrbljenost korijena kisikom. Biljke su veoma veliki potrošači vode i premda u prosjeku sadrže 75 % vode, samo mali njezin dio sudjeluje u građi organske tvari. Najveći dio usvojene vode "prođe" kroz biljku u tzv. transpiracijskoj struji prenoseći hranjive tvari i hladeći fotosintetski aparat (lišće), pa biljke usvoje ~500 g vode za sintezu 1 g suhe tvari što se označava kao transpiracijski koeficijent.



Slika 11. Poprečni presjek kroz list

Voda se može usvajati lišćem, kao i mnogim drugim biljnim organima, i nema bitne razlike između usvajanja lišćem i korijenom zbog drugačije anatomske građe ta dva organa. List je prekriven *kutikulom* (deblje kutikule ne propuštaju vodu), zatim slijede stanice *epiderme* u kojima je niz otvora, odnosno *puči* (grč. *stoma*; usta; otvor za razmjenu i regulaciju plinova s atmosferom). Ispod tankog sloja epiderme su stanice *palisadnog parenhima* (cilindrične, gusto složene stanice na gornjem dijelu lista), a s donje strane nalazi se *spužvasti parenhim* ispod kojih je sloj epidermalnih stanica, često bez kutikule (Slika. 11.).

Ukupna površina puči prosječno je tek 2 % od površine lista te kroz tako male otvore ($\sim 30 \times 7 \mu\text{m}$) tekućine veoma teško ulaze zbog površinskog napona, a i samo vlaženje stanica zapornica smanjuje ulazni otvor. Zbog toga se voda (i otopljene mineralne tvari) usvajaju preko lista kroz kutikulu i epidermalne stanice, stanice zapornice puči i dlačice na listu, a ne kroz otvorene puči.



Slika 12. Usvajanje, transport i gubitak vode transpiracijom po gradijentu deficita vodnog tlaka

Kretanje vode u biljci (Slika 12.) odvija se od stanice do stanice (*ekstravaskularno*) i kroz provodna tkiva (*vaskularno*). Ekstravaskularna pokretljivost vode je pasivnog tipa i malog intenziteta, a temelji se na

osmotskim silama. Aktivnim premještanjem vode kroz prepreke u korijenu (*endoderma*) do *provodnih tkiva* i dalje *ascendentno* (prema gore) odvija se isključivo *vaskularno*, odnosno *ksilemom* (liko). Uzlazno premještanje vode od korijena do lišća kroz ksilem omogućeno je "dvomotornim" mehanizmom koji čini *negativni hidrostatski tlak* (Slika 12.) ili *deficit vodnog tlaka*, nastao kao posljedica *transpiracije* (povlači vodu prema lišću), a potpomognut je *korijenskim tlakom* koji "gura" vodu od korijena prema lišću. Omjer između te dvije sile je različit ovisno o biljnoj vrsti, ali i uvjetima sredine.

Voda se gubi iz biljke najvećim dijelom u *transpiracijskoj struji* preko lista u obliku vodene pare. Zbog toga u listu raste deficit vodnog potencijala (raste sila usisavanja) koji povlači vodu iz stanica ksilema u kojima se molekule vode „drže“ povezane vrlo jakim *kohezijskim silama* (do 35 MPa ili ~350 atm) čija *tenzija* (napetost) ne dopušta prekidanje vodenih niti. To omogućuju „penjanje“ vode na velike visine (npr. kod lijana, eukaliptusa i sekvoja >100 m). Sile *kohezije* potpomognute su *silama adhezije* što rezultira kapilarnim efektom, odnosno penjanjem vode kroz provodna tkiva. Naime, molekule vode se međusobno čvrsto povezuju kohezijskim, a sa stjenkama stanica ksilema adhezijskim silama. Vodeni stupac potpomognut je s donje strane korijenovim tlakom (0,1 - 0,2 MPa ili 1 - 2 atm) pa transpiracija zapravo funkcionira kao "dvomotorni" mehanizam. Mehaničkim oštećenjem ksilema u njega ulazi zrak, puca neprekidnost vodenih niti što kod oštećenja kore biljaka u kojoj se nalazi ksilem prekida uzlazni tok vode.

Transpiracija je proporcionalna deficitu zasićenosti atmosfere vodenom parom, temperaturi zraka i površini biljaka s koje se voda gubi. Voda se, osim transpiracijom, može gubiti u obliku tekućine (*gutacija* i *plač biljaka*). *Gutacija* je gubljenje vode u vidu kapljica, a javlja se u uvjetima dobre snabdjevenosti biljaka vodom, visoke temperature tla i visoke relativne vlage zraka, kad transpiracija nije moguća. Višak vode iz biljke izlučuje se tada kroz *vodne puči* ili *hidatode* (pasivne i aktivne). S vodom se izdvajaju i u njoj otopljene tvari, posebno kod starijeg lišća. Npr. gutacijom se lako izdvajaju Na i Mn, a u manjoj količini Fe, Zn, P i Cl. Osim elemenata izdvajaju se i manje količine organskih kiselina, aminokiselina i šećera.

Plać biljaka ili suženje (eksudacija) se zapaža kod povrede biljaka kao posljedica korijenskog tlaka koji potiskuje vodu uzlazno (*ascendentno*) do prekida ksilema. Zbog toga se plać biljaka zapaža u proljeće, odnosno kad je tlo toplo i tlo sadrži obilje vode, a transpiracija je onemogućena ili smanjena zbog nerazvijenog lišća. Količina *eksudata* dostiže kod orezane vinove loze 1 dm³ po danu, kod breze 5 dm³, dok neke palme izluče 10 - 15 dm³ vode za jedan dan. Eksudat sadrži veću koncentraciju mineralnih tvari u odnosu na gutaciju.

Usvajanje hraniva listom

Lišće ima veoma važnu ulogu u ishrani bilja, osobito zbog procesa fotosinteze (koju obavljaju i drugi zeleni organi) i transpiracije, premda je osnovna funkcija korijena usvajanje vode i hranjivih tvari. Putem lista se mogu vrlo uspješno usvajati voda te mineralne i organske tvari, a između usvajanja elemenata ishrane listom i korijenom su tek male razlike prisutne zbog drugačije anatomske građe tih dvaju organa. U oba slučaja voda i hraniva se usvajaju kroz stanične membrane, a ne kroz puči lista, odnosno otvore za razmjenu plinova i vodene pare s atmosferom.

Premještanje (*translokacija*) elemenata usvojenih preko lista ipak se znatno razlikuje od usvajanja preko korijena, jer je njihova pokretljivost u *floemu* (pretežito *descendentni* smjer kretanja asimilata od lišća prema dolje) različita u odnosu na ksilem (prema gore). Stoga poznavanje pokretljivosti elemenata usvojenih listom ima praktičan značaj zbog primjene folijarne ishrane. Smatra se da su elementi usvojeni listom, obzirom na mogućnost premještanja:

- Pokretljivi: dušik (N), kalij (K), natrij (Na), magnezij (Mg), fosfor (P), sumpor (S) i klor (Cl),
- Osrednje pokretljivi: željezo (Fe), mangan (Mn), cink (Zn), bakar (Cu) i molibden (Mo) i
- Teško pokretljivi: kalcij (Ca) i bor (B).

Promjena sadržaja i opskrbljenost biljaka elementima ishrane

Usvajanje hranjivih elemenata tijekom vegetacije biljaka nije ujednačeno, pa niti onda kad tlo ili neki drugi supstrat ishrane sadrži dovoljnu količinu

pristupačnih hraniva. Kod jednogodišnjih biljaka usvajanje pokazuje jedan ili više *maksimuma usvajanja* u pojedinim *etapama ontogeneze*, dok kod višegodišnjih biljaka postoje prekidi zbog mirovanja u nepovoljnom dijelu godine. Biljke koje rastu cijele godine pod povoljnim klimatskim uvjetima (tropski pojas, staklenici), ipak pokazuju razdoblja smanjenog usvajanja hraniva i usporenog rasta.

Kod jednogodišnjih biljaka, u fazi klijanja, usvajanje hranjivih tvari je od malog značaja jer sjeme sadrži potrebnu količinu pa se usvajaju samo voda i kisik iz tla. U ranim fazama porasta, nakon klijanja, usvajanje hraniva iz tla je snažno te sadržaj mineralnih elemenata brzo raste (ukupna količina), a njihova koncentracija (udio u suhoj tvari) opada zbog učinka "*razrjeđenja*" organskom tvari. U razdoblju najvećeg porasta usvajanje svih mineralnih elemenata je snažno, ali postoje izražene razlike ovisne o elementima i biljnim vrstama:

- Dušik (N): intenzitet usvajanja je najveći u vegetacijskom razdoblju (fenofaze glavnog porasta) kada je i najveća sinteza bjelančevina;
- Fosfor (P): usvajanje ima dva maksimuma, a) prvi slabije izražen u periodu izgradnje korijenskog sustava i b) drugi jači, na prijelazu iz vegetacijske u reproduktivnu (*generativnu*) fazu razvitka.
- Kalij (K): usvaja se najintenzivnije pri tvorbi šećera (ugljikohidrata) potrebnih za razvoj fotosintetskog aparata i u reproduktivskoj fazi kod nagomilavanja rezervnih tvari u skladišnim organima.

U posljednjim etapama rasta i razvitka dolazi do pada koncentracije pojedinih mineralnih elemenata, posebice u lišću, jer se elementi ishrane premještaju u skladišne organe. Pad sadržaja elemenata na kraju vegetacije događa se i zbog odbacivanja lišća, jedan dio *nekonstitucijskih elemenata* (oni koji nisu sastavni dio organske tvari) se ispere kišom (npr. K i Na), a jedan dio se putem korijena vrati u tlo.

Opskrbljenost biljnih tkiva, posebice mladih i fiziološki najaktivnijih, ovisna je o usvojenoj količini hranjivih elemenata, ali i njihovoj pokretljivosti, odnosno sposobnosti premještanja unutar biljke. *Akropetalni smjer* premještanja hraniva (od korijena prema gore) uglavnom ne predstavlja poteškoću jer su svi elementi u tom smjeru dobro pokretljivi, naravno ako je biljka snabdjevena s dovoljno vode. Nasuprot tome, od vrha izdanka

prema korijenu (*bazipetalni smjer*) većina elemenata je dobro do umjereno pokretljiva, ali ima i onih koji se prema dolje teško premještaju. Folijarna ishrana biljaka takvim elementima je vrlo otežana (Tablica 9.), npr. ishrana kalcijem i borom preko lišća.

U nedostatku hranjivih elemenata u etapi formiranju novih organa, posebno fotosintetskog aparata (lišća) i reproduktivskih organa (cvijet, klas i dr.), biljke su sposobne premještati tvari iz starijeg lišća u mlađe i aktivnije. Budući da je većina elemenata ugrađena u organsku tvar (*konstitucijski elementi*), prvo dolazi do *hidrolitičkih procesa* (razgradnje) i oslobađanja elemenata (tzv. *remobilizacija*), zatim njihove *translokacije*, zapravo *retranslokacije* i ponovne ugradnje u nove spojeve i mlađim organima, odnosno na mjestu potrebe. Takva pojava naziva se jednim imenom *reutilizacija elemenata*.

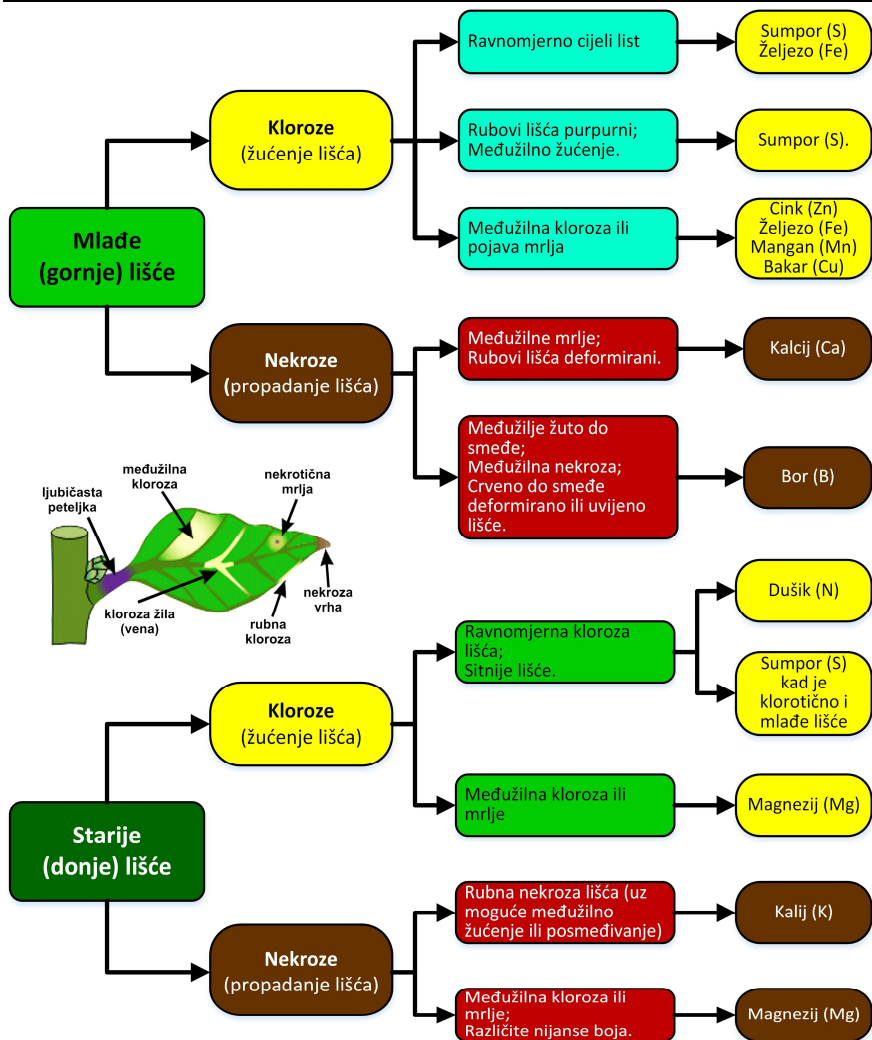
Tablica 9. Pokretljivost mineralnih elemenata u floemu (bazipetalno)

Pokretljivi	Srednje pokretljivi	Nepokretni
rubidij	mangan	kalcij
natrij	cink	stroncij
magnezij	bakar	barij
fosfor	molibden	bor
sumpor	željezo	
klor		

S obzirom na sposobnost *reutilizacije*, mineralni elementi se dijele u dvije grupe:

- Pokretljivi elementi: dušik (N), fosfor (P), kalij (K), magnezij (Mg), klor (Cl), mangan (Mn) i
- Slabo pokretljivi elementi: kalcij (Ca), sumpor (S), željezo (Fe), bakar (Cu), cink (Zn), bor (B) i molibden (Mo).

Sposobnost translokacije elemenata često ovisi i o biljnoj vrsti, a odvija se *ksilemom* (*akropetalno* - prema gore; korijenom usvojena hraniva i voda) i *floemom* (*bazipetalno* - prema dolje; produkti fotosinteze i metabolizma). Npr., mangan je pokretljiv u bazipetalnom smjeru kod zobi, repe, voćaka itd., ali kod leguminoza i krumpira ubraja se u nepokretljive elemente.



Slika 13. Princip vizualne dijagnostike poremećaja ishrane bilja

Poznavanja pokretljivosti elemenata u biljkama veoma je značajno, npr., kod vidljivih simptoma nedostatka (*deficijencija*) u starijem lišću, vjerojatno je došlo do premještanja tog elementa u mlađe organe. Kod *simptoma deficita* na mlađem lišću, radi se o nedostatku slabo pokretnog elementa.

Tipični simptomi nedostatka biogenih elemenata su kloroze koje se očituju kao svijetložuto, *reverzibilno* obojenje lišća (boja lista se normalizira nakon dodatka tog elementa; tipična pojava kod N-prihrane) i nekroze kada dolazi do izumiranja dijelova ili cijelog lišća. Slika 13. ilustrira temeljne principe vizualne dijagnostike deficita i suficita pojedinih hranjivih elemenata. Međutim, pored *primarnog simptoma nedostatka* nekog elementa, naknadno se mogu pojaviti i *sekundarni simptomi nedostatka* koji jako otežavaju utvrđivanje vizualnih uzroka pojave simptoma. Stoga je vizualna dijagnostika često nesigurna pa je najsigurnije kemijskom analizom utvrditi pravi uzrok pojave simptoma. Vrlo slična je problematika vizualnog dijagnosticiranja uzroka kod pojave *više simptoma nedostatka ili suviška* elemenata ishrane, jer kod oslabljenih biljaka često dolazi i do napada bolesti što dalje komplicira vizualnu dijagnostiku "maskiranjem" primarnog uzroka pojave simptoma.

Opći simptomi nedostatka neophodnih elemenata biljne ishrane (isključujući C, O i H) su sljedeći:

- Dušik (N): Reducirani rast vrha biljke i korijena; rast uspravan i vretenast; listovi blijedo-žuto-zeleni u ranijim stadijima, a kasnije postaju žući i čak narančasti ili crveni; nedostatak je vidljiv prvo na donjim listovima, a kloroza se širi od vrha prema bazi lista.
- Fosfor (P): Reducirani rast vrha biljke i korijena; rast uspravan i vretenast; listovi plavo-zeleni u ranijim stadijima, a ponekad tamnije zelene boje nego listovi koji imaju dovoljno fosfora; u kasnijim stadijima listovi postaju grimizni ili ljubičasti, a ponekad rubovi posmeđe; prerano dolazi do opadanja listova počevši od starijih.
- Kalij (K): Vršak lista posmeđi; pojavljuju se rubne opekotine lista; kod nekih biljnih vrsta razvijaju se smeđe ili svijetle pjege na listu koje su obično brojnije uz rubove lista; nedostatak je vidljiv prvo na donjim listovima.
- Kalcij (Ca): Simptomi se uglavnom pojavljuju na mlađim listovima uz vegetacijski vrh rasta; mlađi listovi su izobličeni s vrhom svinutim unazad i rubovima smotanim prema naličju ili licu lista; rubovi lista mogu biti nepravilni sa smeđim opekotinama ili pjegama.
- Magnezij (Mg): U mlađim stadijima razvitka na listu se pojavljuje međužilna kloroza s klorotičnim područjima koja su međusobno razdvojena zelenim staničjem; simptomi su prvo vidljivi na donjim listovima.

Sumpor (S):	Mlađi listovi su blijedo-žuto-zelene boje, slično nedostatku dušika; rast izdanka je nešto reduciran.
Cink (Zn):	Međužilna kloroza praćena je venjenjem klorotičnog područja; patuljasti rast i skraćenje internodija.
Mangan (Mn):	Svijetlozeleni do žuti listovi s izrazito zelenim žilama; u nekim slučajevima javljaju se smeđe pjege na listovima koje zatim nestaju; obično su simptomi vidljivi prvo na mlađim listovima.
Bor (B):	Snažan utjecaj na točke rasta; stabljike i listovi mogu biti znatno izobličeni; smanjena oplodnja; gornji listovi su često žućkasto-crvenkasti i mogu biti oprženi ili skovrčani.
Bakar (Cu):	Mlađi listovi poprimaju blijedozelenu boju sa slabom rubnom klorozom.
Željezo (Fe):	Međužilna kloroza mlađih listova.
Molibden (Mo):	Listovi postaju klorotični sa smotanim ili kupasto izbočenim rubovima; nedostatak molibdena često u biljkama rezultira i nedostatkom dušika.
Klor (Cl):	Nedostatak u uvjetima poljskog uzgoja nije uočen.

Napomena: Simptomi nedostatka mogu se kod pojedinih biljnih vrsta znatno razlikovati od navedenih. Stoga su navedeni simptomi opći i ukazuju na osnovne, odnosno najčešće simptome nedostatka.

Specifičnosti usjeva i njihovih kultivara

Biljna raznolikost vrsta i kultivara potječe od njihovih *genetskih* (nasljednih) razlika, a zapaža se u veličini i obliku sjemena, izgledu (npr. grananju, visinu, boji cvijeća, vremenu sazrijevanja i plododonošenja i dr.), okusu itd. Varijacije mogu biti manje očite, ali veoma važne, kao što je reakcija na toplinu, hladnoću i sušu, odnosno tolerantnost na određene bolesti i štetnike. Raznolikost usjeva može se pojaviti kao reakcija na uvjete uzgoja, npr. usjev uzgajan na neplodnom tlu vjerojatno će biti niži od onog koji raste na plodnom tlu.

Nasljedna (*hereditarna*) svojstva kultivara koja se selekcijom prenose s roditelja na potomke određuju potencijal rodosti nekog kultivara, ali ona ne moraju biti ispoljena potpuno, ovisno o agroekološkim uvjetima uzgoja (Slika 10.). Značaj pojedinih *unutarnjih* (biljnih) i *vanjskih čimbenika* (agroekoloških) mijenja se tijekom vegetacije, ovisno o vrsti, odnosno

kultivaru (sorti ili hibridu) i načinu uzgoja usjeva. Dakle, razlike u visini priroda rezultat su djelovanja (*ekspresije*) genotipa kroz *morfološka* ili *fenotipska, anatomska* i *biokemijsko-fiziološka svojstva* u interakciji s agroekološkim uvjetima (*kondicije*). Pojedini usjevi (kao i njihovi kultivari) imaju različite zahtjeve za ukupnom količinom hraniva, posebno dušika potrebnog za ostvarenje najviše mogućeg priroda, uz promjenjivu reakciju ovisno o vremenskim i zemljišnim uvjetima što se označava kao *sortna ili genetska specifičnost mineralne ishrane*. Ona ukazuje na različitu potrebnu količinu hranjivih tvari obzirom na dinamiku i učinkovitost usvajanja, kao i učinkovitost već usvojenih hraniva u fiziološkim procesima, što se konačno jasno manifestira na rast, razvitak i tvorbu prinosa.

Tolerantnost različitih kultivara na bolesti ili štetnike može biti presudna za postizanje očekivanog prinosa pa svaki poljoprivredni proizvođač mora tom svojstvu pokloniti dužnu pozornost, jer šteta može biti od male sve do potpune. Povijesno poznati primjeri su glad u Irskoj 1845.-1847. (umrlo je gotovo 2.000.000 ljudi od gladi) za koju je bila odgovorna plamenjača krumpira (*Phytophthora infestans*). *Filoksera* ili trsov ušenac (*Viteus vitifoliae, Phylloxera vastatrix*) je prenesena iz Amerike u Francusku oko 1860. godine i brzo se proširila Europom. Ogromne površine pod vinovom lozom su uništene (što je izazvalo masovna iseljavanja u prekomorske zemlje). 1970. kukuruz u SAD je zbog plamenjače izazvao gubitak od preko jedne milijarde dolara itd.

Na žalost poljoprivrednih proizvođača, selekcionari i proizvođači sjemena vrlo ih rijetko, ili nepotpuno informiraju o nekim važnim svojstvima kultivara, npr. potrebom za hraniva, njihovoj osjetljivosti na vanjske uvjete ili pak tolerantnosti na bolesti, štetnike i važne agroekološke uvjete (npr. optimalni pH, naglašena ili smanjena potreba glavnih elemenata ishrane, potreba za vodom i dr.). Stoga je neprocjenjivo znanje, ali i iskustvo svakog poljoprivrednog proizvođača koje može steći opreznim uvođenjem novih kultivara u proizvodnju i njihovo testiranje na učinkovitost gnojidbe kao i bolesti. Najjednostavniji test učinka gnojidbe je da se na jednom malom djelu svake parcele (dovoljan je 1 ar; 100 m²) izostavi i/ili snizi doza NPK. Sličan pokus se može provesti u izboru kultivara, navodnjavanju, obradi, kalcizaciji, zaštiti bilja itd.

Čimbenici okoliša i zakonitosti njihovog djelovanja

Životnu sredinu čini kompleks biotskih i abiotskih čimbenika koji djeluju na biljke ili životinje koje žive na tom mjestu/staništu. Te čimbenike označavamo kao životne ili ekološke faktore, odnosno faktore okoliša koji imaju različit značaj za pojedine biljne vrste i njihove kultivare. Intenzitet, ali i kakvoća okolišnih čimbenika za pojedinu biljnu vrstu predstavlja neophodne životne uvjete, dok za drugu može imati tek manji značaj. Mjesta koja se odlikuju posebnim kompleksom ekoloških faktora nazivaju se biotopi ili životna staništa i to su osnovne topografske jedinice u ekologiji koje se jasno razlikuju po vanjskom izgledu (*fiziognomija*). Primjerice teško je zamijeniti jedan šumski s nekim vodenim biotopom. *Biocenoze* ili zajednice živih organizama formiraju cjelinu višeg reda, tzv. ekosustav ili biogeocenozu koja je temeljna jedinica ekologije i predstavlja izuzetno složen i dinamičan sustav u kome se promjena bilo koje komponente (žive ili nežive) odražava na čitav sustav.

Karakter prirodnih *biocenoza* može biti vrlo različit, uz složene unutarnje odnose, koji su posljedica dugotrajnog procesa *konkurencije* i *uzajamne adaptacije*. Za razliku od prirodnih biljnih zajednica, agrofitocenoze (usjev, nasad) čine biljke iste vrste i u njima vladaju specifični, agrotehnikom nadzirani, odnosno prilagođeni uvjeti, koje označavamo kao *antropogeno djelovanje*.

Energija je okosnica koncepta ekosustava jer su im resursi ograničeni i mogu održati samo populaciju organizama određene veličine (tzv. *nosivost ekosustava*), odnosno njihov kapacitet ograničava veličinu i brojnost populacije pojedinih živih bića. To su tzv. ograničavajući čimbenici (npr. prostor, svjetlost, hranjive tvari itd.) koji kontroliraju *nosivost ekosustava*, a time i veličinu njegove populacije.

Vanjsku sredinu reprezentira kompleks ekoloških faktora čije je temeljno svojstvo promjenjivost po vremenu (dan - noć, jutro, podne, godišnja doba itd.) i prostoru (geografska širina i duljina, nadmorska visina, udaljenost kopna od mora i dr.). Živi organizmi reaguju na promjene vanjskih faktora ekološkim prilagodbama (adaptacije) što doprinosi vrlo izraženoj dinamici unutar ekološkog sustava. Adaptacije pojedinih vrsta na neku ekološku

akciju mogu biti vrlo različite, a koliko će živi organizmi biti prilagođeni biotopu ovisi o njihovoj ekološkoj valenci ili amplitudi variranja nekog čimbenika unutar kojih granica je moguć život pojedine vrste. Organizmi široke ekološke valence nazivaju se eurivalentni i mogu opstati u velikom broju različitih sredina, dok su stenovalentni organizmi jako specijalizirani.

Svaka ekološka valenca ima tri kardinalne točke: ekološki optimum, maksimum i minimum (posljednja dva se jednim imenom označavaju kao pesimum) na koje organizmi moraju biti prilagođeni da bi opstali. Smrt ne nastupa odmah nakon izlaganja živih organizama pesimumu (ovisno o vrsti i njenoj adaptiranosti), već je potrebno neko vrijeme, odnosno tek nakon prekoračenja tzv. ultraminimuma ili ultramaksimuma.

Okolišni čimbenici

Okolišni čimbenici (abiotški) zapravo su vanjske sile (živog ili neživog podrijetla) koji utječu na život organizama. U neživi okoliš se svrstavaju utjecaji *atmosferae*, *litosfere* i *hidrosfere*, dok se biotski okoliš označava kao biosfera. Okolišni čimbenici mogu biti tvari (tlo, stijene, voda, zrak), uvjeti (svjetlo, temperatura, vlaga, oborine), sile (vjetar, gravitacija) i organizmi (biljke, životinje, mikroorganizmi, ljudi).

Tablica 10. Pregled osnovnih čimbenika okoliša

<i>Čimbenici okoliša</i>	Detalji	Primjeri
<i>Svjetlost</i>	<ul style="list-style-type: none"> • intenzitet • kakvoća (spektralni sastav) • duljina osvjetljenosti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ duljina dana ▪ oblačnost, zasjenjenost ▪ IC (crvena/tamno crvena) ▪ UV (ultravioletna)
<i>Voda u tlu</i>	<ul style="list-style-type: none"> • količina • kakvoća 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ potencijal vode ▪ oblici vode u tlu ▪ anoksija ▪ zaslanjenost
<i>Oborine</i>	<ul style="list-style-type: none"> • ukupne oborine • sezonska distribucija • intenzitet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ visoke/niske ▪ zimske ▪ nevrijeme
<i>Atmosferska suša</i>	<ul style="list-style-type: none"> • suh zrak (interakcija temperature i zraka) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ niska relativna vlaga zraka ▪ visoka evapotranspiracija
<i>Temperatura</i>	<ul style="list-style-type: none"> • akumulacija aktivne temperature • ekstremi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ organogeneza ▪ oštećenja mrazom ili visokom temperaturom

<i>Tlo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • struktura (fizikalna svojstva) • organska tvar • hraniva • pH • zaslanjenost • aeracija 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mehanički sastav ▪ tekstura, struktura ▪ retencija vode ▪ raspoloživost hraniva ▪ oksidoredukcija
<i>Biljna hraniva</i>	<ul style="list-style-type: none"> • makroelementi (N, P, K, S, Mg, Ca) • mikroelementi (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Cl, Ni) • korisni elementi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ proteini (enzimi) ▪ transport energije ▪ ionski transport i ravnoteža ▪ prenositelji iona ▪ struktura klorofila
<i>Vjetar</i>	<ul style="list-style-type: none"> • brzina vjetra • turbulencija • vjetrozaštita 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ polijeganje ▪ abrazija ▪ polinacija
<i>Biotški efekti</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kompeticija • životinje • patogeni • antropogeni učinak 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ odnosi između biljaka ▪ ispaša ▪ bolesti
<i>Ostalo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • vatra • uznemiravanje • snježni prekrivač • onečišćenja 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zemljotres ▪ kiselé kiše

Općenito, okolišni abiotski čimbenici (Tablica 10.) su klasificirani kao:

1. Klimatski čimbenici: svjetlost, temperatura, vlažnost i zrak
2. Edafski čimbenici: fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, matične stijene i matičnog supstrata tla
3. Orografski ili fiziografski čimbenici: svojstva reljefa (nadmorska visina, nagib terena, ekspozicija, razvedenost reljefa i dr.).

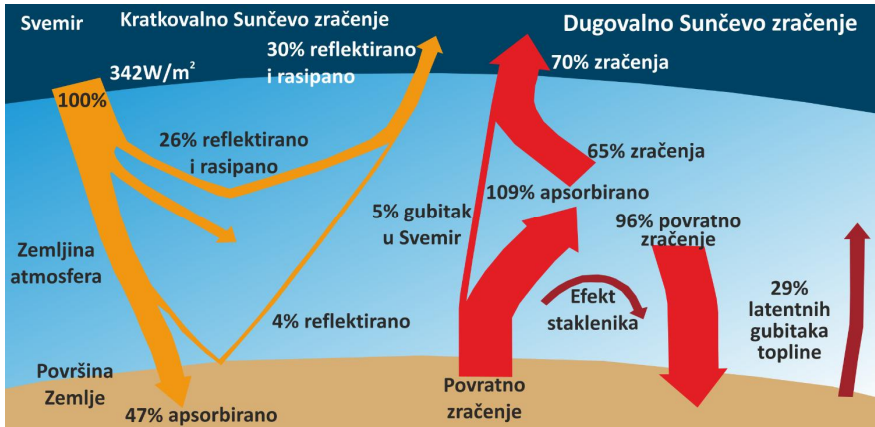
Klimatski čimbenici

Klima je produkt vremena, zapravo vremenski prosjek svakodnevnog stanja svjetla, temperature, oborina, vlage, vjetra i tlaka zraka na nekom staništu ili širem području.

Sunce

Bez Sunca i njegovog zračenja život na Zemlji ne bi postojao. Ono omogućuje potrebnu toplinu, održava vodu u tekućem stanju, omogućuje fotosintezu, tvorbu organskih tvari itd. Količina Sunčeve radijacije na vanjskoj granici atmosfere (na visini od 83 km), označava se kao *solarna konstanta* ($\sim 1,366 \text{ kW m}^{-2}$). Zemlja, u prosjeku, reflektira (*albedo*) 50 - 60 % zračenja (na polarnim područjima i više, a u ekvatorijalnom pojasu tek 20 - 30 %). *Ultraljubičasto zračenje* (UV) se gotovo posve apsorbira u gornjim slojevima atmosfere koja raspršuje kraće valne duljine i zaslužna je

za plavu boju neba (Slika 14.). Biljke apsorbiraju veći dio *vidljivog spektra* (400 - 700 nm), kao i dio ultraljubičastog zračenja, dok zeleni pigment *klorofil* reflektira zeleno svjetlo, što je i razlog zelene boje lišća. Nagib Zemljine osi i promjena udaljenosti Zemlje od Sunca razlog su sezonskih promjena u količini solarne energije koja dopiye na površinu Zemlje.



Slika 14. Sunčevo zračenje i energetska raspoloživost Zemlje

Zračenje Sunca do Zemlje „putuje“ u obliku energetske paketa (*fotoni*), čija je energija obrnuto proporcionalna valnoj duljini. Dakle, kraće valne duljine sadrže više energije, pa su *gamma* (γ), *rendgenske* (X) i *UV_C* zrake (<280 nm) opasne i vrlo štetne, ali na sreću zbog njihove apsorpcije u atmosferi vrlo malo ih dopiye do površine Zemlje. UV zračenje se dijeli na *UV_A* (320 - 400 nm), *UV_B* (280 - 320 nm) i već spomenuto najštetnije *UV_C* (100 - 280 nm). Premda *vidljivo zračenje*, koje koriste biljke za potrebe fotosinteze (*fotosintetski aktivna radijacija ili FAR*; 400 - 700 nm), sadrži manju specifičnu energiju, ono donosi na Zemlju najviše energije zbog velikog broja fotona (najviše ih je na ~500 nm; plavozeleni dio spektra). Budući da se duljina puta zračenja povećava s geografskom širinom, količina zračenja opada prema polovima.

Voda

Voda je, odmah iza Sunca, najvažniji čimbenik okoliša koji omogućava postojanje života na Zemlji, a manjak slatke vode jedna je od najvećih briga

čovječanstva. Oceani pokrivaju 71 % površine Zemlje i sadrže 97 % cjelokupne vode, dok slatkovodni resursi čine tek 3 % ukupne vode našeg planeta. Uz to, 75 % slatke vode čine ledenjaci i polarni led što ostavlja manje od 1 % dostupne slatke vode u tekućem obliku. Obnovljivi izvori pitke vode na Zemlji procjenjuju se na 7×10^6 km³.

Glavni procesi hidrološkog ciklusa su isparavanje (*evaporacija*), *evapotranspiracija* (zajednički gubitak vode evaporacijom i transpiracijom), oborine, upijanje (*infiltracija*) i površinsko otjecanje (*runoff*). Ako ukupnu količinu vode na Zemlji uzmemo kao 100 %, onda na isparavanje s površine oceana i mora otpada 84 % (od čega se 77 % vrati kišom u oceane, ostatak od 16 % čine kopnene oborine, a preostalih 7 % čini atmosfersku vlagu). Veoma je značajno da je tek oko 0,005 % ukupne vode na Zemlji neprestano u cirkulaciji.

Vjetar

Vjetar je važan okolišni čimbenik koji snažno utječe na intenzitet gubitka vode iz tla i biljaka (evaporacijom i transpiracijom), hladi tlo i vegetaciju, raznosi sjemenke i oprašuje biljke (*polinacija*). Brzina vjetra varira u vremenu i na različitim zemljopisnim pozicijama, a osim nadmorske visine i reljefa, vegetacija značajno utječe na brzinu vjetra. Ugrijane zračne mase, posebice u ekvatorijalnom pojasu podižu se do *stratosfere* i kreću prema polovima gdje se hlade, postaju teže i spuštaju se prema površini Zemlje. Sezonski vjetrovi su također važni, jer tijekom ranog ljeta suhi pušu od kontinenta prema oceanima, a zimi nose vlagu s oceana na kopno.

Edafski čimbenici

Tlo je rastresit, relativno veoma tanak sloj smješten između Zemljine kore (*litosfera*) i *atmosfere*. Ono je biljno stanište i supstrat biljne ishrane, a čine ga kruta, tekuća, plinovita i živa faza. Nastanak tla je veoma spor i složen proces na koji utječe niz *pedogenetskih čimbenika* kao što su matični supstrat, živi organizmi, klima, reljef i vrijeme). Proces formiranja tla započinje mehaničkim, kemijskim ili biološkim trošenjem stijena, a zatim djelovanjem vegetacije (*flora*), mikroorganizama i životinja (*fauna*)

postupno nastaje tlo. Vertikalni presjek tla naziva se *pedološki profil*, a čine ga slojevi ili *horizonti* različitih fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava.

Osnovni ili glavni horizonti tla obilježavaju se slovnim oznakama: O, (A), A, E, B, (B), C, R, G, g, T i P:

- O horizont se sastoji od svježe ili djelomično raspadnute organske tvari koja nije pomiješana s mineralnom fazom;
- (A) horizont je slabo razvijeni i u njemu se razvija glavovina korijena i počinju formirati strukturni agregati;
- A horizont je površinski sloj mineralnog tla s visokim sadržajem organske tvari;
- E horizont je zona najvećeg ispiranja (*eluvijacija*) istaloženih (*suspendiranih*) i otopljenih tvari što jako mijenja njegova fizikalno-kemijska svojstva i strukturu;
- B horizont je zona ispiranja (*iluvijacija*), odnosno zona premještene gline, organske tvari, željeza, aluminijske iz E horizonta;
- (B) je horizont tvorbe gline (*argilosinteza*);
- C horizont predstavlja nepromijenjeni početni materijal (*matični supstrat*), a naslanja se na
- R horizont (čvrsta stijena);
- G je glejni horizont koji pokazuje znakove *redukcije* i *sekundarne oksidacije* u trajnim ili povremenim anaerobnim uvjetima (suvišak vode i manjak kisika);
- g je glejni horizont koji nastaje pod utjecajem stagnirajućih površinskih voda;
- T je tresetni horizont u kojem se slabo razgrađena organska tvar nagomilava u anaerobnim uvjetima i
- P horizont je *antropogeni horizont* nastao djelovanjem čovjeka (obradom i gnojidbom).

Svaki tip tla odlikuje se različitim brojem, debljinom i rasporedom pojedinih pedoloških horizonata čija su fizikalno-kemijska svojstva veoma različita. Stoga, za točnu determinaciju tipa tla nije dovoljna samo vizualna determinacija (izgled, boja, konzistencija, prisustvo konkrecija i sl.), već je neophodna i fizikalno-kemijska analiza.

Fiziografski (orografski) čimbenici

Geografska širina, nadmorska visina, nagib Zemljine osi, revolucija Zemlje (kretanje oko Sunca), položaj regije unutar kontinentalnih kopnenih masa, blizina većih vodenih površina i zemljopisne značajke, kao što su planine, doline, prevoji i slično, imaju znatan utjecaj na klimu i vegetaciju nekog užeg (*lokalitet*) ili šireg područja (*regija*). Planine utječu na dva načina: a) mijenjaju količinu i raspored oborina te b) čine klimatsku granicu između pojedinih područja. Naime, nailaskom na planine, tople zračne mase se uzdižu i hlade što uzrokuje kondenzaciju vodene pare, odnosno oborine u obliku kiše ili snijega. Planinska područja pokazuju ogromne razlike u klimi jer temperatura pada za $\sim 1,5 - 3^{\circ}\text{C}$ na svakih 300 m porastom nadmorske visine (u RH za $\sim 2,0^{\circ}\text{C}$ na 300 m). Toplina, vlaga, strujanje zraka i količina svjetla variraju od lokaliteta do lokaliteta, brda, doline, površine zemlje i unutar vegetacije (ovisno o visini biljaka, sklopu i gustoći usjeva, indeksu lisnatosti i položaju lišća). Južne padine (*prisoj*) na sjevernoj hemisferi dobivaju više Sunčeve energije u odnosu na sjeverne obronke (*osoj*), što jako utječe na raspoloživost topline i vlage te je stopa isparavanja često dvostruko veća na južnim nego na sjevernim obroncima. Južni obronci su najčešće naseljeni različitom prirodnom vegetacijom što dodatno utječe i na povoljnija fizikalno-kemijska svojstva tla i prirodu biljnog pokrova.

Biotski čimbenici u usjevima

Na rast i razvitak *agrofitocenoza* djeluju, jednako kao i na prirodne *biocenoze*, svi ekološki faktori, premda je njihov značaj unutar „uzgajane“ biljne zajednice veoma specifičan i različit (Tablica 11.). Naime, *agrofitocenoza* sačinjavaju jedinke iste vrste, jednakog izgleda (*morfološke građe*), starosti, zahtjeva i potreba prema abiotskim čimbenicima, najčešće istog kapaciteta produkcije te umjetnom selekcijom izdvojene i prilagođene biljke zajedničkom životu u istovrsnom okruženju i posebno prilagođenom i nadziranom okolišu. Biljke unutar takve zajednice ispoljavaju specifičnu konkurenciju na čimbenike okoliša (*kompeticija* prema svjetlu, vodi, hranivima i dr.) jer su njegovane (obrada tla, gnojidba, sklop, zaštita od bolesti, štetnika i herbivora). Stoga je kod usjeva

(*agrofitocenoza*) najvažnija kakva je produkcija organske tvari, odnosno merkantilni prinos cijelog usjeva, a ne pojedinih biljaka.

Tablica 11. Usporedba prirodnog ekosustava i agroekosustava

Pokazatelj	Prirodni ekosustav	Održivi agroekosustav	Konvencionalni agroekosustav
Proizvodnja	niska	niska - srednja	visoka
Produktivnost	srednja	srednja - visoka	niska - srednja
Biološka različitost	visoka	srednja	niska
Elastičnost	visoka	srednja	niska
Stabilnost	srednja	niska - srednja	visoka
Prilagodljivost	visoka	srednja	niska
Ljudska interakcija	niska	srednja	visoka
Značaj ulaganja	niska	srednja	visoka
Autonomija	visoka	visoka	niska
Održivost	visoka	visoka	niska

Ponekad je teško utvrditi koji čimbenici i na koji način utječe na pogodnost pojedinih mikro lokacija zemljišta. Npr., za vinovu lozu često se ističe objedinjeni utjecaj lokacije (franc. *terroir*) koji se oslanja na tradiciju u vinogradarstvu i proizvodnji vina. Premda će uvijek postojati dvojbe oko značaja *terroira* na proizvodnju kvalitetnih vina, mudar vinogradar svakako razumije interakciju terena i kakvoće grožđa, odnosno vina.

Općenito, biotski čimbenici na rast biljaka djeluju dvojako. S jedne strane oni djeluje na rast, odnosno biološki potencijal vrste (fotosinteza, usvajanje hraniva, tvorba organske tvari i dr.), a suprotni učinak imaju različita ograničenja biološkog karaktera (konkurencija drugih živih organizama, disanje, stres i dr.), ali i abiotskog (npr. ograničeni resursi).

Rast i razvitak biljaka

Rast biljaka manifestira se kvantitativnim promjenama koje rezultiraju povećanjem ukupne biomase, ponekad samo dimenzija biljaka, odnosno povećanjem broja organa tvorbom novih stanica, tkiva i organa, a temelji se na kombinaciji diobe stanica (*mitoza*), njihovog izduživanja (*ekspanzija*) i diferencijacija stanica (specijalizacija funkcije i pozicioniranje stanica u

pojedina tkiva). Posljedica diferencijacije stanica je *morfogeneza*, odnosno promjena izgleda biljke.

Razvitak biljaka je proces u kojem se događaju kvalitativne promjene pri čemu biljka i njeni organi mijenjaju svoj oblik i strukturu, postaju složeniji, a krajnji je rezultat formiranje i razvitak organa za razmnožavanje (*generativni organi*). Stoga se pod razvitkom biljaka može podrazumijevati i *generativni rast* koji obuhvaća stvaranje začetaka generativnih organa (*primordije*), formiranje cvjetova, tj. muških i ženskih spolnih organa, oplodnju i razvitak ploda, odnosno obuhvaća *životni ciklus biljke od sjemena do sjemena*

Rast biljaka najčešće prate i promjene u metabolizmu, što znači da se uz umnožavanje broja stanica, njihov rast i diferenciranje, mijenja i karakter metabolizma, odnosno brzina i smjer pojedinih biokemijsko-fizioloških procesa.

Dakle, rast i razvitak biljaka su dva različita procesa koji se pak odvijaju istovremeno, najčešće različitim intenzitetom, npr.:

- Na dobre agroekološke uvjete u proljeće jari ječam odgovara brzim rastom i brzim razvitkom;
- Sjetva ozimih usjeva u proljeće rezultira brzim rastom i sporim razvitkom;
- Kasnija jesenska sjetva ozimih usjeva uvjetuje brzi razvitak uz spori rast;
- Spori rast i spori razvitak imaju jare biljke u lošim agroekološkim proljetnim uvjetima itd.

Na rast i razvitak biljaka, posebice *agrofitecenoza* (usjevi i druge uzgajane biljne vrste) snažno utječe i tzv. *intraspecifična kompeticija* kao posljedica međusobnog natjecanja iste biljne vrste u korištenju zajedničkih resursa, odnosno istog prostora i drugih ekoloških čimbenika koji su u usjevu veoma ograničeni. Biljke se najčešće „natječu“ (*kompeticija*) za , svjetlost, CO₂, vodu, kisik, mineralne tvari i prostor, uključujući i prostor za korijen.

Kompeticija u prirodnim ekosustavima (*interspecijska*; između različitih vrsta) bitno je različita u odnosu na usjeve (*intraspecijska*; između iste vrste) i nema uvijek negativne posljedice jer utječe na formiranje i regulaciju veličine populacije pojedinih vrsta i njihov raspored u prostoru.

Također, izbjegavajući kompeticiju, biljke u prirodnim ekosustavima se prilagođuju drugačijim životnim uvjetima, npr. adaptiraju na klimatske promjene, što uzrokuje *zonaciju*, odnosno na istoj ograničenoj površini pronalaze životni prostor (*ekološka niša*), npr. na različitoj visini (*stratifikacija*). Ekološka niša označava ne samo fizički životni prostor već i ulogu neke vrste u ekosustavu.

Pokazatelji rasta

Rast je neprekidni porast živog organizma, broja i veličine stanica, količine protoplazme i broja strukturnih elemenata stanice. Promjene mase, kao i dimenzija, mogu se lako utvrditi mjerenjem svježe ili suhe tvari. Dakako, svježa tvar je promjenjiva vrijednost s obzirom na nestalan sadržaj vode u biljci, pa tako lišće najčešće u podnevnim satima, uslijed gubitka vode transpiracijom, ima manje svježe tvari nego u jutarnjim satima. Zbog toga se kao pokazatelj rasta češće koristi mjera povećanja suhe tvari cijele biljke ili određenog njenog dijela/organa. Uzorak lista uzet u poslijepodnevnim satima vjerojatno će imati više suhe tvari u odnosu na uzorak iz jutarnjih sati što je posljedica usvajanja mineralnih tvari iz tla i fotosintetske akumulacije organske tvari tijekom prijepodneva, odnosno rasta.

Krivulja rasta je zbog neravnomjernog rasta tipično *sigmoidna* (*logistička*; *S-krivulja*) pa se razlikuju intervali intenzivnijeg i usporenog rasta, kao i period potpunog prekida rasta (*mirovanje* ili *dormancija*). Kod jednogodišnjih biljaka (*monokarpne vrste*) rast najčešće prestaje sazrijevanjem sjemena ili ploda, ali i kod višegodišnjih biljaka (*polikarpne vrste*) rast se zaustavlja na određeno vrijeme nakon završetka jednog vegetacijskog ciklusa. Brzina i periodizam rasta određuju jedan životni ciklus (tzv. *ontogenetski razvitak biljaka*) koji izravno ovisi o genotipu, ali i agroekološkim uvjetima.

Period mirovanja (dormancija) je privremeni prestanak rasta uvjetovan promjenama metabolizma i stanja protoplazme što dovodi do smanjenja intenziteta fizioloških procesa na minimum, a nastupa uslijed agroekoloških uvjeta atipičnih za rast biljnih organa ili cijele biljke, kao što je ljetni sušni periodi, niske ili visoke temperature, nedostatak vode i dr. U umjerenom klimatu, kakav je naš, sniženje temperature i smanjeni

intenzitet svjetlosti također dovode do mirovanja biljaka koje veoma smanjuju aktivnost pojedinih organa, a listovi žute i otpadaju.

Tijekom perioda mirovanja rast biljaka ne prestaje potpuno, ali je vrlo usporen. Naime, za vrijeme mirovanja događaju se kvalitativne promjene od čega ovisi budući rast i razvitak biljke. Period mirovanja je biološko svojstvo biljke koje je stečeno tijekom povijesnog, evolucijskog razvitka vrste (*filogeneza*). Dakle, svi živi organizmi, uključujući životinje i ljude, ubrzano prolaze u embrionalnoj fazi života (*ontogeneza*) svoj povijesni razvitak (*filogeneza*).

Razlog prelaska biljaka u period mirovanja u našem klimatu najčešće je skraćenje dana, pa kako kratak dan prethodi niskim temperaturama, biljke ranije ulaze u period mirovanja i bolje se pripremaju na zimske uvjete te manje izmrzavaju. Za prekid, ili za skraćenje perioda mirovanja, odgovorni su i mogu se rabiti *biljni hormoni* ili njima slične kemikalije (npr. *etilen*, *kloroform* i dr.), zatim O₂ i CO₂, toplina, mehaničke povrede sjemena (*skarifikacija*) ili utjecaj niske temperature (*stratifikacija*) i drugo.

Biljke umjerenog klimata, ovisno o uvjetima tijekom ljeta i jeseni, različito reagiraju „dubinom“ i trajanjem perioda mirovanja. Npr., vlažnija jesen i naglašena N-gnojdba odgađaju period mirovanja, a sušna i topla ljeta te naglašena PK-gnojiva ubrzavaju nastup mirovanja.

Mirovanja drvenastih vrsta karakterizira privremeni prekid rasta uz vrlo usporen ili pak potpuno zaustavljen metabolizam. Do početka listopada, u pupovima su formirani svi cvjetni dijelovi, a vegetativni pupoljci sadrže lišće. Tijekom zime stabla ne rastu, ali su tkiva živa i stanice se polako diferenciraju. Pojavom povoljnih uvjeta za rast u proljeće, neki pupoljci će se razviti u izdanke ili cvijeće, a drugi mogu ostati uspavani. Pupoljci voćaka proći će kroz nekoliko faza mirovanja, a biljna fiziologija trenutačno opisuje mirovanje u četiri faze.

Morfološke promjene biljaka tijekom rasta i razvitka označavaju se *fenološkim fazama* (*fenofaze*) koje se za strna žita: 1. klijanje, 2. nicanje, 3. pojava trećeg lista, 4. busanje, 5. vlatanje, 6. klasanje, 7. cvjetanje, 8. mliječna zrioba, 9. voštana zrioba i 10. puna zrioba. Fenofaze jednogodišnjih zeljastih biljaka (suncokret, konoplja i dr.) su: 1. klijanje, 2.

nicanje, 3. pojava prvog para listova, 4. pojava stabljike, 5. grananje stabljike, 6. cvjetanje, 7. tvorba sjemena i plodova (zelena zrioba) i 8. puna zrioba.

Fenofaze su morfološka manifestacija niza promjena metabolizma koje uzrokuju razvitak biljaka, odnosno sukcesiju etapa razvitka. Premda se fenofaze događaju sukcesivno, jedna za drugom, to se nikad ne događa stihijski, već ovisno o nizu biljnih i agroekoloških čimbenika. Stoga je promatranje rasta i razvitka biljaka veoma važno radi prepoznavanja mogućih problema, ali i ispravnog prilagođavanja kalendara agrotehničkih zahvata stanju i kondiciji usjeva.

Biljni stres i njegov utjecaj na rast, razvitak i prinos

Stres je svako stanje biološkog sustava koje odstupa od optimuma, premda se često definira i kao djelovanje bilo kojeg abiotskog i/ili biotskog čimbenika koji nepovoljno utječe na rast i razvitak biljaka te tvorbu prinosa. Biljke se mogu, više ili manje, prilagoditi (*aklimatizirati*) na stres. *Aklimatizacija* je zapravo jačanje otpornosti na stres nakon kraćeg izlaganja nepovoljnom utjecaju, a *adaptacija* (*prilagodba*) se odnosi na genetski stupanj otpornosti prema stres i razvija se tijekom više generacija.

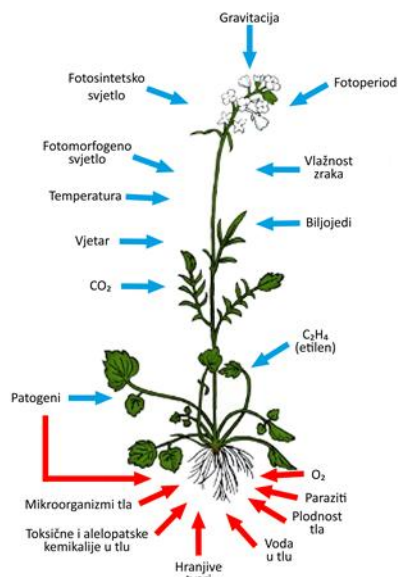
Biljke su izložene u prirodnom okruženju mnogim oblicima stresa čiji intenzitet mogu donekle tolerirati. Kad je *prag stresa* prekoračen, biljke će neko vrijeme to izdržati, a ako je stres dovoljno žestok i dugotrajan, biljka može uginuti. Također, određene situacije mogu izazvati stres kod jedne vrste ili kultivara, a da je to istovremeno optimalno stanje za druge biljke. *Stoga je najpraktičnije definirati biljni stres kao nepovoljne uvjete, odnosno negativnu silu koja koči normalno funkcioniranje biljke.*

Trenutni konceptualni modeli biljnog odgovora na ograničenja okoliša su nepotpuni, ali je ipak jasno da postoji značajna genetska varijacija u biljnim odgovorima na pojedine oblike stresa, primjerice na mineralni stres (poremećaj ishrane). Također, kemijski čimbenici su općenito značajniji u pojavi stresa (npr., nedostatak elemenata ishrane, kiselost ili lužnatost tla,

toksičnost elemenata, slanost itd.), od fizikalnih ograničenja (dubina soluma, retencija tla za vodu itd.).

Budući da su biljke vezane za mjesto na kojem rastu (*sesilni organizmi*), one imaju ograničenu mogućnost izbjegavanja nepovoljnih uvjeta u svom okruženju kao što ekstremne temperature, nestašica vode, nedostatak ili suvišak svjetla, manjak ili suvišak hranjivih tvari, ozljeđivanje (vjetar, grad, biljojedi) ili napad patogena (bakterije, gljivice, virusi, viroidi). Stoga su biljke razvile sofisticirane i vrlo različite oblike molekularno-kemijske strategije (promjene u rastu i izgledu - *morfološke* i *anatomske promjene*, zatim pripreme za nepovoljne uvjete - *proces kaljenja* i dr.) kako bi izbjegle abiotske (vanjske) ili biotske (unutarnje) stresove.

Priprema biljaka na stres podsjeća na sposobnost pamćenja, ali taj mehanizam memoriranja, za razliku od životinja i ljudi, ne ovisi o živčanom sustavu, pa se najčešće koristi izraz „*otisak stresa*“. Taj fenomen vjerojatno ima uzrok u promjeni koncentracije ključnih signalnih tvari, najčešće proteina, uključujući i čimbenike *genske transkripcije*. Brojna suvremena istraživanja razjasnila su mehanizam prilagodbe biljaka pomoću *epigenetske kontrole stresa* koja uključuje *regulaciju gena* i *fenotipske promjene* kao odgovor biljaka na stres. Stres se najčešće povezuje s nepovoljnim



Slika 15. Čimbenici odgovorni za reakciju biljaka na stres

djelovanjem vanjskih nepovoljnih uvjeta (abiotskih) odnosno *preživljavanjem (tolerancijom na stres)*, premda, zbog tolerantnosti biljaka na određene nepovoljne uvjete često ne mora doći do vidljive pojave stresa. *Tolerancija na stres označava sposobnost biljaka da se prilagode*

nepovoljnim uvjetima tako da moguća šteta bude mala ili čak potpuno izbjegnuta.

Djelovanje nepovoljnih vanjskih čimbenika može se, gledano s gospodarskog aspekta uzgoja biljaka, dogoditi u nekoliko minuta (npr. nepovoljna temperatura zraka), nekoliko dana (npr. nedostatak vode u tlu), a nedostatak hranjivih tvari može stresno djelovati na biljke i više mjeseci. Dakle, *efekt stresa* može biti često skriven (*latentan*) pa biljke najčešće brže stare (*senescencija*), zapravo brže sazrijevaju uz redovito sniženi prinos. Ako je djelovanje stresa slabo izraženo, biljke se mogu prilagoditi (*aklimatizirati*) na stres fiziološkim promjenama na razini stanice i na razini cijelog organizma (tzv. *fiziološka adaptacija*).

Stresni faktori (Slika 15.) najčešće djeluju povezano i kumulativno što se označava *stresnim sindromom*. Primjerice, nedostatak vode često je povezan s visokom temperaturom, dok nedostatak vode u tlu može izazvati *solni udar* (npr. kod primjene mineralnog gnojiva u suho tlu) zbog povećanog saliniteta tla.

Svi živi organizmi mogu reagirati dvojako na stres: a) tolerantni su do određene mjere, ili b) mogu izbjeći stresnu situaciju, što podrazumijeva *morfološku* ili *fiziološku adaptaciju*. Npr., biljke se mogu *aklimatizirati* na uvjete suše ako razvije dovoljno dubok korijen, dok *toleranciju* odlikuju jasne morfološke i fiziološke promjene stečene kroz više generacija kao što je otpornost na sušu *kserofita* (biljke prilagođene sušnim i pustinjским uvjetima).

Stoga je, s ekofiziološko aspekta, veoma važno pitanje kako biljke reagiraju na značajne otklone od optimalnih uvjeta okoliša. Fiziološke promjene kao reakciju biljaka na stres izučava *fiziologija stresa*. *Biološki stres* je zapravo posljedica drastične ili štetne promjene u okolišu (*fizikalni stres*) koja se manifestira smanjenim rastom ili razvitkom biljaka, pri čemu pojam *biološka napetost* označava njihove smanjene ili jako promijenjene biološke funkcije. Npr., smanjenje intenziteta svjetla (*akcija*) trenutačno reducira intenzitet fotosinteze (*reakcija*), naravno uz pojavu stresa, pa je u tom slučaju smanjenje fotosinteze zapravo stanje biološke napetosti. *Elastična biološka napetost* ne izaziva trajne posljedice i organizam se može

vratiti u prethodno, normalno stanje nakon prestanka djelovanja čimbenika izazivača stresa, dok *plastična biološka napetost* ostavlja trajne posljedice (niska ili visoka temperatura, suša itd.).

Mehanizam otpornosti bilja na stres

U suvremenoj poljoprivredi abiotski (okolišni) stresovi su vjerojatno najveći faktor ograničenja proizvodnje hrane. Stoga je poznavanje fiziologije stresa i mogućnosti odgovora biljaka veoma važno zbog veće učinkovitosti uzgoja bilja, odnosno potrebe za provođenjem preventivnih agrotehničkih mjera.

Kopnene biljke stare su ~400 milijuna godina i kroz taj period prilagodile su se vrlo različitim uvjetima života. Kao sesilni organizmi razvile su mehanizme specijaliziranog rasta i razmnožavanja pod stresnim uvjetima, posebice prema velikoj temperaturnoj amplitudi (npr., zima - ljeto, dan - noć), visokoj koncentraciji soli i teških metala u tlu, ekstremnom nedostatku vode u pustinjama i aridnim predjelima itd.

Svi su živi organizmi u interakciji s njihovim fizičkim okruženjem kroz razmjenu energije. Primjerice, za fotosintetske enzime optimalna temperatura je ~30°C, a ako se list zagrije na 34°C, fotosintetski enzimi se počinju razlagati (*denaturirati*) uz pad fotosintetske aktivnosti. Stoga će biljke prvo pokušati zadržati optimalnu temperaturu lista tako da uravnoteže energetske potrebe s dotokom energije, odnosno da prihvati energije Sunčevog zračenja ograniče na razinu gubitka topline iz lišća.

Tolerantnost biljaka na ekstremne uvjete vanjske sredine podržana je vrlo složenim biokemijsko-fiziološkim mehanizmima koje reguliraju vjerojatno više od nekoliko stotina gena preko odgovarajućih enzimi upravljanih reakcija. Međutim, koliko god se stresni čimbenici međusobno razlikovali, oni zapravo slično utječu na biljke. Najčešće nastaju štete na membranskim sustavima živih stanica i *organela* (funkcionalnih, izdvojenih dijelova unutar stanice) što dovodi do ozbiljnih poremećaja metabolizma, a zatim rasta i razvitka biljaka.

Najveću štetu biljkama prouzrokuje ubrzana proizvodnja *reaktivnog kisika* (ROS; *Reactive Oxygen Species*) koji se pojavljuje kod nedostatka vode, suviška soli u tlu, visoke temperature, nedovoljnog ili suvišnog intenziteta svjetlosti, manjka ili suviška hraniva, onečišćenja tla teškim metalima i drugim polutantima, pri čemu *antioksidacijski sustavi zaštite* (enzimski i neenzimski) imaju vrlo značajnu ulogu u sprječavanju *oksidativnog oštećenja*. Učinkovitost *antioksidacijskih sustava* značajno ovisi o biljnoj vrsti i kultivaru pa je izbor biljne vrste i kultivara veoma važan u biljnoj proizvodnji. Osim šteta na membranskim sustavima, abiotički stres utječe na fotosintezu, disanje, usvajanje hranjivih tvari, sintezu proteina i druge procese. Stoga, kao reakciju na stres, biljke razvijaju neke zajedničke nespecifične ili specifične mehanizme tolerancije kako bi lakše prevladale stresne uvjete.

Mehanizmi otpornosti, odnosno tolerancije na stres, započinju s *percepcijom* (zamjećivanje uvjeta koji uvjetuju pojavu stresa), zatim slijedi *aktivacija gena* za proizvodnju specifičnih tvari koje se uključuju u zaštitu i popravak staničnih struktura, odnosno važnih funkcija. *Prepoznavanje signala stresa* ključno je za *indukciju tolerancije* bilja u uvjetima koji dovode do abiotičkih stresova. Na žalost poljoprivrednih proizvođača, biljke koje su dulje vrijeme bile izložene stresu, odnosno nepovoljnim ili čak ekstremnim uvjetima vanjske sredine, redovito postizu niži prinos kao posljedicu fiziološkog mehanizma adaptacije.

Svi živi organizmi reagiraju na promjene u okolišu pri čemu se pojedine vrste značajno razlikuju, ali je reakcija najčešće slaba ili često neuspješna. Međutim, unutar prirodne populacije, odgovor na *stresni faktor* često je uspješan, jer to omogućuje velika *genotipska raznolikost* jedinki. Naime, pod različitim uvjetima (osvijetljenost, raspoloživost vode i sl.) dolazi do radikalnih *fenotipskih razlika* (različitog izgleda u veličini, boji obliku lišća i dr.) unutar istog genotipa (tzv. *fenotipska plastičnost*), pri čemu treba znati da fenotipske razlike, u pravilu, nisu nasljedne. *Genotipska varijabilnost*, ma kako te razlike između jedinki bile male, zbog nasljednog karaktera omogućuje *genetsku adaptaciju* kao reakciju na promijenjene uvjete okoliša.

Genetskim adaptacijama bavi se *populacijska genetika* u kojoj se adaptacija definira kao porast kondicije organizama, odnosno porast broja potomaka posebno pogodnog genotipa. *Adaptacija* se može manifestirati kao *perdacija* (npr. *retardacija* lišća pustinjskih biljaka), *koloracija* (promjena boje lista ili cvijeta) ili *morfoza* (promjena izgleda pojedinih organa i cijele biljke). Genetska adaptacija, za razliku od fiziološkog mehanizma adaptacije, zapravo aklimatizacije, je proces koji vodi genetskoj promjeni jedinke, potom *mikroevolucija* uzrokuje genetske promjene na razini populacije, a kasnije se javljaju *procesu specijacije* i *makroevolucije* uz pojavu novih, bolje adaptiranih vrsta. Poznavanje i razumijevanje tih procesa veoma je važno za biljnu selekciju, odnosno oplemenjivače, pa je za očekivati da će uskoro biti kreirani kultivari koji će dobro podnositi sve više izražene klimatske promjene.

Fiziološki mehanizmi tolerancije ili otpornosti biljaka na ekstremne uvjete sredine pokreću se nakon prijema signala (svjetlost, hormoni, dodir, hladnoća, gljivice, vodik peroksid itd.) pomoću specifičnih *receptora*. Budući da biljke nemaju nervni sustav, prijenos signala (*transdukcija*) je bitno drukčija negoli kod životinja i ljudi. Značajna uloga u prijenosu signala pripisuje se kalciju i prema najnovijim istraživanjima *Ca-fotoprotein* (*ekvorin*) ukazuje na devet različitih signala kod biljaka (dodir, hladnoća, vjetar, gljivični napad, salinitet, etilen, ozljeda, oksidativni stres i cirkadijalni ritam).

Novija istraživanja, također pokazuju kako se u stresnim uvjetima biljke često brane *alelopatijom* (utjecaj jedne biljne vrste na drugu putem proizvodnje kemijskih spojeva koji se najčešće negativno odražavaju na rast, razvitak i razmnožavanje). *Alelopatске substance* (nazivaju se i *biokomunikatori*) su veoma brojne, npr. cinamična i hidroksicinamična kiselina, salicilna kiselina, terpeni, fenoli, amini, kumarini, jugloni, leptospermoni itd., a izlučuju ih različiti biljni organi (korijen, stabljika, lišće, sjemenke i dr.). Cilj je spriječiti susjedne biljke (kao i druge organizme u tlu) da koriste resurse ekosustava (svjetlost, voda, hraniva) i tako povećaju preživljavanje nepovoljnih uvjeta, što rezultira uvijek nižim prinosom. *Stoga se u biljnoj proizvodnji mora pridržavati optimalnog sklopa* (gustoća usjeva i određeni prostorni, međusobni raspored biljaka) što se postiže

sjetvom i kultivacijom. Npr., nije dovoljno posijati optimalni broj biljaka po jedinici površine (*gustoća usjeva*), već je veoma bitan i *sklop* (razmak između redova sjetve, razmak biljaka unutar reda i orijentacija redova u prostoru; najbolje sjever - jug zbog jednake osvjetljenosti svih biljaka).

Reakcija biljaka na uvjete okoliša događa se na svim razinama njene organizacije. Stanični odgovor na stres uključuje promjene u membranskim sustavima, modifikacije stanične stjenke te promjene u staničnom ciklusu i diobi stanica. Zapravo, biljke mijenjaju metabolizam (životnu aktivnost) na različite načine, uključujući i proizvodnju *kompatibilnih otopljenih tvari* (npr. *prolin*, *rafinoza*, *glicin-betain* i dr.). *Kompatibilne otopljene tvari* su u stanju stabilizirati proteinsku i staničnu strukturu, održati potrebnu osmotsku vrijednost protoplazme, ukloniti reaktivne kisikove spojeve i ponovno uspostaviti potrebnu ravnotežu. Kao zaštitne molekule javlja se niz različitih spojeva, npr. *poliamini* (PA; sprječavaju štetne efekte suše i hladnoće), *glicin-betain* (GB; štiti fotosustav II), različiti *ugljikohidrati*, posebice *fruktani*, *disaharidi*, *škrob*, *trehaloza* i *rafinoza*, zatim *polioli* (*manitol* i *sorbitol*), dehidrini i dr.

Nakon stresa, na molekularnoj razini bilja, mijenja se ekspresija (izražajnost) gena pri čemu *epigenetska regulacija* ima važnu ulogu u regulaciji gena. Poticanje gena stresom utječe na regulaciju ekspresije gena i omogućava kontrolu biljkama nad strukturom i funkcijom što je preduvjet za diferencijaciju stanica, odnosno morfogenezu i prilagodljivost biljaka promijenjenim uvjetima životne sredine.

U razumijevanju biljnih stresova važno je akceptirati i ubrzane klimatske promjene kao posljedicu antropogenih djelovanja. Za ilustraciju, razina atmosferskog CO₂ povećana je od 18. stoljeća s 270 μL L⁻¹ (270 ppm) na sadašnjih ~400 μL L⁻¹ (~400 ppm), a projekcije do kraja ovog vijeka idu i do 700 μL L⁻¹. Zbog povećanja koncentracije CO₂ i drugih *stakleničkih plinova* u atmosferi zagrijavanje će biti sve izraženije, posebice tijekom noći i očekuje se da u sljedećih 100 godina ona poraste za 1,4 - 5,8°C. Također, očekuje se sve više intenzivnih oborina, s pojavom dugih ljetnih suša i veća učestalost klimatskih ekstrema.

Otpornost biljaka na niske temperature

Oko $\frac{2}{3}$ kopna na Zemlji podvrgnuto je tijekom godine temperaturama ispod nule, a $\frac{1}{2}$ temperaturama ispod -20°C . Stoga ne čudi da se utjecaj niske temperature na biljke opsežno istražuje kako bi se povećala otpornost biljaka. Međutim, pokušaj da se oplemenjivanjem poveća otpornost biljaka na hladnoću nije polučilo vidan napredak, najprije zbog činjenice da je ta vrsta otpornosti regulirana s više gena koji kontroliraju velik broj različitih svojstava kao što su fluidnost biomembrana, sinteza i nakupljanja spojeva male i velike molekularne mase (tzv. *molekule antifrizi*), povećanje potencijala za borbu s oksidativnim stresom i dr. Sindrom je još složeniji, jer se biljna tkiva različito odupiru smrzavanju, pri čemu *meristemi* (tkivo građeno od embrionalnih stanica koje se neprestano dijele) općenito manje stradaju od niskih temperatura u odnosu na zrela, potpuno diferencirana tkiva. Primjerice, konus rasta ozimih žita otporniji je na smrzavanje u odnosu na korijen, ali svi klijanci nemaju istu otpornost na niske temperature, premda su uzgojeni u jednakim uvjetima. Naime, njihova tkiva su genetski identična, ali su morfološki i anatomske različita što uvjetuje razliku u otpornosti na smrzavanje. Općenito, biljke koje imaju malu površinu lišća i širi omjer korijena prema izdanku, bolje podnose niske temperature. Također, biljke izložene niskoj temperaturi izvan zimske sezone lako nastradaju, premda zimi mogu izdržati vrlo niske temperature bez posljedica.

U proizvodnim uvjetima biljke su tijekom klijanja, rasta i razvitka neprestano izložene promjenama temperature pa tako dnevna promjena može iznositi 10 do 15°C , ili čak i znatno više. Međutim, vrlo je rijetko da se velike razlike u temperaturi pojave samo u nekoliko minuta, posebice ne u zoni korijena (*rizosferi*). Stoga je kod izmjene niske noćne i visoke dnevne temperature aklimatizacija biljaka odložena, a može doći i do gubitka već stečene otpornosti na hladnoću, posebice kad se nakon hladnog perioda temperature podignu iznad one potrebne za pokretanje mehanizma otpornosti.

Reakcija i prilagodba biljaka na niske temperature, posebice one ispod 0°C , iznimno je složen fiziološki mehanizam. Naime, to je dinamičan proces koji se odvija u više dana, ili čak tjedana sve do postizanja pune *aklimatizacije*

(prilagodbe). Također, stupanj *aklimatizacije* na niske temperature, osim što ovisi o temperaturi, pod utjecajem je intenziteta svjetla, duljine dana, agrotehničke prakse te drugih abiotskih stresova, npr. suše. Prilagodba na niske temperature inicirana je kombinacijom skraćivanja fotoperioda (duljine dana) i temperaturama nižim od 10°C što rezultira i prestankom rasta. Tolerancija na smrzavanje izražava se najčešće kao LT₅₀, odnosno niska temperatura koju preživi 50 % biljaka.

Pojedine biljne vrste su osjetljivije na pokretanje mehanizma otpornosti (*indukcija*) na niske temperature. Primjerice, ozima raž reagira već na 10°C, dok aklimatizacija ozime pšenice započinje pri 7°C, a jare pšenice pri 4°C. Dakle, očito je da između biljnih vrsta, ali i kultivara, postoji jasna razlika u signalizaciji potrebe za aklimatizacijom na niske temperature. Također, izlaganja drugim abiotskim stresovima (suša, UVB zračenje, vjetar, itd.) mogu povećati smrzavanje bilja, pa tako ozima raž uzgajana u polju na 25°C može tolerirati temperaturu do -9°C, međutim raž uzgojena u stakleniku, također na 25°C, može izdržati nisku temperaturu samo do -3°C.

Tolerancija na jedan stres može povećava toleranciju prema drugim stresovima što se naziva *unakrsna prilagodba*, premda biljke na taj način neće postići istu razinu tolerancije na smrzavanje kakvu bi razvile izlaganjem niskoj temperaturi. Stoga se smatra da su posebni geni zaduženi za aklimatizaciju na nisku temperaturu, premda ih u regulaciji mehanizma otpornosti sudjeluje znatno više. Međutim, lokacija osjeta (*percepcija*) hladnoće kod biljaka još uvijek nije poznata, ali ima dosta mišljenja kako je signal niske temperature vezan uz promjenu *turgora stanica* (elastična napetost ili tlak) koji rezultira promjenama u pričuvi (*pool*) unutarstaničnog kalcija, ali i promjene koncentracije biljnih hormona.

Na temperaturi ispod 0°C životna aktivnost biljaka je neznatna, ali potpuno prestaje tek kod -10°C. Npr., kretanje vode kroz stabljiku prestaje na temperaturi oko -7 do -8°C, dok sjeme pojedinih biljaka može izdržati i nekoliko sati na temperaturi od -100°C zadržavajući sposobnost klijanja.

Pod otpornošću biljaka na niske temperature smatra se najčešće njihova tolerantnost na temperature ispod 0°C, ali čest je i negativan utjecaj *pozitivnih niskih temperatura* (npr. kod duhana 2,5 do 5°C). Prvi simptom

oštećenja bilja niskim temperaturama je *simptom venjenja* što je rezultat narušenog vodnog režima pri čemu su sintetski procesi usporeni, a biološke oksidacije pojačane uz narušavanje strukture biljnih pigmenata (npr. *klorofil*) u lišću. Zbog toga, niske pozitivne temperature mogu rezultirati odumiranjem biljke zbog kardinalnih promjena u metabolizmu, dok negativne temperature, one ispod 0°C, mogu i mehanički oštetiti biljku, odnosno finu protoplazmatsku strukturu tkiva, pojavom kristalića leda.

Na sposobnost biljaka prema podnošenju niskih temperatura značajno utječe dinamika odvijanja procesa rasta i razvitka biljaka. Primjerice, kada je biljka normalno razvijena do nastupa hladnog perioda ona se bolje *kali* (priprema na hladnoću) i nakon *kaljenja* bolje podnosi niske temperature. Dakle, biljke koje ne dostignu potreban stupanj razvitka zbog nepovoljnih uvjeta (npr. kasne sjetve ozimih usjeva), lošije se kale i slabije podnose niske temperature.

Kaljenje je složen fiziološko-biokemijski proces koji rezultira staničnim promjenama, a odvija se samo kada je smanjen intenzitet rasta, odnosno ako je nastupio period mirovanja. Proces kaljenja odvija se u dvije faze, a prva se odvija pri ~0°C (0 do 5°C) u uvjetima dobre osvjetljenosti uz nakupljanje šećera fotosintezom. Šećeri povećavaju osmotski tlak biljnih stanica što snižava ledište protoplazme, a njihovo nakupljanje moguće je i u mraku kao rezultat razgradnje škroba. Druga faza kaljenja još uvijek nije detaljno istražena zbog metodoloških problema uslijed pojave leda u biljkama. Nakon kaljenja biljke sadrže više vezane, a manje slobodne vode, posjeduju veći osmotski tlak staničnog soka i veću viskoznost protoplazme.

Hlađenjem biljaka kroz dulje vrijeme ispod točke smrzavanja prvo se javlja led u međustaničnim prostorima što smanjuje veličinu protoplasta uz postupni gubitak vode (i uz porast osmotske vrijednosti, dok pri naglom zahlađenju led se pojavljuje unutar stanica (u *protoplastu*) i tada izumiru čak i dobro zakaljene biljke. Smrzavanje ne mora uvijek biti smrtonosno za biljku. To ovisi o niskoj temperaturi i dužini njenog trajanja, o količini vode i leda, ali i o biljnoj vrsti i fazi u kojoj je niska temperatura nastupila. Otpornost pojedinih organa iste biljke nije ista, a i biljke su zimi, nakon kaljenja, nekoliko puta otpornije nego u proljeće.

Proljeetni usjevi često stradaju od kasnog mraza ili od niskih temperatura. Npr. sjeme kukuruza neće izniknuti ako se od sjetve u sljedećih sedam dana temperature tla spuste na 4°C. Međutim, ako se prije sjetve obavi *preemergentna aklimatizacija sjemena* na nisku temperaturu (aktivacija enzima *katalaze*, odnosno tzv. *oksidativna stres indukcija*) sjeme kukuruza će vjerojatno preživjeti. Nakon nicanja kukuruz može izdržati nekoliko dana bez trajne štete na temperaturi od 5°C, premda će metabolizam biti gotovo zaustavljen.

U posljednje vrijeme komercijalno se primjenjuju posebni sprejevi protiv smrzavanja koji ujedno sprječavaju isušivanje biljaka na visokim temperaturama ili vjetrom. Nakon prskanja nastaje tanka, biorazgradiva, elastična i polupropusna membrana koja se zadržava 30 - 60 dana na lišću biljaka. Membrana je transparentna za svjetlost i ne smanjuje intenzitet fotosinteze, ali snižava gubitak vode transpiracijom za ~35 % i može spriječiti smrzavanje biljaka.

Svaka kultura može biti zaštićena od smrzavanja ukoliko je to ekonomski opravdano, a izbor načina zaštite od mraza je prvenstveno pitanje ekonomije. Najbolji i najskuplji sustavi zaštite od hladnoće su zaštićeni prostori, staklenici i plastenici s grijanjem, ali se oni ne mogu primijeniti na veće površine, npr. voćnjake i vinograde. Stoga je veoma važno pitanje gdje, kada i kako zaštititi biljke od hladnoće. Svaki pojedini slučaj mora se razmotriti s aspekta vrijednosti proizvoda, potrebnih troškova i tipa zaštite.

Ne postoji savršena metoda za zaštitu poljskih usjeva protiv hladnoće, ali je često korisna kombinacija više metoda. Zapravo, najbolja tehnika zaštite od smrzavanja je selekcija i uzgoj tolerantnih biljnih vrsta i kultivara. Također, dobro osmišljen i kalibriran monitoring mraza (nadziranje okoliša) može puno pomoći ako je projektiran, da osim mjerenja, izdaje i upozorenja, odnosno alarmira na vrijeme.

Općenito, cilj zaštite od smrzavanja je zadržati biljke iznad njihove *kritične temperature* koja znatno varira, te je zimi mnogo niža kod zakaljenih biljaka negoli u proljeće nakon kretanja vegetacije (Tablica 12.). Zaštitu od *advektivnog smrzavanja*, uzrokovanog horizontalnim strujanjem hladnog

zraka, često potpomognutim vjetrom, mnogo je teže postići negoli zaštitu od smrzavanja zbog zračenja topline biljaka (*radijacija*) u hladan okoliš.

Tablica 12. Raspon kritičnih temperatura (°C) nekih usjeva (FAO)

Vrsta usjeva	Temperatura (°C)		
	Minimum	Maksimum	Optimum
Salata (<i>Lactuca sativa</i>)	4	25	15 - 20
Špinat (<i>Spinacia oleracea</i>)	5	30	15 - 20
Mrkva (<i>Daucus carota</i>)	11	30	15 - 25
Rajčica (<i>Solanum lycopersicum</i>)	11	30	15 - 27
Kupus (<i>Brassica oleracea</i>)	8	35	15 - 30
Patlidžan (<i>Solanum melongena</i>)	15	33	20 - 25
Tikvice (<i>Cucurbita moschata</i>)	15	40	20 - 25
Paprika (<i>Capsicum spp.</i>)	15	35	20 - 30
Riža (<i>Oriza sativa</i>)	10	45	20 - 35
Dinja (<i>Cucumis melo</i>)	15	35	25 - 30
Krastavac (<i>Cucumis sativus</i>)	18	30	25 - 30
Kukuruz (<i>Zea mays</i>)	10	40	25 - 30
Pšenica (<i>Triticum aestivum</i>)	20	40	25 - 30
Soja (<i>Glycine max</i>)	10	35	25 - 30

Ne ulazeći u detalje agrotehnike zaštite biljaka od hladnoće u nadziranim uvjetima, važno je naglasiti da sve metode zaštite od smrzavanja biljaka moraju uvažavati sljedeća načela:

1. Dobar izbor mjesta objekta za uzgoj u zaštićenom prostoru (staklenika, plastenika i dr.) uz adekvatnu odvodnju hladnog zraka i pravilnim razmještajem objekata, vjetrobrana i ograda u prostoru kako bi se osigurala dobra „zračna drenaža“,
2. Korištenje topline pohranjene u atmosferi pomoću miješanja različitih slojeva hladnog zraka (npr. ventilatori, helikopteri i sl.),
3. Izravno konvektivno zagrijavanje zraka (npr. grijači, plamenici, topla voda i sl.),
4. Izravno radijacijsko grijanje biljaka (npr. grijači, međuredne prskalice i dr.),
5. Korištenje latentne topline vode (npr. zamrzavanje vode na međurednim prskalicama ili na površini ispod krošnji voćnih vrsta),

6. Korištenje latentne topline kondenzacije vode (npr. ovlaživanje, zamagljivanje, prskanje vodom i dr.),
7. Sprječavanje gubitka topline zračenjem (prekrivanje biljaka, zamagljivanje i dr.),
8. Korištenje topline tla (npr. golo tlo),
9. Korištenje toplinske izolacije (npr. pokrivajuće pjene, sprejevi, plastenici i dr.),
10. Sprječavanje preranog kretanja vegetacije (npr. hormoni, međuredne prskalice u voćnjacima, vapnjenje stabala i dr.),
11. Sadnja tolerantnih vrsta ili onih koje kasnije cvjetaju i
12. Kreiranje sorti otpornih na hladnoću (oplemenjivanje, GMO)

Otpornost biljaka prema visokim temperaturama

Biljke su izložene čestim promjenama temperature, a za razliku od životinja koji su *homeotermi* i imaju izvrsne mehanizme regulacije, njihova je temperatura jako je ovisna o okolišu. Kako je trenutačno Zemlja u fazi globalnog zatopljenja, mogu se očekivati sve veće štete od visokih temperatura. Procjene pada prinosa s povećanjem temperature za svaki 1°C kreću se do 17 %.

Prema najvišoj temperaturi koju podnose, biljke se dijele na *psihrofilne* (žive u područjima s niskom temperaturom), *poikilotermne* (temperatura im ovisi o okolišu), *mezofilne* (većina usjeva umjerenog klimata), *termofilne* (adaptirane na visoku temperaturu) i *poikilohidro-regenerativne* (podnose visoke temperature i lako nadoknađuju gubitak vode).

Temperatura biljaka najviše ovisi o vanjskoj temperaturi zraka, a jak utjecaj ima i Sunčevo zračenje te strujanje zraka, kao i topline (*konvekcija*). Za dobro razumijevanje toplinskog stresa potrebno je analizirati energetske bilancu, odnosno poznavati ravnotežu između dotoka toplinske energije i njenog gubitka (prijem ili zagrijavanje, gubitak ili hlađenje i latentna toplina, npr. hlađenje transpiracijom).

Smanjena sposobnost biljaka za isijavanje suvišne topline (*radijacija*) najčešće je uzrok toplinskom stresu. Naime, biljke su optimizirane za fotosintezu, odnosno apsorpciju Sunčevog zračenja, ali će se lišće izloženo direktnom sunčevom zračenju brzo i zagrijavati. Budući da Sunčevo

zračenje čini 45 % fotosintetski aktivna radijacija (FAR), 53 % je IC zračenje (*infracrveno* ili *toplinsko zračenje*) i 2 % UV (*ultraljubičasto zračenje*), biljke nužno u suvišku apsorbiraju veliku količinu toplinske energije.

Mnogi listovi su vrlo tanki, dobro prilagođeni apsorpciji fotosintetski aktivne radijacije, malog toplinskog kapaciteta te lako gube suvišak toplinske energije uz brze temperaturne promjene fotosintetskog aparata. Međutim, kad je temperatura okoline ista kao i lista, nemoguć je gubitak toplinske energije i njegovo hlađenje.

Isparavanje vode s površine lista (*transpiracija*) troši veliku količinu toplinske energije i tako se isparavanjem vode hladi list (*latetna toplina* je ona koju jedinica neka masa tvari mora predati ili primiti iz okoline kako bi promijenila agregatno stanje). Za najveću moguću transpiraciju potrebno je dovoljno raspoložive vode u tlu, a i transpiracija različitih biljnih vrsta jako se razlikuje efektom hlađenja (npr. lišće pamuka može transpiracijom sniziti temperaturu više od 5°C). Stoga je gubitak latetne topline važna komponenta u energetske bilanci lišća, ali toplinski stres se može dogoditi i kao posljedica suše kad biljke imaju veoma umanjenu mogućnost transpiracije.

Listovi su općenito najtopliji dijelovi biljaka što već iznad 30°C može negativno utjecati na intenzitet fotosinteze i tvorbu organske tvari. Na niskim temperaturama rast biljaka često ovisi više o temperaturi, a manje o fotosintezi. Dakle, niske temperature ograničavaju rast, a visoke fotosintezu pa su učinci toplinskog stresa najviše na smanjivanje intenziteta fotosinteze.

Bjelančevine, koje su temelj građe protoplazme, vrlo su osjetljive na visoku temperaturu i u takvim uvjetima lako podliježu *denaturaciji* (gubitak strukture). Za očuvanje njihove strukture, odnosno vitalne sposobnosti, biljke su razvile više tzv. *zaštitnih proteina*, odnosno *proteina toplinskoga šoka* (HSP - *Heat Shock Proteins*) čija sinteza naglo raste u uvjetima izloženosti biljaka visokoj temperaturi, ali i osmotskom te oksidativnom stresu.

Općenito, toplinski stres utječe na funkciju bioloških membrana, *denaturaciju* (razgradnju) i *desikaciju* (isušivanje) bjelančevina uz pojačano

stanično disanje. Temperatura od oko 50°C izaziva *koagulaciju* (*aglomeraciju* i taloženje) bjelančevina, a već pri 35 - 40°C biljke mogu odumirati zbog tvorbe toksičnih produkata i narušavanja fiziološko-biokemijskih procesa. Specifična je otpornost biljaka na visoke temperature u uvjetima tzv. „*vlažne suše*“, odnosno situacijama kad u tlu ima dovoljno vode, ali provodni sustav biljaka, zbog velike *transpiracije*, ne uspijeva nadoknaditi gubitak vode iz lišća (npr. „*spavanje*“ šećerne repe kod dovoljne vlage u tlu za vrijeme toplih ljetnih dana).

Utjecaj toplinskog stresa na prinos veoma ovisi o dinamici (vremenskom rasporedu) toplinskog stresa. Npr. ako je pojava stresa kod voćaka bila tijekom cvjetanja, doći će do znatnih gubitaka i pada uroda, ali gubici mogu nastati i u bilo kojem drugom trenutku rasta i razvitka. Dva biljna procesa posebno su osjetljiva na toplinski stres:

1. formiranje i razvitak peludi i
2. fotosinteza, a ostali procesi, uključujući i disanje, znatno su otporniji na ekstremne temperature. Razvitak peludi (*mikrosporogeneza*) posebno je osjetljiva na visoke temperature i toplinski stres, znatno više od razvitka plodova.



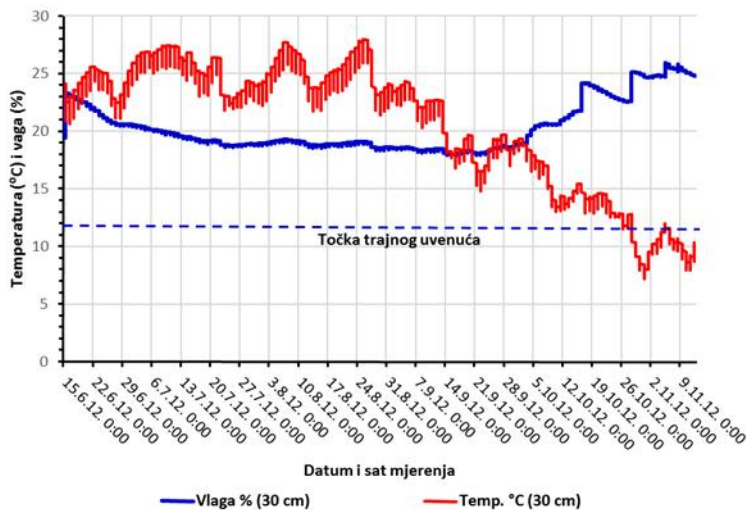
Slika 16. Mjerenje temp. i vlage tla

Osim dnevnih, vrlo su važne i noćne temperature, pa tako povećanje noćne temperature s 20°C na 30°C kod graha dovodi do prestanka funkcije reproduktivnog sustava. Mnoga istraživanja pokazuju kako je optimalna temperatura za kukuruz između 25 i 32°C, a noćna između 16 i 23°C. Kukuruz može kratkotrajno izdržati visoku temperaturu, čak do 44°C, ali se već na 37°C zapaža oštećenje lišća.

Visoke temperature sve su češće zbog klimatskih promjena (zatopljenja) te maksimalne temperature za lipanj, srpanj, kolovoz i rujanj često prelaze 37°C (mjere se u hladu meteorološke kućice te je na suncu temperatura

znatno viša). Istovremeno, u tlu se može nalaziti dovoljno vode, ali se biljke ipak ne mogu dovoljno rashladiti transpiracijom.

Navodnjavanje kišenjem može, ali samo kratkotrajno, sniziti temperaturu lišća, a po prestanku raspršivanja vode temperatura opet vrlo brzo poraste. Kad je u tlu dovoljno vlage, temperatura ispod 36,5°C neće značajno utjecati na visinu prinosa kukuruza, ali će temperatura zraka viša od 34,5°C, posebice kad je relativna vlažnost zraka niska, smanjiti *vijabilnost peludi* (njegovu sposobnost oprašivanja). Važno je naglasiti kako i visoke noćne temperature (iznad 22°C) intenziviraju procese disanja što može značajno smanjiti prinos kukuruza zbog ubrzanog sazrijevanja uz slab intenzitet nalijevanja zrna. U toploj i suhoj 2012. god. proveden je monitoring temperature i vlage tla (svaki sat) u Gat u dubinama 30 i 60 cm (Slika 16.). Prinos kukuruza bio je ~50% od uobičajenog, a stvarni razlog nije bila suša (manjak vode) kako je većina poljoprivrednih proizvođača vjerovala, već permanentno visoka temperatura tla danju i noću u zoni korijena (Slika 17.).



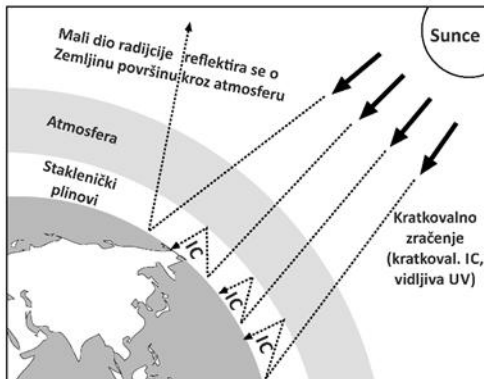
Slika 17. Vlaga i temperatura u tlu na 30 cm dubine (Gat; kukuruz; 15.6.2012. - 9.11.2012., 3609 mjerenja)

Visoke temperature dobro podnose *kserofite* koje su otpornije od *mezofita*, a od poljoprivrednih biljnih vrsta najotpornije su *termofilne vrste*, npr.

sirak, suncokret, vinova loza itd. Porastom temperature značajno raste aktivnost *okidacijskih enzima* pa u metabolizmu biljaka prevladavaju procesi razgradnje uz visok intenzitet disanja. U lišću dolazi do nakupljanja *amonijaka* kao posljedice razgradnje *bjelančevina (proteoliza)*, koji se transportira u korijen, koji ga kod visokih temperatura ne može ugraditi u aminokiseline, odnosno bjelančevine, pa visoke koncentracije amonijaka u lišću toksično djeluju na cijelu biljku.

Klimatske promjene na globalnoj razini pojačavaju tzv. *efekt staklenika* (Slika 18.), proces koji zapravo omogućuje život na Zemlji. Naime, zračenje Sunca apsorbiraju različiti objekti ili sama površina Zemlje uz porast *temperature* (temperatura je kvalitativna mjera, a toplina kvantitativna mjera toplinske energije). Jedan dio te topline zatim se reemitira u svim smjerovima, a dio se s reflektira nazad na površinu zemlje od atmosfere u kojoj tzv. *staklenički plinovi (ugljični dioksid - CO₂, metan - CH₄, dušikov oksid - N₂O, klorfluorugljici - CFC, hidrofluorougjljici - HCF (CFC i HCF su freoni iz sustava za hlađenje), perfluorugljici - PFC, sumporheksafluorid - SF₆ i dr.)* ne dopuštaju gubitak topline isijavanjem u svemir.

Prijenos topline odvija se na tri načina: *kondukcija* (tok energije kroz medij, od molekule do molekule), *konvekcija* (kretanje mase, npr. zraka) i *radijacija* (elektromagnetsko zračenje). *Reemisija (reradijacija)* od površine



Slika 18. Efekt staklenika

i objekata je u području IC (infracrvenog ili toplinskog) dijela spektra koji CO₂ atmosfere dobro apsorbira, a njegova koncentracija ima tendenciju porasta zbog sve većeg sagorijevanja fosilnih goriva pa se efekt efekta staklenika sve više intenzivira.

Pojačana otpornost biljaka prema visokim temperaturama može se donekle postići

primjenom nekih tvari, ali samo adekvatne agrotehničke mjere mogu umanjiti štete od suše i/ili visokih temperatura. Posebice je važna gnojidba

kalijem (jer povećava zadržavanje i učinkovitije korištenje vode), zatim uravnotežena gnojidba dušikom (nepovoljan je nedostatak, ali i suvišak N), gnojidba fosforom (zbog utjecaja na bolji rast korijena) i svim drugim biogenim elementima.

Za smanjenje šteta od suše veoma je važno sačuvati zimsku vlagu obradom koja omogućava čuvanje vode, dobro prodiranje korijena u dublje slojeve tla s više vode. Štete od suše se mogu učinkovito spriječiti navodnjavanjem kako bi biljke mogle transpiracijom sniziti temperaturu lišća ispod kritične granice. Granične visoke temperature nekih usjeva pokazuje Tablica 13.

Pogrešno je mišljenje kako navodnjavanje usjeva može učinkovito sniziti temperaturu lista kako bi se izbjegle štete od visokih temperatura. Zapravo, temperatura lišća pada samo za vrijeme navodnjavanja, dok je produžni efekt zbog veće raspoloživosti vode i pojačane transpiracije u uvjetima kritično visoke temperature zanemariv. Naime, transpiracijski tok vode kroz biljku nije u stanju dovoljno „rashladiti“ biljku, odnosno list na temperaturi koja je iznad kritične granice, a permanentno navodnjavanje, pored problema sa suviškom vode u tlu (ispiranje hraniva, nedostatak kisika, veća osjetljivost na patogene i dr.), ima i suviše visoku cijenu. Ipak, hlađenje uz pomoć isparavanja vode može u voćnjacima sniziti temperaturu lišća i umanjiti učinke toplinskog stresa.

Tablica 13. Granične visoke temperature nekih poljoprivrednih vrsta

Usjev	Granična temperatura (°C)	Fenofaza
Pšenica	26	Cvjetanje
Kupus	29	Cvjetanje
Krumpir	30	Klijanje
Kikiriki	34	Prašenje
Riža	34	Zrioba
Proso	35	Mlada biljka
Kukuruz	38	Punjenje zrna
Pamuk	45	Cvjetanje

Učinkovitost sustava za rashlađivanje vodom u voćarstvu ovisi o relativnoj vlažnosti zraka, brzini vjetra i sustavu raspršivanja vode. Primjerice, kod jabuka, ovisno o sorti, temperature iznad 30°C mogu izazvati *Sunčeve*

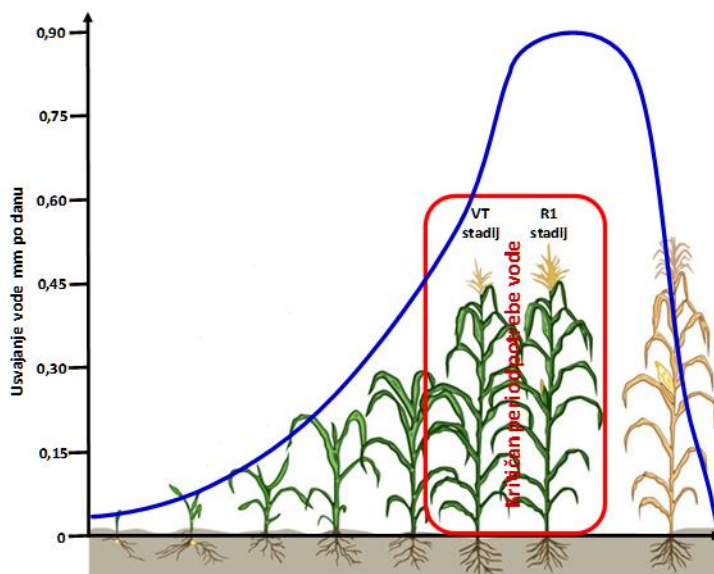
ožegline jer izravna Sunčeva svjetlost može podići temperaturu površine plodova iznad 50°C, premda je temperatura zraka znatno niža. Sustav za rashlađivanje treba uključiti kad temperatura plodova i/ili lišća dosegne 2°C ispod kritične temperature. Najbolje je kad je kontrola sustava za rashlađivanje senzorska, odnosno automatska, kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi i izbjegao rizik kasnog pokretanja. Također, u voćnjaku se mora osigurati dobra drenaža i otjecanje suvišne vode, a sustav se mora primjenjivati tijekom cijelog razdoblja visokih temperatura jer hladene biljke nisu aklimatizirane na visoku temperaturu, ali i adekvatno zaštićene od bolesti.

Otpornost biljaka prema suši

Koliko su veliki zahtjevi biljaka za vodom najbolje pokazuje činjenica da biljke C-3 tipa fotosinteze zahtijevaju 1 kg vode za sintezu 1,3 do 2,0 g ST (500 - 800 kg vode za tvorbu 1 kg suhe tvari), dok su C-4 biljke (kukuruz, sirak, šećerna trska, proso i dr.) približno dvostruko efikasnije. Potreba za vodom se jako razlikuje tijekom vegetacije, a najveća potreba je najčešće kod prelaska iz vegetativne u generativnu fazu, odnosno u cvjetanju (Slika 19.). 40-godišnja istraživanja šteta u SAD, nastalih uslijed različitih stresova, pokazuju da je na prvom mjestu suša (40,8 %), drugom suvišak vode (16,4 %), trećem niska temperatura (13,8 %), četvrtom tuča (11,3 %) itd. Dakle, nepredvidljiva suša trenutno se može smatrati najvećim problemom u proizvodnji hrane, kako u svijetu, tako i u RH.

Učinak nedostatka vode obično se zapaža smanjenim rastom što je povezano s padom intenziteta fotosinteze i poremećajem metabolizma dušika i ugljika. Reakcija biljaka na sušu je složena jer je taj stres najčešće povezan s problemima usvajanja biogenih elemenata i njihovim transportom, podjednako hraniva i asimilata, što se odražava na cjelokupnu životnu aktivnost biljaka. U proizvodnim uvjetima reakcija na nedostatak vode kombinirana je s drugim tipovima stresa te često može biti i prikrivena jer se manjak vode odražava na više načina. Naime, manji nedostatak vode utječe na povećanje vezane, a smanjivanje slobodne vode u biljci, što se vrlo brzo odražava na pad intenziteta fotosinteze. Jači nedostatak vode rezultira isušivanjem biljaka do pojave tzv. *točke uvenuća*

koja, ovisno o nedostatku vode i svojstvima biljne vrste, odnosno kultivara. Zatim, nakon nekog vremena slijedi *trajno uvenuće*, tj. biljka se neće moći oporaviti ni nakon dodavanja vode. Manji nedostatak vode u duljem periodu najčešće rezultira većom ili manjom prilagodbom biljaka na sušu, ovisno o biljnoj vrsti, odnosno njenim prirodnim (*inherentnim*) odlikama tolerantnosti na nedostatak vode.



Slika 19. Kritičan period potrebe vode kukuruza

Vodni stres rezultira zatvaranjem puči i smanjenjem intenziteta transpiracije, padom vodnog potencijala biljnih tkiva, smanjenjem fotosinteze te konačno zaustavljanjem rasta i ubrzanim sazrijevanjem uz povećanu sintezu bjelančevina. Također, dolazi i do drugih poremećaja metabolizma što konačno rezultira i *morfološkim promjenama*, odnosno promjenama u izgledu biljaka.

Reakcija većine biljaka na sušu započinje zatvaranjem puči kako bi se spriječilo isušivanje lišća i smanjila potrošnja vode. Međutim, mnoge biljke gube vodu kroz puči jer one ostaju otvorene, a i velik se dio vode gubi preko epiderme lista i kroz kutikulu, posebice ukoliko je kutikula tanka. Biljke otpornije na sušu u pravilu imaju debele kutikule slabo propusne za vodu.

Gubitkom vode iz lista turgor pada i biljke počinju venuti, a neke uvijaju lišće da smanje gubitak vode. Venjenje ili kovrčanje lišća ima funkciju zaštite fotosintetskog aparata od izravne sunčeve radijacije. Biljke koje su tolerantnije na sušu posjeduju sposobnost regulacije otvaranja i zatvaranja puči čime se smanjuje potrošnja vode, ali time i usvajanje CO₂, odnosno tvorba organske tvari u procesu fotosinteze.

Mehanizam prilagodbe na nedostatak vode je višeslojan. Na staničnoj razini biljke pokušavaju ublažiti vodni stres promjenom metabolizma. Naime, mnogi dijelovi biljke mogu preživjeti gubitak vode (*dehidracija*), ali u različitoj mjeri. Kritična razina vode je prosječno oko 0,3 g H₂O g⁻¹ ST. Daljnju dehidraciju biljne vrste različito podnose. Daljim isušivanjem biljaka dolazi do nakupljanja tvari koje povećavaju osmotsku vrijednost protoplazme, što je univerzalna reakcija biljaka na nedostatak vode. Također, jedan od mehanizama tolerancije na nedostatak vode je isijavanje topline (*disipacija topline*) iz klorofila bez odvijanja fotosinteze.

Otpornost, zapravo tolerantnost prema suši sastoji se iz otpornosti na visoke temperature i otpornosti na nedostatak vode. Otpornost biljaka prema suši razvija se tijekom *filogeneze* (evolucijski razvoj vrste), ali je i vrlo važna prilagodba tijekom *ontogeneze* (rast i razvitak jedinke). Veliki značaj u otpornosti prema suši imaju i koloidno-kemijska svojstva protoplazme (npr. viskoznost, elastičnost i količina vezane vode). Biljke tolerantne na sušu sposobne su neutralizirati po njih nepovoljne promjene metabolizma održavajući sintetske sposobnosti. Za to je od posebnog značaja razvijenost korijenskog sustava, anatomska struktura biljnih tkiva i stadij razvitka. Visok sadržaj osmotski aktivnih tvari u stanicama, posebice K⁺, ali i drugih iona, osigurava bolju *hidratiziranost* i veću *retenciju* (zadržavanje) vode u biljkama preko regulacije membranskog transporta i mehanizma rada puči.

U procesu očuvanja strukture životno važnih membrana uključen je *hormon ABA*, šećeri (za koje se smatra da nakon gubitka vode očuvaju proteinsku konformaciju zamjenjujući izgubljene molekule vode), različite bjelančevine, posebice male molekularne mase (HSP). U suši biljke sintetiziraju i niz različitih spojeva poznatih kao *kompatibilne otopljene tvari* (ili *osmoprotektanti*) koje im pomažu u prevladavanju stresa izazvanog nedostatkom vode i/ili visoke koncentracije soli. Sve više ima dokaza da

akumulacija kompatibilnih otopljenih tvari u biljkama povećava toleranciju biljaka na različite vrste stresova, npr. sušu, visoke temperature i visoku koncentraciju soli u tlu. Zapravo te tvari djeluju kao *osmoregulatori* jer njihova visoka topljivost u vodi i iznimna hidrofilna svojstva omogućava im da djeluju kao zamjena za molekule vode otpuštene iz lišća transpiracijom i kao „čistači“ toksičnih tvari.

Korijen biljaka prepoznaje nedostatak vlage u tlu i tada raste u smjeru s više vode (tzv. *hidrotropizam*) te signalizira biljci opasnost od suše. Mehanizam prepoznavanja nedostatka vlage ipak još uvijek nije jasan. Pretpostavlja se da korijen raspolaže *osmosenzorima* koji signaliziraju nedostatak vode. Nakon što korijen prepozna nedostatak vode u tlu, sintetizira se hormon ABA koja se prenosi do lišća provodnim tkivima i pospješuje zatvaranje puči. Dakle, biljke posjeduju veoma kompleksan i višestruk način signalizacije opasnosti od suše kao i složen kemizam podržan većim brojem gena za sintezu potrebnih komponenti mehanizma otpornosti na sušu, ali to im često vrlo malo pomogne bez dobre agrotehnike, uključujući i navodnjavanje.

U sprječavanju rizika od štetnih posljedica *poljoprivredne suše*, odnosno kratkoročnog manjka vode u površinskom sloju tla koji se događa u kritično vrijeme za razvitak biljaka, može se primijeniti niz različitih metoda prevencije koje moraju biti planirane i pripremljene unaprijed. Izraz poljoprivredna suša se pak ne podudara uvijek s pojavom meteorološke, hidrološke i sociološko-ekonomske suše. Meteorološka suša je prirodni događaj, posljedica klimatskih uzroka koje su različite po pojedinim regijama. Naime, nestašica vode označava manjak vode u odnosu na potrebe, dok je suša privremeno smanjenje prosječne raspoloživosti vode. Suša je prirodni dio klime i javlja se u gotovo svim klimatskim zonama, ali njezini štetni učinci nisu svugdje jednaki. *Suša se definira 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.*

Učinkovito sprječavanje negativnog utjecaja suše u suhom ratarenju (bez navodnjavanja) moguće je uz povećanje organske tvari, odnosno humusa u tlu, što baš i nije lako postići jer predstavlja trajan napor, ali je moguće

promjenom poljoprivredne prakse, odnosno primjenom agrotehničkih mjera koje će utjecati na povećanje humusa u tlu.

Povećanje sadržaja humusa u tlu puno je efikasnije od primjene *zeolita*, *hidrogelnih kristala* (koji mogu apsorbirati do 500 puta veću količinu vode od svoje mase) i drugih materijala koji povećavaju hidrofilnost tla. Naime, humus zadržava vodu u omjeru 1 : 2,6 do 1 : 6, te uz prosječan omjer 1 : 4 (najčešće je znatno veći) i uz sadržaj humusa u tlu od 2 % (~ 90.000 kg humusa po ha do dubine od 30 cm) zadržava u tlu ~360.000 kg vode ha⁻¹ (36 dm³ m⁻² ili 36 mm oborina po kvadratnom metru). Ako bi se povećala koncentracija humusa u tlu s 2 na 3 % (što je moguće postići promjenom poljoprivredne prakse, kao i održati tu razinu) dolazimo do 540.000 kg ha⁻¹ zadržane vode u tlu, odnosno ekvivalentu od 54 mm oborina (prosječno dva obroka navodnjavanja). Naravno, *retencija vode u tlu* ne ovisi samo o sadržaju humusa, već veoma i o njegovoj strukturi (zapremeni mikropora, odnosno kapilara). Kapacitet humoznog, strukturnog tla daleko je veći od navedene količine zadržane vode samo humusom, čak 5 - 10 puta. Dakle, porast sadržaja humusa u tlu značajno će umanjiti negativne efekte suše, ovisno o kemijsko-fizikalnim svojstvima tla, rasporedu oborina i potrebi usjeva za vodom u periodu suše.

U posljednje vrijeme vrlo su žustre rasprave o potrebi navodnjavanja (pogrešno je reći *natapanje*, jer je to samo vid navodnjavanja s površinskim dovodenjem i gravitacijskom raspodjelom vode po parceli). Koliko je štetno paušalno davati ocjene o potrebi navodnjavanja, pokazuje ovaj primjer:

Na području općine Belišće (Gat) izgrađen je sustav za navodnjavanje za 500 ha i u funkciji je već nekoliko godina. Njegova izgradnja koštala je gotovo 50 mil. kuna, odnosno 100.000 kn po hektaru, a jedan hektar zemljišta na tom području ima višestruko nižu cijenu od ulaganja u sustav za navodnjavanje, a trenutno se koristi tek na 5 % projektirane površine. Stoga, prije investicije u hidrotehničke zahvate, treba stručno i odgovorno elaborirati opravdanost takvog ulaganja i razmotriti neke od jeftinijih, ali učinkovitih agrotehničkih mjera.

U sprječavanju štetnih efekata od suše pomaže dobra, pravovremena i adekvatna obrada tla (*konzervacijska obrada*, *duboka zimska brazda* uz

njeno rano *zatvaranje*, *podrivanje* i *sprječavanje zbijanja* te formiranja nepropusnih slojeva za vodu, *uređenje tla*, npr. gusta *kanalska mreža* s vodom u kanalima, *terasiranje nagnutih terena*, *organska gnojidba*, *sideracija* (zelena gnojidba), *rotacija usjeva*, *sjetva pokrovnih usjeva*, *malčiranje*, *ranija sjetva proljetnih usjeva*, a kasnija ozimih i dr.). *Primarna obrada tla* iznimno povećava retencijski kapacitet tla za vodu, ali i omogućuje duboko prodiranje korijena do dubljih, vlažnijih slojeva tla, dok unos organske tvari poboljšava strukturu tla i omogućuje veći retencijski kapacitet tla za vodu.

Dobra praksa za očuvanje vode je obrada koja favorizira infiltraciju kiše u tlo, skladištenje vode u zoni korijena, sprječavanje površinskog otjecanja i kontrolu gubitaka evapotranspiracijom (iz tla i korovima). Međutim, rezultati agrotehnike ovise o fizikalno-kemijskim svojstvima tla, orografiji, klimi i vrsti oruđa koje se primjenjuje u obradi pa nema jedinstvene recepture kako očuvati vodu u tlu za period kad je biljkama najpotrebnija i postići visok prinos i u „*sušnim godinama*“. Važno je naglasiti da se dobra agrotehnika u prevenciji zaštite od suše najčešće znatno razlikuje od uobičajene prakse lokalnih poljoprivrednika te su prethodna ispitivanja u tom pravcu veoma važna i neophodna. Međutim, temeljna načela za očuvanje vode u tlu imaju opće značenje, bez obzira na veličinu farme, oruđa za obradu ili lokanih agroekoloških uvjeta.

Otpornost biljaka na nedostatak kisika

Cjelokupan metabolizam svih živih bića, kako energije tako i tvari, ovisi o atmosferskom kisiku s kojim živa tvar stupa u spontane (*egzergone*) reakcije pri čemu nastaje ATP (*adenozintrifosfat*), glavni izvor energije koji održava sintetske (*anaboličke*) aktivnosti, odnosno život. Oksidacija ugljikovih spojeva postiže se kroz kontrolirano i postupno enzimsko uklanjanje ugljikovog dioksida, protona i elektrona. Dakle, bez kisika nema razgradnje organske tvari, ali niti sinteze energijom bogatih spojeva koje biljke zatim koriste za održavanje cjelokupnog metabolizma u svim tkivima i organima.

Otpornost biljaka na nedostatak kisika (*anaerobioza* - nedostatak kisika, *anoksija* - odsustvo kisika, *hipoksija* - podoptimalna dostupnost kisika)

ovisi o biljnoj vrsti i sorti, uvjetima pod kojima raste i razvija se, temperaturi, trajanju anaerobioze te otpornosti organa koji se nalazi u anaerobnim uvjetima. Neke bakterije mogu razgrađivati organsku tvar i bez prisutnosti kisika (npr. redukcija sulfata, metanogene bakterije i dr.), ali se i velik broj viših biljka (*eukariota*) kroz evoluciju prilagodio anaerobnim uvjetima (močvarne biljke, biljke tundri, riža i dr.) u kojima čitav životni ciklus dobro uspijevaju, ili samo epizodno (npr. kod poplava, ispod snijega, pokorice itd.). Općenito, tolerantne vrste na anaerobiozu sposobne su u kratkom vremenu promijeniti svoj metabolizam te dobro podnose manjak kisika. Čak i vrste koje su netolerantne na anaerobiozu posjeduju neku vrstu otpornosti na kraći, odnosno sezonski nedostatak kisika.

U uvjetima *anaerobnog stresa* (poplava, ledena kora, pokorica i sl.) biljke različito reaguju na anaerobiozu. Npr., korijen riže bolje se razvija u uvjetima poplavljenosti, topola podnosi stajaću vodu samo neko vrijeme, dok joj anaerobioza uz protjecanje vode ne šteti itd. Veliki broj biljnih vrsta odumire nakon 5 - 10 dana poplavljenosti, a sjeme različitih vrsta, sorata i hibrida različito podnosi potapanje u vodu što ovisi o kemijsko-strukturnim svojstvima sjemena.

Od usjeva najmanje su na nedostatak kisika tolerantni krumpir, ozime žitarice i leguminoze. Većina usjeva neće klijati kad u tlu nema dovoljno kisika, a riža je izuzetak. Kod uzgoja krumpira, zbog njegove osjetljivosti na hipoksiju, tradicionalno se sadi plitko i zagrće u izdignute redove.

Anaerobni uvjeti mogu nastati iz više razloga, kao pogreške u agrotehnici, npr., zbijanje primjenom teških strojeva na vlažnom tlu, posebice teže teksture, formiranje tabana pluga ili tanjurače kod višekratne jednake dubine obrade i sl. Također, anaerobni uvjeti su česti nakon velike količine padalina i zasićenosti (*satracija*) tla vodom. Saturacija vodom česta je na neuređenim i zbijenim tlima bez dobre odvodnje što se manifestira „ležanjem“ vode na dijelu proizvodne parcele, poplavnim područjima, tlima koja imaju plitak vodonepropustan horizont, ispod pokorice i ledene pokorice i nekih tipova hidromorfni tala.

Zbijanje tla može se definirati kao povećanje njegove volumne gustoće (g cm^{-3}) i treba ga opravdano smatrati jednom od najvećih opasnosti za

plodnost tla, a primjenom odgovarajuće agrotehnike može se pak znatno ublažiti ili čak izbjeći. Rizik od pojave zbijenosti je u funkciji tipa tla, teksture, režima vlage i agrotehnike. Pojava zbijanja je neizbježna kad se vlažno tlo „gazi“ teškim strojevima, a može biti *plitko zbijanje* (npr. *taban pluga* i/ili *tanjurače*) i *dubinsko* na težim, glinastim tlima. Zbijanje tla jako utječe na pad njegove sposobnosti zadržavanja vode, budući da je raspoloživa voda tla jednaka umnošku razlike vode u tlu i točke uvenuća s dubinom korijena, npr. kod 25 % vode u tlu, točke uvenuća od 12 % (prosječna točka uvenuća za srednje teška tla) i dubine zakorjenjivanja od 30 cm tlo sadrži $(25 - 12) \times 30 = 390 \text{ dm}^3 \text{ m}^{-2}$ što odgovara količini od 390 mm oborina po kvadratnom metru. Na teškim glinastim tlima, količina raspoložive vode je pri istoj vlažnosti približno dvostruko niža.

Stupanj anaerobioze (manjak kisika) lako se utvrđuje elektrometrijskim mjerenjem *oksidoredukcije* u tlu (Eh), ali se problem manjka kisika može posredno utvrditi i mjerenjem volumne mase tla, zbijenosti tla *penetrometrom* (pa i običnom metalnom zašiljenom šipkom i procjenom sile za prodiranje u tlo do dubine najveće mase korijena, odnosno 35 - 70 cm), poroziteta tla, sadržaja vode u tlu i na druge načine. Također, s povećanjem temperature raste opasnost od nedostatka kisika jer se kisik bolje otapa u vodi na nižim temperaturama.

Ispiranjem kalcijevih iona u dublje slojeve izaziva kemijske i fizikalne promjene tla. Smatra se da ispiranje baza s adsorpcijskog kompleksa u tlu započinje kada je godišnja količina oborinskog taloga veća od 630 mm (granica je približno grad Osijek) pa kiselost tla općenito postupno raste od istoka prema zapadu Hrvatske. Proces zakišeljavanja je vrlo štetan (odmah je iza erozije po globalnim efektima degradacije tala) jer uzrokuje niz problema u ishrani bilja. U kiselim tlima, odnosno redukcijskim uvjetima, mineralno-koloidna frakcija tla podvrgnuta je dugotrajnom ispiranju slabim kiselinama (*huminska* i druge) te glina postupno prelazi u *glinene kiseline* koje se lako premještaju u dublje slojeve tla. Nakupljanje gline na određenoj dubini dovodi do stvaranja vodonepropusne zone uz sve izraženije uvjete za daljnju redukciju. U takvim okolnostima (pH <5,5) najčešće višak vodikovih iona (H⁺) na adsorpcijskom kompleksu tla aktivira

ione aluminija i željeza koji u većim količinama djeluju otrovno na biljke, blokiraju opskrbu fosforom i drugim elementima.

Tla zasićena vodom nisu nužno mokra cijelo vrijeme te se suvišak vode na poljoprivrednim površinama javlja tijekom određenih razdoblja u godini. Stoga gotovo sva *hidromorfna tla* imaju tipičnu morfologiju koja je posljedica izmjeničnog vlaženja i sušenja. Zasićenje tla vodom uzrokuje istiskivanje zraka iz pora što utječe na fizikalno-kemijske procese i mikrobiološku aktivnost, a rezultat je karakteristična morfologija (*redoksimorfološke značajke*) uz akumulaciju ili gubitak željeza, mangana, sumpora ili ugljičnih spojeva.

Anaerobioza je važan čimbenik u formiranju *stakleničkih plinova* (metana i dušikovog oksida) koja se redovito javlja na hidromorfnim tipovima tala. Emisija metana daleko je veća u odnosu na CO₂ te je uklanjanje suviška vode iz vlažnih tala dobra strategija za sprječavanje nastanka metana. Stoga se u posljednje vrijeme sve više razmatra uzgoj riže u suhom ratarenju, smanjenje ili ušteda vode u vegetaciji riže i dr. Prirodne močvare imaju slične anaerobne uvjete, ali i manju emisiju metana u odnosu na polja riže zbog većeg vezivanja CO₂ (*sekvestracija*), odnosno ugljika u tresetu.

Promjene u načinu korištenju zemljišta, posebice zadržavanje tla pod vegetacijom (sjetva dvije kulture, zimski pokrovni usjevi, međusjevi, živi malčevi, zatravljivanjem vinograda i voćnjaka itd.) također imaju važan utjecaj, jer biljni pokrov tla sprječava eroziju, održava i popravljiva strukturu tla uključujući i veći kapacitet za zrak, a filtrirana voda u tlima pod vegetacijom ne sadržava veliku količinu zagađivača (teški metali, nitrati, fosfati itd.). Također, uređenje zemljišta (kanalska mreža), drenaža, rahljenje i/ili razbijanje vodonepropusnih slojeva, poboljšanje strukture tla (humizacija, kalcizacija, siderati i dr.) važne su meliorativne i agrotehničke mjere u sprječavanju anaerobioze.

Otpornost biljaka prema suvišku vode i poplavama

Poplave i suvišak vode u tlu rezultiraju najčešće velikim štetama u biljnoj proizvodnji. Procjenjuje se da je privremenim ili trajnim poplavama te suvišku vode, diljem svijeta, izloženo ~72 % površine Zemlje. Budući da je

većina poljoprivrednih vrsta nisu prilagođene močvarnim uvjetima, poplave tla utječu na veliko smanjenje rasta biljaka i tvorbe prinosa.

Kad su tla tek privremeno potopljena, dolazi do velikih fizikalnih, često i kemijskih promjena u tlu koje mogu jako smanjiti prinos i kakvoću proizvoda. Uslijed suviška vode i/ili poplava javljaju se fiziološki poremećaji i oštećenja korijena biljaka, jer se nepotpuno oksidirani metabolički proizvodi akumuliraju do toksičnih razina pa korijen ne može usvojiti dovoljnu količinu hranjivih tvari. Naravno, poplave i suvišak vode jako djeluju i na mikroorganizme tla, ispiranje hraniva te nedostatak kisika u tlu.

Ubrzo nakon poplave, biljke pokazuju niz međusobno povezanih promjena metabolizma i fizioloških procesa. Prvo pada asimilacija CO_2 zbog zatvaranja puči što dovodi do slabog porasta (manja rate *neto fotosinteze*) ili potpunog zastoja u rastu biljaka. Naknadne promjene uključuju smanjenu sposobnost usvajanja vode i hraniva korijenom, smanjen, ponekad i povećan, unos mineralnih elemenata, promjene u koncentraciji hormona rasta, pojave *epinastije* (uvijanje lišća prema dolje), kloroza i konačno, gubitak lišća.

Gubitak dušika prevođenjem nitrata i nitrita u plinoviti dušik (*denitrifikacija*), ili njegovim ispiranjem, može dovesti do većeg gubitka nitrata iz tla tako da biljke mogu patiti od simptoma nedostatka dušika. Budući da kisik nije dostupan za oksidaciju NH_4^+ do NO_3^- u *anoksičnom sloju* tla (sloju bez kisika) pojačana je *amonifikacija*, a usporena ili čak zaustavljena *nitrifikacija*. Primjerice, kod kukuruza se u uvjetima suviška vode već nakon 2 - 3 dana javlja deficit dušika, a istraživanja pokazuju da sadržaj vlage u tlu od 20 do 50 % rezultira značajnim padom usvajanja N sojom.

Otpornost biljaka na fotooksidacijski stres

Od abiotskih faktora stresa suviše velika, ali i nedovoljna osvjetljenost značajno ograničavaju rast biljaka i tvorbu prinosa. Pod takvim nepovoljnim uvjetima za biljke javlja se tzv. *fotooksidacijski stres* u stanicama koji se manifestira nakupljanjem potencijalno *štetnih spojeva kisika (ROS)* u tkivima. *Fotooksidacijski stres* najčešće je posljedica apsorpcije viška

svjetlosne energije, ali se on može dogoditi i kod niske apsorpcije svjetlosne energije. Naime, kod dobre osvjetljenosti biljaka, ali u uvjetima niske temperature (posebice u zoni korijena), te nedostatka vode ili slabe ishranjenosti biljaka, česta je pojava fotooksidacijskog stresa.

Svjetlo je izvor energije za fotosintezu, ali je istovremeno i uzrok fotooksidacijskog stresa. Manje od 1 % od $1,3 \text{ kW m}^{-2}$ Sunčeve energije u fotosintetski aktivnom spektru, koja dopiye na Zemlju, apsorbiraju biljke i koriste za sintezu energetski bogatih biomolekula. Procjenjuje se kako je godišnja globalna fotosintetska produkcija 3×10^8 kJ kemijske energije, odnosno 2×10^{11} tona (200 milijardi tona) asimiliranog ugljika. Međutim, intenzitet fotosinteze po jedinici lisne površine znatno se razlikuje i specifičan je za različite biljne vrste i agroekološke, posebice klimatske, uvjete.

Većina biljaka ima fotosintetsku učinkovitost u rasponu od 0,1 % do 3 % i mogu se vrlo dobro adaptirati na širok raspon osvjetljenja. Biljke koje su zasjenjene (ili žive u hladu) razlikuju se morfološki i anatomski od biljaka koje su izravno osvjetljene. Naime, lišće biljka sjene sadrži više kloroplasta, manji broj puči, tanje je i nježnije u odnosu na biljke koje su prilagođene visokom intenzitetu svjetla. Ako biljku iz sjene prenesemo na sunce, ona će vrlo brzo formirati veći broj puči, a kloroplasti će se pomjeriti dublje u stanicama parenhima lista. također, vrlo često će se zbog osmotskih promjena izmijeniti i položaj lista prema Suncu (*paraheliotropizam*) kako bi lišće izbjeglo pretjerano izlaganje svjetlosti i toplini. Dakle, apsorpcija svjetlosti može se regulirati na razini tkiva i organela, ali i morfološkim, te anatomskim promjenama što najbolje pokazuje prisutnost simetričnih (*izobilateralnih*) i *dorzoventralnih* listova (različita „leđna“ od „trbušne“ strane), različita raspodjela fotosintetskih stanica, kao i gustoća i položaj kloroplasta u lišću.

Visoki, stresni intenzitet svjetlosti može izazvati *fotoinhibiciju*, *fotoaktivaciju*, *fotooštećenja* i *degradaciju fotosintetskih proteina* u biljnim stanicama.

Fotooksidacijski stres karakterizira tvorba *aktivnog kisika (ROS)* na što biljke imaju spreman odgovor, ali samo u određenoj mjeri. Naime, tijekom

životnog ciklusa biljke su redovito izložene različitim razinama osvjetljenja te su razvile nekoliko načina prilagodbe na promjenu intenziteta osvjetljenosti. To je prije svega fotosintetski aparat s regulatornim svojstvima i sposobnosti regeneracije koji može obavljati fotosintezu u različitim uvjetima osvjetljenosti.

Biljke su razvile tijekom evolucije i druge mehanizme zaštite od fotooksidacijskog šoka. Jedan od efikasnih načina zaštite su *fotoprotekcijski pigmenti* od kojih su najvažniji *karotenoidi* (*karoteni* i *ksantofili*; crveni i žuti pigmenti) u sprječavanju oštećenja visokim intenzitetima osvjetljenja. Čak i u uvjetima slabe osvjetljenosti, karotenoidi djeluju kao energetske antene, apsorbiraju plavi dio Sunčevog spektra i potpomažu fotosintezu. Osim karotenoida i ksantofila vrlo značajnu ulogu u zaštiti od fotooksidacijskog stresa imaju nefotosintetski pigmenti *flavonoidi* (žuti pigmenti) i s njima blisko povezani *antocijanini* (purpurni pigmenti) za koje je poznato da štite u vidljivim, ali i u UV području Sunčevog zračenja. Također, vitamin C (*askorbinska kiselina*) ima veoma važnu ulogu u sprječavanju različitih stresova, posebice fotooksidacijskog stresa.

Biljke su vrlo često izložene apsorpciji više svjetlosne energije nego što mogu iskoristiti za potrebe metabolizma. Suvišnu energiju moraju „raspršiti“ kako bi izbjegle fotooksidativni stres i oštećenje fotosintetskog aparata, koje se često manifestira *klorozom* ili „*brončanim lišćem*“. Stoga, u odgovoru na apsorpciju viška energije svjetlosti biljke moraju imati vrlo efikasne i raznovrsne mehanizme zaštite od fotooksidacije koji su regulirani s više gena i koristeći više signala za opasnosti od fotooksidacijskog stresa

Otpornost biljaka na mineralni ili nutritivni stres

Mnoge prirodne i poljoprivredne ekosustave karakterizira, ponekad visoka, pa i toksična dostupnost mineralnih hranjivih tvari, te se *mineralni stres* veoma često zapaža, npr. kao manjak P, niska ili visoka raspoloživost Ca, toksičnost Al i Mn itd. Svaki od tih stresova ima kompleksne, ali različite interakcije sa svojstvima tla i/ili klime, jednako kao i različite adaptacije biljaka na takve uvjete, npr., specifična morfologija i fiziologija korijena (arhitektura, izlučevine i dr.) te različite interakcije metabolizma s pojedinim elementima ishrane.

Premda su razlike u kemijskom sastavu biljaka velike, sve biljke zahtijevaju određenu (tzv. *kritičnu*) razinu hranjivih tvari za normalan rast i razvitak. Stoga je *nutritivni stres* vrlo složen fenomen povezan s agronomskim, ekološkim, fiziološkim, biokemijskim i molekularnim aspektom ishrane bilja. Nutritivni stres može se pojaviti kod niske, ali i visoke razine raspoloživih elemenata ishrane, pri čemu između pojedinih elemenata vladaju *antagonistički*, ali i *sinergistički odnosi*, npr. suvišak jednog elementa izaziva nedostatak drugog. Disbalans u usvajanju hranjivih tvari najčešće se primjećuju kao *vizualni simptomi nedostatka* pojedinog elementa, ali je u trenutku pojave, odnosno zapažanja već zasigurno smanjena visina prinosa. Stoga nedostatak elemenata treba unaprijed eliminirati, najbolje temeljem rezultata kemijske analize tla i/ili biljnih tkiva. Vizualni simptomi nedostatka elemenata ishrane posljedica su metaboličkih promjena u različitim fazama rasta i razvitka biljaka i ukazuju na stupanj ishranjenosti bilja.

Između korijena i rizosfere postoji vrlo čvrst i kooperativan odnos koji često rezultira i pravom simbiotskom povezanošću pri čemu *mikroorganizmi rizosfere* mogu biti *neinfektivni* ili *infektivni*. Obje vrste mikroorganizama utječu na mineralnu ishranu biljaka preko pojačane mobilizacije, odnosno mineralizacije ili utječu direktno na morfologiju i fiziologiju korijena povećavajući kapacitet usvajanja hraniva.

Na usvajanje hraniva snažno utječe i temperatura tla, kako izravno, odnosno mijenjanjem brzine rasta korijena, morfologije, kinetike i usvajanja, tako i posredno (brzina kemijske transformacije hraniva u tlu, mineralizacija, transport hraniva u tlu kretanje vode i difuzijom). Povećanje temperature ubrzava kemijske procese u tlu, utječe na sadržaj vode i pokretljivost hranjivih tvari u tlu uz istovremeni utjecaj na fiziološke mehanizme usvajanja hraniva, rast korijena i brojnost populacije zemljišnih mikroorganizama. Zapravo, gotovo svi procesi u tlu i biljkama ovise o temperaturi pa ona ima vrlo velik utjecaj na primarnu produktivnosti svih ekosustava bilo gdje na Zemlji.

Otpornost biljaka prema solima

Mora i slana jezera pokrivaju čak 71 % površine Zemlje, a oko četvrtine kopna je pod utjecajem povišenog sadržaja soli. Također, oko polovice svih postojećih sustava navodnjavanja pokazuju jasne znakove i posljedice *sekundarnog zaslanjivanja*, *alkalizacije* ili zadržavanja vode na površini tla, te se svake godine zbog nepovoljnog učinka navodnjavanja napusti ~10 mil. ha obradivih površina. Ukupne površine zaslanjenih tala (*halomorfna tla*) na Zemlji iznose ~830 mil. ha (~400 mil. ha zaslanjenih i ~430 mil. ha alkalnih). Od trenutačno 230 mil. ha navodnjavanih površina, čak 45 mil. ha su zaslanjena tla ili tla izložena sekundarnom zaslanjivanju (19,5 %), a od 1,5 milijardi ha u suhom ratarenju 32 mil. ha (2,1 %) je salinizirano do različitog stupnja, ovisno o intenzitetu antropogenizacije. Procijenjeno je da procesi *salinizacije* i/ili *alkalizacije* u svjetskim razmjerima svake minute odnesu oko 3 ha površina za proizvodnju hrane.

Alkalizacija je posljedica visoke koncentracije HCO_3^- (*bikarbonata*), CO_3^{2-} (*karbonata*) i visokog pH, dok slabiji utjecaj na alkalizaciju tla imaju hidroksidi (borni, amonijevi, fosfatni, silikatni i hidroksidi organskih baza). *Kloridi* (NaCl , CaCl_2 i MgCl_2), *sulfati* (Na_2SO_4 i MgSO_4), *nitriti* (NaNO_2 i KNO_2), *karbonati* i *bikarbonati* (Na_2CO_3 i NaHCO_3) glavni su uzroci zaslanjivanja tla.

Na prostoru Republike Hrvatske problem salinizacije i/ili alkalizacije je ograničen na područje istočne Slavonije i Baranje, dolinu Neretve te uski obalni pojas Dalmacije i otoka. Premda su slana i/ili alkalizirana tla uobičajena u aridnim i semiaridnim predjelima, u RH ima približno 10.000 ha zaslanjenih i/ili alkaliziranih oranica (~1,0 %) i to samo u Slavoniji i Baranji, te uz more (npr. ušće Neretve). Ipak, rizik od sekundarnog zaslanjivanja prisutan je na navodnjavanim površinama i u zaštićenim prostorima (plastenici i staklenici). Naime, u intenzivnoj ratarskoj proizvodnji, posebice plastenicima i staklenicima, može doći u kratkom roku do sekundarnog zaslanjivanja navodnjavanjem vodom koja sadrži previsoku količinu soli, ali i uporabom velikih količina mineralnih gnojiva.

Zaslanjena i alkalizirana tla pretežito su nepogodna, niske plodnosti, što najčešće rezultira niskim prinosima loše kakvoće hrane. Na *zaslanjenim tlima* dobro uspijevaju samo *halofitne biljke* (biljke koje dobro podnose

suvišak soli) na koje otpada tek ~2 % biljnih vrsta. Biološka prilagođenost *halofita* usmjerena je na regulaciju osmotskog tlaka te one usvajaju malo soli, ili ih pak akumuliraju u većim količinama u posebnim organima. Neke halofite posjeduju sposobnost izlučivanja soli posebnim žlijezdama ili korijenom, ili odbacuju lišće s velikom koncentracijom nakupljene soli. Zapravo, mehanizam obrane biljaka od suviška soli odvija se u dvije faze. U prvoj biljke nakon izlaganja suvišku soli vrlo brzo zaustavljaju rast (u nekoliko minuta) zbog brzog porasta osmotskog tlaka. Osmotski učinak odmah smanjuje sposobnost biljaka za apsorpcijom soli, a zatim dolazi do prestanka rasta lista dok se ne postigne stabilno stanje, što ovisi o koncentraciji soli izvan korijena. Druga faza je puno sporija i traje dulje, ponekad mjesecima i posljedica je akumulacije soli u lišću. Porast koncentracije soli u lišću ometa fotosintezu i lako može doseći smrtonosnu (*letalnu*) granicu.

Na tlima s visokom koncentracijom natrija, koja su zbog toga vrlo loših fizikalno-kemijskih svojstava (loša strukture i gotovo vodonepropusna), biljke se moraju boriti sa *solnim udarom* (*solnim stresom*), otežanim usvajanjem vode iz vlažnog tla i nedostatkom kisika (*anaerobioza*). U takvim uvjetima često propada korijen biljaka zbog napada patogena i slabe otpornosti biljaka, npr. na *fitoftoru*.

Solni stres je usko povezan s vodnim režimom biljaka (suša) i pojavom *osmotskog šoka* (npr. *solni udar* kod primjene velike doze mineralnih gnojiva u suho tlo i/ili u blizini sjemena ili korijena). Nastaju, kako morfološke i anatomske promjene (skraćen životni ciklus, *kseromorfizam*, povećan omjer korijen/izdanak i dr.), tako i fiziološki poremećaji povezani s održavanjem vodnih odnosa i fotosinteze.

Tolerancija na solni stres u duljem vremenskom razdoblju vrlo je kompleksan mehanizam koji obuhvaća morfološke, anatomske i fiziološke aspekte, a stupanj otpornosti biljnih vrsta prema solima određuje se pravcem biokemijskih reakcija i odnosom toksičnih i zaštitnih tvari.

Agronomski kriteriji procjene efekta solnog stresa odnose se na kriterije kao što su klijanje, preživljavanje, LAI ili indeks lisnatosti, veličina, oblik i boja lista, oštećenja biljaka u fazi rasta i formiranja prinosa. Porastom

površina zaslanjenih i alkaliziranih tala sve više se radi na razvoju novih i jednostavnijih metoda i modela koji omogućuju učinkovitiji uzgoj na takvim tlima.

Otpornost biljaka prema ekstremnim pH-vrijednostima

Među *edafskim čimbenicima* (fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla) koji drastično ograničavaju rast biljaka i tvorbu prinosa, ubraja se i pH tala (40 % svih svjetskih površina je kiselo, a 25 % alkalno). Naime, kemija tla snažno je povezana s njegovom pH reakcijom čije povećanje ili smanjenje uključuje mehanizme obrane biljaka od toksičnosti teških metala, viška bikarbonata, deficita ili suficita kalcija, mikroelemenata, niske raspoloživosti dušika i fosfora itd. Biljke koje rastu na alkalnim tlima proizvode veliku količinu organskih kiselina kako bi neutralizirale višak kalcija što trajno mijenja njihov metabolizam i ometa bitne fiziološke procese u stanicama.

Biljne vrste uspijevaju u širem rasponu pH tla, najčešće u granicama pH 4 - 8, a optimum za većinu biljnih vrsta je 5 - 6. Nepovoljne vrijednosti pH tla najviše utječu na korijen biljke (duljinu korijena, brojnost i anatomska građa korijenovih dlačica). pH tla uglavnom ne utječe na promjene pH staničnog soka biljaka, ali izaziva niz problema u raspoloživosti hraniva, odnosno opskrbljivanju biljaka dovoljnim količinama pojedinih elemenata.

Najviše problema nepovoljan pH izaziva pri usvajanju makroelemenata fosfora kojeg biljke zahtijevaju u velikim količinama. Npr., u kiselim tlima fosfor se veže s aluminijem i željezom u spojeve vrlo niske topljivosti, dok na alkalnim tlima nastaju spojevi fosfora s kalcijem i magnezijem umjereno teške topljivosti, pa i kad je ukupna količina fosfora u tlu visoka, biljke ga ne mogu usvojiti.

Biljke koje žive na alkalnim tlima stoga izlučuju korijenom anione organskih kiselina, najviše limunsku i jabučnu i razlažu fosfate do iona koje mogu usvojiti. Također, na alkalnim tlima vrlo čest je nedostatak željeza jer se ono u tlu nalazi u obliku iznimno slabo topljivog $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (*željezni-hidroksid*) te korijen pojačano luči organske kiseline s ciljem otapanja i *kelatizacije*

(izgradnje organometalnih kompleksnih spojeva) željeza i drugih teških kovina.

U tlima čiji je pH-H₂O <4,5 javlja se *fitotoksičnost iona aluminija* (označava se po konvenciji Al³⁺, a zapravo je u obliku Al(H₂O)₆³⁺) uz slab rast korijena i ozbiljne probleme oko usvajanja svih drugih biogenih elemenata. Mehanizam tolerancije na suvišak aluminija temelji se na unutarnjoj detoksikaciji Al tvorbom kompleksa s *ligandima*, odnosno organskim molekulama (*kelatizacija*).

Troposferski ozon

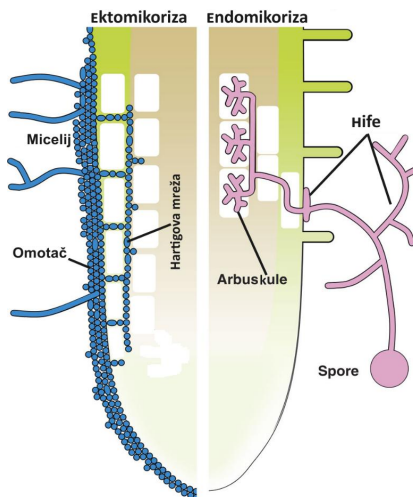
Premda je u Zemljinoj atmosferi na visini 20 - 50 km (*stratosfera*) relativno malo ozona (O₃ <0,001 % volumno), on je presudan za život na Zemlji jer apsorbira UV zračenje (UVB i UVC spektar, odnosno valne duljine <320 nm), pa bez ozona u stratosferi život na Zemlji ne bi bio moguć. Ozon (O₃) koji nastaje blizu površine tla kao posljedica reakcije dušikovih oksida (izgaranje fosilnih goriva, vulkani i dr.) i UV svjetla, može biti štetan za biljnu produkciju (tzv. *fotokemijski smog*), osobito u blizini velikih industrijskih postrojenja koja produciraju dušikove okside (NO_x).

Ozon je prirodni sastojak atmosfere u koncentraciji 20 do 160 µg m⁻³, ali u blizini većih gradova i industrijskih pogona može biti veći od 300 µg m⁻³. Tako visoka razina O₃ može znatno smanjiti prinose brojnih usjeva. Ozon ulazi kroz puči u list biljaka što neizbježno povećava produkciju reaktivnih oblika kisika (*ROS*), vodikovog peroksida i hidroksilnih radikala. Budući da je ozon vrlo snažan oksidans, mnogo snažniji od običnog kisika (O₂), a uz to i vrlo je nestabilan, polovica se njegovih molekula raspadne u ½ h.

Troposferski ozon lako reagira s drugim molekulama, oštećuje površinska tkiva biljaka i životinja te štetno djeluje na ljude (iritira očnu sluznicu, grlo, nos i dišne puteve, a u velikim koncentracijama može biti smrtonosan). Simptomi djelovanja troposferskog ozona zapažaju se na biljkama kao ubrzano starenje lišća (*senescencija*), tamne mrlje promjera 2 - 4 mm na površini lišća, *kloroza* pa i *nekroza*, odnosno odumiranje lišća. Kod koncentracije od 200 µg m⁻³ O₃ dolazi do značajnog pada prinosa, čak do 50 %.

Mikoriza

Mikoriza je *mutualistička simbioza* (uzajamno koristan suživot) korijena biljaka i gljiva). Razlikuju se dva osnovna tipa mikoriza: *endomikoriza* i *ektomikoriza*. *Endomikoriza*, ili tzv. *vezikularno-arbuskularna mikoriza*, vrlo je česta u prirodi te ju podržava 95 % biljaka. Tom tipu mikorize pripadaju gljive čije *hife* (tanke hranidbene niti) prodiru u pojedine stanice korijena (Slika 20. lijevo) gdje stvaraju različite strukture sudjelujući u izmjeni hraniva između gljive i biljke. Kod rjeđe *ektomikorize* (Slika 20. desno) hife gljiva prodiru u međustanične prostore kore korijena i obavijaju stanice korijena (tzv. *fungalna futrola* ili *Hartigova mreža*). Ektomikoriza je prisutna kod drvenastih kultura, dok je endomikoriza prisutna kod gotovo svih zeljastih *kritosjemenjača* (*cvjetnjače*; *angiospermae*).



Slika 20. Ekto i endomikoriza

Brojna istraživanja pokazala su da mikoriza umanjuje efekte stresa biljaka, iako su temeljni molekularni mehanizmi još uvijek nepoznati. Kolonizacija korijena ektomikoriznim gljivama poboljšava usvajanje vode i hranjivih tvari iz tla i ubrzava rast biljaka. Općenito se smatra da mikoriza aktivira gene i signalne puteve biljnog stresa i povećava tolerantnost biljaka na abiotске stresove.

Biljna imunologija i otpornost na bolesti i štetočine

Biljke su neprekidno izložene patogenim mikroorganizmima i štetnim insektima, kao i drugim napadima, npr. biljojedi (*herbivori* - stoka, životinje i dr.), te su tijekom evolucijskog razvitka preživjele samo one koje su dobro

prilagođene. Dakle, biljke su razvile veoma učinkovite i razvijene mehanizme obrane uključujući *imunološki sustav* za prepoznavanje bolesti, prijenos alarmnog signala kod napada i brzo aktiviranje učinkovitih odgovora obrane koji ograničavaju infekcije. Nažalost, *patogeni* imaju različite strategije, koje neprestano unapređuju kako bi uzrokovali oboljenje biljaka sabotirajući njihov imunološki sustav.

Insekti i patogeni mikroorganizmi (endo i ektoparaziti) neprestano se prilagođavaju biljkama domaćinima u biokemijskom, fiziološkom i morfološkom pogledu, pa su često potpuno specijalizirani za pojedine biljne vrste, ponekad i kultivare. Biljke su vremenom razvile tzv. *sistemska otpornost* na *patogene* koja se temelji na sedam porodica proteina iz grupe *fitoaleksina* ili *fitoncida* (kemijske obrambene tvari, npr. *pizatin* u grašku, *capsidiol* u paprici, *resveratrol* u vinovoj lozi itd.) s izraženim antimikrobijskim djelovanjem. Sistemska otpornost nije uvijek efikasna jer inducira otpornost (*rezistentnost*) patogenih mikroorganizama kroz njihov proces prilagođavanja (*adaptacije*). Suvremena istraživanja pokazuju da biljke, pored kemijskog odgovora pomoću fitoaleksina, posjeduju i imunološke mehanizme *inducirane sistemske otpornosti* koji pružaju zaštitu u duljem vremenskom periodu i djeluju slično cijepljenju u humanoj medicini. Otpornost biljaka na infekcije patogenima i pojavu biljnih bolesti proučava posebna znanstvena disciplina *fitopatologija* (dio *patobiologije*).

Velika uporaba *pesticida* u biljnoj proizvodnji postupno je postala značajan limitirajući čimbenik porasta produktivnosti, profitabilnosti i konkurentnosti u proizvodnji hrane. Premda se bez pesticida ne može zamisliti moderna poljoprivreda i proizvodnja dovoljne količine hrane, njihova primjena može negativno utjecati na okoliš, zdravlje i kvalitetu života, a proizvodnja novih generacije pesticida na koje patogeni još nisu rezistentni postaje sve teža i skuplja. Zbog opasnosti za okoliš i zdravlje ljudi mnogi su pesticidi uklonjeni s tržišta ili se mogu koristiti samo pod određenim uvjetima. Potrošači su sve zabrinutiji zbog pesticida i njihovih ostataka (*rezidua*) u hrani, a sve je veći otpor prema suvremenoj biotehnologiji, kao i korištenju *transgenih biljaka*.

Suština *imunizacije biljaka* je regulacija ekspresije gena za obranu od patogena. Radi se zapravo o istim mehanizmima otpornosti kod tolerantnih

i imuniziranih biljaka, pa efekt *cijepljenja* (*inducirana otpornost*) traje čitav vegetacijski period. Cijepljenje pruža zaštitu protiv širokog spektra patogena, uključujući viruse, bakterije i gljivice, a ne zahtijeva uvođenje stranih gena. Također, važno je naglasiti kako pesticidi nisu učinkoviti protiv većeg broja biljnih bolesti izazvanih virusima i bakterijama. Također, imunizacija signalnim spojevima za napad pojedinih patogena, ili spojevima koji otpuštaju takve signale, sustavno štiti biljke protiv bolesti uzrokovane različitim uzročnicima. Cijepljenje je moguće izvesti *inokulacijom* oslabljenih patogena (slično vakcinaciji u humanoj medicini) nekim nepatogenim tvarima, ili tvarima koje kao signal obrambenog mehanizma proizvode već cijepljene biljke, a može djelovati lokalno i sistemski.

Induciranu rezistentnost na pojavu mnogih biljnih bolesti može se postići simbiotskim vrstama mikroorganizama koji biljku domaćina štite sistemski od pojedinih bolesti. Npr. simbioza između korijena ječma i endofitske bazidiomicete *Piriformospora indica* daje sistemsku otpornost na razne patogene korijena i lista ječma (*Fusarium culmorum* i *Blumeria graminis f. sp. hordei*). Iskušano je niz korisnih bakterija za imunizaciju biljaka, npr. korištene su vrste rodova *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium* i dr. za indukciju sistemske otpornosti. Od simbiotskih gljiva istraživani su, pored *Piriformospora indica* i *Trichoderma asperellum*, *Glomus intraradices* i dr.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je imunizacija biljaka efikasna metoda za obranu od bolesti, ali vrlo složena i slojevita jer zahtijeva sintezu antimikrobnih spojeva i barijera za patogene, kao i obrambenih spojeva iz grupe *fitoaleksina*, različitih enzima i dr. Budući je fotosinteza temeljna funkcija viših biljaka, najveće štete oboljele biljke trpe upravo njenim poremećajima koji se lako zapažaju jer se manifestiraju *klorozom* (žućenje lišća) i *nekrozom* (propadanjem tkiva, prije svega lišća). Smanjenje intenziteta fotosinteze brzo se zapaža nakon infekcije biljaka patogenima jer ubrzo dolazi do problema s transportom vode i hraniva iz korijena, a zatim dolazi i do poremećaja u disanju.

Biljke se brane od napada štetnih organizama na više različitih načina:

- *Preventivnim strukturalnim promjenama* (površinske voštane prevlake, promjene u strukturi epiderme, debljini staničnog zida, dlačice itd.),

- *Histološkim promjenama* (plutane presvlake, formiranje prekidnog sloja za odbacivanje, tzv. *apciziju* lišća ili plodova, formiranjem „krasta“, *kaloznih*, polisaharidnih zadebljanja i čepova i dr.),
- *Preventivnim kemijskim tvarima* (različite fenolne komponente kao zaštita od infekcije). Npr., crvena boja lišća je najčešće posljedica oksidacije fenolnih komponenti, protokatehične kiseline, lektina koji specifično veže ugljikohidrate i imobilizira parazite itd.,
- *Smanjenom sintezom esencijalnih tvari patogena* (specifičnih proteina, ugljikohidrata i dr.) bez koji oni ne mogu preživjeti i na druge načine.

Fenomen *biljne imunološke reakcije* temelji se na postojanju *receptora infekcije (elicitori)*, sinteze *signalnih tvari* čiju sintezu iniciraju patogeni nakon penetracije u pojedine biljne organe, *prijenosa signala* i biljnog odgovora nakon aktiviranja gena za odgovarajuće sinteze. Istraživanja pokazuju da je *salicilna kiselina* česta *endogena signalna komponenta* imunizacije biljaka kod napada virusa, bakterija i gljivičnih patogena. Međutim, mehanizam signalizacije imunološkog odgovora je višeslojan te *stanični signal* aktivira transkripciju gena za sintezu *fitoaleksina*. *Lokalni signal* aktivira periferijsku (lokalnu) obranu tzv. *hipersenzibilnost* koja omogućuje nastanak *lezije* (mrtvog tkiva kao barijere daljnjoj infekciji), a *sistemska signal* omogućuje obranu u udaljenim dijelovima biljke.

Biljke sintetiziraju preko 10.000 spojeva koji imaju *atraktivno* (privlačno) ili *repelentno* (odbijajuće) djelovanje. Npr., *nikotin* kod duhana, *zaštitni proteini* (rajčica, soja, krumpir) koji blokiraju rad probavnih enzima, zatim *farnesen* (divlji krumpir) odbija insekte kao i brojni drugi *alkaloidi* i *terpeni* (*digitoksin*, *atropin* i dr.) itd. Radi zaštite od insekata mnogi plodovi i sjemenje sadrže otrovne tvari, npr. *amigdalini* (*vitamin B₁₇*) koji sadrži vrlo otrovni hidrocijanid (HCN). Hren (*Armoracia lappathifolia*) na mjestu povrede sintetizira otrovni plin *ugljični dioksisulfid*, krizantema sintetizira 6 vrsta *piretrina* (insekticidno djelovanje) koji utječu na nervni sustav insekata, dok rajčica (*Lycopersicon hirsutum*) sintetizira kao zaštitnu tvar insekticid *2-tridekanon*.

Poznavanje odbijajućeg mehanizma biljaka (*repelencija*) već danas omogućuje sintezu spojeva koji su često efikasniji od prirodnih tvari u zaštiti

usjeva. *Repelentni* i *atraktantni* utjecaj biljaka na štetne insekte može biti povezan s oblikom, bojom i anatomsko-morfološkim svojstvima biljaka, odnosno njihovih organa (bodlje, trnje) te nizom kemijskih spojeva, koje sadrže biljke, različitog djelovanja. Primjerice, tijekom rasta i razvitka biljaka dolazi do sukcesivne promjene svojstava tvari koji služe kao glavni energetski izvor insektima te pojedine vrste štetnih insekata imaju na raspolaganju samo ograničeno vrijeme u kojem mogu učiniti štetu. Veliki značaj u obrani biljaka od insekata imaju biljni *proteolitski* i *karbolitski* enzimi koji razlažu bjelančevine i šećere tijela insekata.

Poznat je vrlo veliki broj biljnih vrsta koje su razvile vrlo uspješan mehanizam otpornosti prema štetnim insektima, npr. *mrave* odbijaju metvica i buhač, *afide* (lisne uši) metvica, bijeli luk, korijander i anis, *tripse* odbija kadifca itd. Obrana biljaka od *herbivora* (biljojednih ptica i sisavaca) temelji se na prisutnosti različitih kemijskih spojeva, najčešće *antranilata* i *acetofenona* koja djeluju na centralni nervni sustav životinja. Neke biljke sintetiziraju i *antibiotike* te su otporne na mikroorganizme, dok druge otpornost stječu sintezom kristalnih tvari (*oksalati* i *silikati*) koje oštećuju usni aparat insekata i otežavaju probavu biljne tvari insektima.

Također, biljke mogu sintetizirati hormone insekata koji utječu na rast i razmnožavanje insekata (ličinke prelaze u *imago* ili on postaje sterilan) ili pak sintetiziraju tvari koje blokiraju rad nekih hormona kod insekata (npr., patuljaste ličinke krumpirove zlatice čije se gusjenice prevlače slojem hitina koji praktički onemogućava ishranu takvih jedinki). Ove pojave sve se više koriste u *fitofarmaciji* jer nisu toksične za ljude i ne nakupljaju se u masnom tkivu čovjeka kao neki insekticidi.

Odnos štetočine i domaćina mogu se poremetiti, a time i smanjiti otpornost biljaka, jer na njega utječu neki agrotehnički zahvati, npr. veća doza dušika pogoduje razvoju lisnih uši, navodnjavanje pogoduje napadu sovice, uništavanje korova primorava insekte da polažu jajašca na usjev itd.

Gnojdba

Gnojdba je agrotehnička mjera koja izrazito povećava plodnost tla i produktivnost uloženog rada u poljoprivrednoj proizvodnji. Budući da u sastav biljaka ulazi čitav niz elemenata koje biljke usvajaju iz tla ili atmosfere, a pojedini koje biljke zahtijevaju u velikim količinama nema dovoljno u tlu, posebice dušika, fosfora i kalija, gnojdba je neizostavna agrotehnička mjera od prvorazrednog značenja. Mnogi hranjivi elementi vraćaju se prirodnim procesima i ciklusima u tlo, ali znatan ih se dio odnosi žetvom, dok se jedan dio ispire ili promijeni u nepristupačne oblike za biljke. Ako se tako izgubljeni dio biljnih hraniva iz tla ne nadoknađuje, tlo siromaši i prinos opada.

Iz ukupnih rezervi tla, koje su višestruko veće od potrebe biljaka, jedan dio hraniva se neprekidno mijenja u oblike povoljne za ishranu bilja (*mobilizacija hraniva*), ali se u pravilu taj proces odvija znatno sporije od gubitaka i odnošenja urodom, pa je gnojdba najvažniji agrotehnička mjera za osiguranje visokih i stabilnih prinosa uz očuvanje efektivne plodnosti tla. Gnojdbu stoga treba smatrati investicijom u biljnu proizvodnju, nipošto troškom.

Filozofija ili strategija gnojdbje može se razmatrati iz više različitih aspekata, ali osnovna su samo četiri:

1. *Gnojdba tla,*
2. *Gnojdba biljaka,*
3. *Gnojdba tla i biljaka i*
4. *Bez gnojdbje.*

Posljednja strategija česta je u situacijama kad je zemljište iznajmljeno na kratak rok, kad je cijena proizvoda mala, a gnojiva visoka, kad je nesređeno tržište (uvoz jeftine hrane, dampinške cijene koje ne pokrivaju troškove proizvodnje, suviše velike zalihe itd.), dugi rokovi plaćanja proizvoda i sl. Međutim, kako god bila teška ekonomska situacija, proizvođači moraju biti svjesni da bez gnojdbje gube velik dio profita jer, prema široko prihvaćenim

spoznajama, gnojidba je odgovorna za 30 do 50 % povećanja prinosa, veoma često i više od toga.

Učinkovita gnojidba temelji se na poznavanju stanja plodnosti tla te uvažavanju agroekoloških, ekonomskih i agrotehničkih mjera u uzgoju bilja. Za takav pristup preduvjet je učinkovit sustav kontrole plodnosti tla koji podrazumijeva prikupljanje svih relevantnih fizikalno-kemijskih podataka o tlu i njegovom korištenju s ciljem optimalne primjene mineralnih i organskih gnojiva, uklanjanja faktora ograničenja biljne proizvodnje, kemijske i fizikalne popravke tla, ekonomičnije proizvodnje hrane, odnosno očuvanja i podizanja *efektivne plodnosti tla*. Primjenom sustavne kontrole plodnosti tla prirodi su viši, stabilniji i manje podložni promjenama uslijed različitih vremenskih prilika, što je ključ za dobivanje visokih prinosa uz racionalnu primjenu gnojiva i zaštitu okoliša.

Kontrola plodnosti tla

Sustav kontrole plodnosti tla uključuje sve relevantne *indikatore biljne produkcije* i obuhvaća niz *agroloških* (agrotehničkih, fizikalno-kemijsko-bioloških i dr.) svojstava tla kao i neke druge važne aspekte biljne proizvodnje (npr. sociološko-ekonomski i tehničko-tehnološki aspekti), a čine ga:

- 1) Uzimanje uzoraka tla,
- 2) Laboratorijske kemijsko-fizikalne analize tla i
- 3) Tumačenje rezultata analize, odnosno izrada gnojidbenih i agrotehničkih preporuka.

Kemijska analiza tla zakonska je obveza u RH (Zakon o poljoprivrednom zemljištu; N.N. broj 39/13, Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta; N.N. broj 43/14), ali samo na zakupljenom državnom zemljištu u integriranoj biljnoj proizvodnji (npr. Tehnološke upute za integriranu proizvodnju ratarskih kultura) U ekološkoj (organskoj) proizvodnji hrane provedba kemijskih analiza tla obvezna je tek onda ako inspekcijski nadzor to i zahtijeva (Zakon o provedbi EZ 834/2007 o ekološkoj proizvodnji i označavanju proizvoda). Nažalost, veliki dio proizvođača još

uvijek nema osnovne informacije o tome zašto je kontrola plodnosti tla važna, kako i kada se moraju uključiti u sustav kontrole plodnosti, koje institucije to rade, gdje se obavljaju analize ili kako dobiti pouzdanu preporuku za gnojidbu, kao i druge agrotehničke savjete.

Najveći problem kod uvođenja sustava kontrole plodnosti predstavlja činjenica da proizvođači vrlo često žele samo zadovoljiti formu, dati tlo na analizu i dobiti preporuku kako bi ostvarili poticaje ili druge subvencije, jer ih ne razumiju, pa onda niti uvažavaju. Stoga je neophodno poljoprivredne proizvođače uvjeriti u korist od kontrole plodnosti, a to je moguće samo ako primjenom gnojidbene preporuke ostvaruju veći prinos i bolju kakvoću proizvoda i uz veću profitabilnost. Iskustva razvijenih zemalja pokazuju kako proizvođači postaju u duljem vremenu svjesni potrebe kontrole plodnosti tla, a taj proces se znatno ubrzava kad država striktno i odgovorno nadzire ekološko opterećenje okoliša, ali i pomaže putem savjetodavne službe, različitim publikacijama i tehnološkim uputama, većim angažiranjem javnih znanstveno-istraživačkih institucija, savjetovanjima, radionicama itd.

Plodnost tla

Plodnost tla je koncept razvijen da bi se opisala korisnost, ali i „*zdravlje tla*“, jer je to od najveće važnosti za produktivnost poljoprivrednih, kao i prirodnih ekoloških sustava. Tako osmišljen koncept uključuje poznavanje više različitih indikatora (pokazatelja) od kojih se neki ne mogu izravno mjeriti, pa se u praksi primjenjuje niz prilično različitih definicija plodnosti tla, odnosno njegovog zdravlja. Naime, regionalne razlike u svojstvima tla, klimi i poljoprivrednoj praksi toliko su velike da se niti jedan skup značajki tla ne može usvojiti kao opća kvantifikacija plodnosti tla. Budući da je nemoguće jednoznačno definirati plodnost tla, ona se mora posebno utvrditi za svako agroekološko područje (tip tla, klimu, biljnu vrstu, kultivar, način uporabe tla itd.). Također, plodnost tla mora obuhvatiti njegova biološka (biogenost tla) i ekonomska svojstva, odnosno isplativost proizvodnje.

Biogenost tla često se pojednostavljuje i svodi samo na njegovu *bioraznolikost* (npr., nova strategija EU), a da pritom nije razvijena pouzdana metodologija za mjerenje bioloških čimbenika, niti njena interpretacija, osim jednostavnih procjena (npr. broj gujavica, populacija i brojnost mikroorganizama, disanje tla i sl.). Poseban i vrlo složen problem je definiranje plodnosti tla u smislu isplativosti (profitabilnosti) određene proizvodnje koji je velikim dijelom u domeni ekonomsko-socijalnog okruženja i nadasve politike.

Plodnost tla često se izjednačava s *poljoprivrednom produktivnosti* što nije posve točno jer se produktivnost može znatno razlikovati od plodnosti tla obzirom na sustav proizvodnje i razinu agrotehnike. Plodnost tla se stoga najčešće definira kao potencijal tla za obavljanje njegove ekološke funkcije, npr. za održavanje biološke produktivnosti, raspodjelu i regulaciju kretanja vode u ekosustavu itd. *Vrednovanje* ili *kvantifikacija plodnosti tla* znatno se mijenjala kroz povijest. Premda su neki od tradicionalnih načina još uvijek široko primjenjivani, oni su *kvalitativni* (nemjerljivi; opisnog značenja), time i *anakroni (zastarjeli)*, jer se ne mogu pouzdano uspoređivati, statistički i ekonomski analizirati, uključiti u geoprostornu analizu GIS alatima i sl.

Budućnost *kvantifikacije plodnosti tla* (mjerljive, brojčano izražene vrijednosti), odnosno njegove *pogodnosti za različite poljoprivredne namjene*, leži u suvremenim, kompjutoriziranim sustavima kao što su *ekspertni sustavi, fuzzy metodologije, modeli neuralnih mreža, različiti simulacijski modeli*, odnosno automatizirani kompjutorski programi podržani bazama podataka o zemljištu, klimi, usjevima, orografiji, agrotehnici itd., i naravno GIS-om.

Suvremena metodologija omogućuje niz analitičkih postupaka nad prostornim podacima, npr. kombiniranje različitih skupina informacija putem slojeva, agregaciju sličnih svojstava zemljišta, interpolaciju za širi prostor na temelju postojećih vrijednosti i dr. Također, digitalne satelitske snimke mogu se ugraditi izravno u prikaz zemljišne pogodnosti pa je ovakva tehnologija preduvjet za upravljanje velikim brojem informacija. Također, *geostatistička prostorna analiza* omogućuje da se na temelju relativno malog broja, ali dobro raspoređenih analiziranih uzoraka tla, predvidi prostorni raspored istraživanih svojstava zemljišta metodama

geostatističke *vizualizacije* (grafički prikaz 2D ili 3D slikom, kartom, grafikonom) i/ili *predikcije* (predviđanje).

Buduće promjene u korištenju zemljišta, kao i razvoj upravljačke prakse, mora se temeljiti na rezultatima procjene produktivnosti i svojstava zemljišta kako bi se utvrdila pogodnost, ali i ranjivost zemljišnih resursa. U tom smislu jasno je kako brzi razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija predstavlja moćan alat za obradu velikog broja podataka, uključujući i nove izvore, npr. satelitske snimke, digitalne modele reljefa, vegetaciju, pedološke i agrokemijske karte, mogućnost navodnjavanja, obrade, klimatske značajke i dr.

Korištenje zemljišta je dinamičan proces te njegovo vrednovanje mora uključiti i buduće promjene, posebice očekivanu veću učinkovitost produkcije hrane. Također, potrebno je omogućiti bolju identifikaciju potencijalno kritičnih ili ranjivih područja koja su ograničeno produktivna, izradu detaljnih karata zemljišne pogodnosti za različite tipove korištenja, ali i redovito ažuriranje različitih skupova podataka.

Prihvatanje i prakticiranje *koncepta zemljište* je od osobite važnosti jer je zemljište znatno širi pojam i obuhvaća osim tla, vegetaciju, hidrologiju, fiziografiju, infrastrukturu, klimu i dr. Naime, samo male jedinice zemljišta su ujednačene (*homogene*) u svim aspektima. Ipak, za pouzdanu analizu i procjenu proizvodne pogodnosti zemljišta presudno je koliko neujednačenost parcele (ili šireg proizvodnog prostora) utječe na *kapacitet produktivnosti* pod određenim uvjetima njegove uporabe. *Dakle, koncept zemljište nije samo fokusiran na agrološke (biološko-ekološke, odnosno agronomske) aspekte biljne proizvodnje (tlo, klima, biljka i agrotehnika), već smatra jednako važnim i ostale aspekte korištenja zemljišta kao što su sociološko-ekonomski i tehničko-tehnološki.*

Kako je plodnost tla zapravo njegova sposobnost da osigura potrebnu hranu biljkama kad ju trebaju i to u adekvatnim količinama i pogodnim proporcijama, to je vrlo složeno i ujedno najvažnije svojstvo tla koje nije moguće apsolutno odrediti (*kvantificirati*). Kako se niti zdravlje čovjeka ne može apsolutno utvrditi, pojam *kvalitetno* ili *plodno tlo* odgovara ljudskom poimanju zdravlja te se umjesto plodnosti u znanstveno-stručnoj sredini

sve češće definira i primjenjuje izraz *pogodnost tla*, a u proizvođačkom (farmerskom) miljeu *zdravlje tla*.

Znanstvena procjena produktivnosti tla temelji se na utvrđivanju indikatora plodnosti koji moraju biti osjetljivi, pouzdani, reproducibilni i dobro detektirati promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava i procesa u tlu te njihove interakcije pa *stvarna produktivnost tla zavisí i od motiviranosti proizvođača za proizvodni rizik, o njihovom znanju, od potreba tržišta, ekonomske politike države te socijalne i kulturne tradicije*. Zato dobra procjena proizvodnog potencijala nekog tla uključuje, ne samo agroekološka svojstva, već i kvantifikaciju načina njegove uporabe.

Utvrđivanje plodnosti tla

U različitim sustavim kontrole plodnosti tla za utvrđivanje raspoloživosti hraniva koristi se niz laboratorijskih, biokemijskih, mikrobioloških, poljskih i drugih metoda. Međutim, svaki uređeni sustav kontrole plodnosti zemljišta pretpostavlja primjenu standardnih metoda za utvrđivanje plodnosti s poznatim *graničnim vrijednostima, rangovima, indeksima* ili striktno definiranim *skor funkcijama*. Budući da plodnost tla određuje niz *indikatora* (pokazatelji) čiji je utjecaj promjenjiv u vremenu i prostoru, ili se često ne može pouzdano ocijeniti, rezultati kemijske analize tla tumače se posredno pomoću *klasa opskrbljenosti* ili u novije vrijeme *skor funkcija*, uz približno, ali pouzdano predviđanje učinka gnojidbe. Stoga je stanje hraniva u tlu i drugih indikatora plodnosti potrebno procjenjivati svakih nekoliko godina.

Granične vrijednosti raspoloživosti hraniva treba shvatiti kao referentne (standardne) vrijednosti koje za različite produkcijske sustave (šume, travnjaci, usjevi, trajni nasadi, povrće i dr.) imaju različitu i orijentacijsku vrijednost u procjeni kapaciteta produkcije s obzirom na primijenjenu razinu i tip proizvodnje (intenzitet agrotehnike), agroekološke, ekonomske i druge uvjete. To je osnovni razlog zašto se potreba u gnojidbi uglavnom ograničava na procjenu *efektivne plodnosti*, a da se pri tome ne uzima u obzir i ostale aspekte produktivnosti zemljišta koji su često jednako važni. Dakle, referentne vrijednosti su na neki način standard s primjenom za specifične i konkretne uvjete proizvodnje, pa kontrola plodnosti zemljišta

isključuje *šablonizirane recepture* gnojidbe kojima se generalno, često nepouzdana i pogrešno utvrđuje potreba za gnojidbom.

Definicija plodnosti tla zahtijeva više vrijednosnih sudova jer je to složeno svojstvo, odnosno sposobnost tla da funkcionira u odnosu na njegovu specifičnu uporabu. Ocjenjivanje plodnosti tla s aspekta visine prinosa je svakako dobar put u optimiziranju prakse korištenja tla kako bi se održala ili povećala proizvodnja hrane. Ovakav stav je u skladu sa starijim poimanjem *zemljišne kakvoće*. Međutim, odnos između široko definiranih funkcija tla i njegovih različitih namjena ne može se potpuno razriješiti, premda se većina znanstvenika slaže da je plodnost tla iznimno koristan koncept.

Pojam plodnost tla uglavnom se primjenjuje u praksi na poljoprivredno zemljište uz specifične lokalne ili regionalne skale graničnih vrijednosti pojedinih *indikatora* (pokazatelja). Najsveobuhvatnija definicija plodnosti tla data je od strane *Soil Science Society of America*: "*Kapacitet specifičnih funkcija tla unutar prirodnog ili ograničeno uređenog ekosustava koji podržava biljnu i animalnu produkciju, održava ili povećava kvaliteta vode i zraka i potpomaže zdravlje i stanovanje ljudi*". Naravno, postoji i niz drugih definicije plodnosti tla, što je razumljivo, jer su zemljišni resursi danas u centru pažnje svake odgovorne države.

Premda su plodnost tla i njegova produktivnost usko povezani, temeljni problem dobre procjene produktivnosti zemljišta je kako prikazati plodnost (kakvoću) tla i istovremeno njegove nedostatke. Zbog toga je najbolje smatrati ključnim atributom potrebu biljaka, odnosno njihove minimalni zahtjeve (svjetlost, toplina, voda, hraniva i dr.), a tek onda potrebnu razinu tehnologije, posebice kad su moguća dodatna ulaganja. Nadalje, i drugi činitelji mogu biti vrlo značajni, npr. visoka tržišna cijena, otkup proizvoda, mogućnost skladištenja i dr. Stoga kakvoća tla i zahtjevi za njegovim korištenjem moraju biti mjerljivi što nije uvijek lako i posve točno utvrditi.

Kontrola plodnosti tla osnovni je preduvjet za održivo upravljanje zemljištem (*Sustainable Land Management* ili *SLM*) i strateška komponenta održivog razvoja. Kako je naša biljna proizvodnja još uvijek pretežito primarnog karaktera, kakvoća života i mogućnost ekonomskog razvoja

poljoprivrednih proizvođača izravno je povezana s plodnosti tla i veličinom zemljišnih resursa. Stoga je rast proizvodnje hrane, uz zadržavanje i povećanje ekoloških funkcija zemljišta moguć, ali samo ako se zemljišni resursi koriste na odgovarajući način, a za takav odgovoran pristup potrebno je znanje, ali i učinkovit nadzor.

Bez kemijske analize tla i uređenog sustava kontrole plodnosti zemljišta nemoguće je pouzdano utvrditi potrebu gnojidbe i *kondicioniranja* (popravak) tla, ili pak primijeniti adekvatnu, odnosno učinkovitu i ekonomičnu razinu agrotehnike. Naravno, široka i/ili obvezna primjena sustava kontrole plodnosti tla neće odmah riješiti nagomilane probleme biljne proizvodnje, jer nedovoljno znanje i iskustvo poljoprivrednih proizvođača, pa i mnogih tzv. stručnjaka koji šabloniziranim „recepturama“ zamagljuje i/ili relativiziraju probleme biljne proizvodnje, osnovni su uzrok niskih prinosa i kakvoće proizvoda uz visoke troškove proizvodnje i vrlo česte gubitke.

Uzimanje uzoraka tla

U sustavnoj kontroli plodnosti tla jedan od najvažnijih i najodgovornijih segmenata je pravilno uzimanje uzoraka tla. Uzorak tla mora dobro reprezentirati proizvodnu parcelu jer od toga ovisi točna dijagnoza stanja plodnosti, kao i točna interpretacija rezultata, odnosno pouzdana gnojdbena preporuka s prijedlogom mjera koje treba provesti. Problem je utoliko veći što se na temelju analize malog uzorka tla, približno 1,0 kg na prosječno 4 ha (3 - 5 ha), moraju dobiti pouzdani podaci za ~15 mil. kg oraničnog sloja te površine. Prema ispitivanjima provedenim u svijetu i kod nas, prilikom uzimanja uzoraka tla napravi se više od 80 % svih grešaka u sustavu kontrole plodnosti zemljišta, koje mogu uvelike obezvrijediti rezultate laboratorijskih analiza i njihovu uporabivost.

Tlo je općenito vrlo heterogeno po svojim morfološkim, fizikalnim i kemijskim svojstvima, pa i onda kad naoko izgleda homogeno (po boji, nagibu i dr.), a uzorak tla je jako mali dio parcele koji mora dobro reprezentirati cijelu površinu, pa se svaka greška učinjena pri uzorkovanju

odražava na krajnji rezultat. Zbog toga se način uzimanja i broj uzoraka temelji na uvažavanju poljskih varijacija, topografiji parcele i tipu tla.

Prije uzorkovanja potrebno je pripremiti karte krupnog razmjera područja i obaviti terensko „snimanje“ (*rekognosciranje*) terena na temelju kojeg se određuje veličina analitičke jedinice (ovisno o kulturi i homogenosti površine), te potreban broj pojedinačnih uzoraka za dobivanje prosječnog uzorka tla. Dakle, uzorkovanje tla obavlja se planski prema unaprijed pripremljenim kartama s planovima površina i njihovim nazivima i vodi se potpuna evidencija svih značajki terena koje se ne mogu numerički označiti, a važni su za tumačenje rezultata analiza.

U suvremenoj kontroli plodnosti uzorci tla uzimaju se metodom *stalnih kontrolnih parcelica* promjera 30 m, jer se kod ovog načina uzorkovanja oni uzimaju uvijek na istom mjestu (najmanje svakih 5 god.) uz pozicioniranje centra kontrolne plohe GPS-om. Stoga se može utvrditi trend promjena u tlu, odnosno zaključiti dali se tlo koristi racionalno i odgovorno, ili pak ne. Takav sustav uzorkovanja označava se kao *benchmark* (testiranje performansi proizvodne parcele), a stalna *kontrolna parcelica* je *referenta ploha*, pa se analiza promjene plodnosti tla temelji na prethodno utvrđenom stanju. Za razliku od drugih sustava uzimanja tla, koji se temelje na subjektivnoj procjeni uzorkivača gdje i kako uzeti uzorke tla, *benchmark* je objektivniji jer omogućuje monitoring, odnosno praćenje promjena u tlu tijekom njegove eksploatacije u određenim vremenskim razmacima, uobičajeno svakih 3 - 5 god.

Prosječan uzorak tla za laboratorijsku analizu mora sadržavati 20 - 25 uboda *agrokemijskom sondom*, bez obzira koji sustav uzorkovanja se primjenjuje. Dubina uzorkovanja tla za usjeve je standardno 0 - 30 cm, za povrće i cvijeće 0 - 20 ili 0 - 30 cm, u zatvorenim prostorima za povrće 0 - 15 cm, dok se kod drvenastih kultura prosječni uzorci uzimaju iz dvije dubine i to 0 - 30 cm i 30 - 60 cm. Za potrebe *N_{min} metode*, koja se koristi za određivanje prihrane dušikom, uzorci se uzimaju ovisno o fazi vegetacije na dubinama 0 - 30, 30 - 60 i 60 - 90 cm. Uzorci za *N_{min} metodu* uzimaju se posebnim sondama, često pedološkim ili čak i hidrauličnim, čuvaju u priručnom hladnjaku ($\leq 4^{\circ}\text{C}$) najviše 24 sata i analiziraju u svježem stanju.

Uzorci tla za kontrolu plodnosti mogu se prikupljati tijekom cijele godine s nepognojenog tla bez vegetacije, premda je uzorkovanje najbolje obaviti nakon žetve/berbe prethodnog usjeva, najkasnije mjesec dana prije gnojidbe i/ili sjetve slijedećeg usjeva i to za vrijeme kad je temperatura tla viša od 5°C. Uzorci tla za utvrđivanje potrebe u N-prihrani uzimaju se tijekom vegetacije, ovisno o fenofazi ili izgledu usjeva.

Uzorkovanjem tla heterogenih parcela prema *benchmark* metodologiji, omogućava se primjena diferencijalne gnojidbe, odnosno primjena različite doze gnojiva/hraniva sukladno razlikama u plodnosti. Takav pristup daje bolje rezultate od uniformne gnojidbe jer omogućuje potrebnu količinu hranjivih tvari na pojedinom dijelu parcele, a ekološki i ekonomski je prihvatljiv jer je prilagođen potrebama biljaka i opskrbljenosti tla.

Kemijske analize tla

Pod *analizom tla*, u širem smislu, smatraju se svi postupci od uzimanja uzoraka tla, preko laboratorijske analize i interpretacije rezultata, dok je u užem smislu to sam *analitički postupak* kojim se utvrđuju fizikalno-kemijska svojstva tla. Analiza tla omogućuje pravilnu primjenu mineralnih i organskih gnojiva, uvođenje mjera popravke tla, rješavanje deficita pojedinih elemenata, te održavanja i/ili podizanje efektivne plodnosti tla.

Za uređeni sustav kontrole plodnosti tla veoma je važan izbor odgovarajuće laboratorijske metode kojom se pouzdano mogu utvrditi *indikator* (pokazatelj) plodnosti, ali još je važnije, na cijelom prostoru jedne države ili regije, koristiti standardnu metodologiju kako bi rezultati upućivali na trend, odnosno promjenu plodnosti te tako bili usporedivi. Premda se sustavna kontrola plodnosti ne može uspješno provoditi bez standardne metodologije, za konkretne agroekološke uvjete potrebno je eksperimentalno utvrditi korelacijske veze između rezultata analize tla, primjene gnojiva i postignutih prinosa pojedinih usjeva (pa i njihovih kultivara), što je u našoj poljoprivrednoj praksi još vrlo rijetko jer su to skupa, višegodišnja istraživanja. Također, česte promjene zakona i propisa u Hrvatskoj, vezanih uz zemljište i njegovo korištenje, sadrže i česte

promjene u metodologiji kontrole plodnosti tla (npr. *Tehnološke upute za integriranu biljnu proizvodnju* donose se svake godine uz promjenu zahtijevanih mjera i metodologije analize tla), što ne osigurava kontinuitet sustava kontrole plodnosti, a poljoprivredne proizvođače dovodi u nedoumicu.

Trenutno se za potrebe izrade preporuka gnojidbe usjeva, trajnih nasada, povrća i cvijeća koristi niz kemijskih analitičkih metoda i tehnika što zbunjuje proizvođače. Zapravo, svaka analitička metoda je dobra kad uz nju postoji razrađeni sustav interpretacije dobivenih vrijednosti, jer primjena bilo koje metoda potpuno ili djelomično isključuje subjektivnu procjenu i proizvoljnost te uvodi sustav u utvrđivanju potreba za gnojidbom praćenjem intenziteta pojedinih indikatora efektivne plodnosti tla. Međutim, različita metodologija uzorkovanja tla, velik broj analitičkih metoda, neproverene i različite granične vrijednosti indikatora plodnosti tla i veoma često loša i nestručna interpretacija rezultata analize tla, djeluju kontraproduktivno svim naporima za uvođenje utvrđenog sustava kontrole plodnosti tla u RH.

Klasične analitičke metode tla za interpretaciju rezultata koriste *tablice graničnih vrijednosti*, koje daju orijentacijski okvir rezultata, jer bioraspoloživost hraniva nikad nije statička vrijednost i ovisi o nizu bioloških, fizikalnih, hidroloških, agrotehničkih i dr. čimbenika. Zato se analitičkim i prognostičkim metodama (kad su analitičke rijetke ili nedostupne) procjenjuje količina stvarno raspoloživih hranjivih elemenata u tlu, brzina promjene njihove količine tijekom vegetacije (radi usvajanja, ispiranja, fiksacije i dr.) i količina hranjivih elemenata koju treba dodati za optimalnu ishranu biljka. Kod nekih izračuna, kad se planski „podize“ plodnost tla (npr. meliorativna gnojidba, gnojidba na zalihu, u zasnivanju trajnih nasada i dr.), uzima se u obzir i potreba povećanja razine nekog hraniva u tlu na ciljnu vrijednost.

Sve klasične metode analize tla u osnovi su *jednokratne ekstrakcije* biogenih elemenata iz tla koje procjenjuju intenzitet hraniva u tlu (hraniva koja su odmah i lako usvojiva) te dijelom i kvantiteta hraniva (*mobilne rezerve*), odnosno hraniva koja su potencijalno usvojiva u nekom duljem razdoblju. Npr., količina lako pristupačnog kalija (izražena kao K_2O mg

100 g⁻¹) utvrđuje se slabim ekstrakcijskim sredstvom (npr. vodom). Tako utvrđena vrijednost lako usvojivog kalija može biti brojčano jednaka na lakom tlu, malog *pufernog kapaciteta* i teškom tlu bogatom glinom u kojem postoji velika i uglavnom nepoznata rezerva ovog elementa. Metode u kojima se primjenjuju jača ekstrakcijska sredstva (AL, DL, CAL i dr.) daju veće vrijednosti količine hraniva, ali pak ne pokazuju koja je količina hranjivog elementa stvarno pristupačna biljkama.

Budući da korijen biljke usvaja elemente ishrane izlučujući u tlo različite spojeve, njegova je moć ekstrakcije bitno različita od sredstva kemijske ekstrakcije, a uz to i vrlo promjenjiva, ovisno o vrsti i starosti biljke, njezinoj opskrbljenosti pojedinim elementima ishrane, vlazi tla itd. Zatim, masa korijena je svega oko 1 % od mase tla koju prožima pa se usvajanje hraniva ne obavlja samo kontaktom korijena i čestica tla, nego različitim mehanizmima (kontaktnom izmjenom, difuzijom, kretanjem vode i dr.). Stoga se rezultati bioraspodijelivosti hraniva svih kemijskih i drugih ekstraktivnih metoda moraju rangirati ovisno o *umjeravanju metode* pomoću vegetacijskih testova i pokusa (tzv. kalibracija metode), odnosno biljka pokazuje promjenom visine prinosa (i/ili njegove kakvoće) je li ta ekstrahirana količina hraniva nedovoljna, mala, osrednja, dobra ili suvišna.

Razvojem znanstvenih spoznaja o usvajanju hraniva korijenom biljaka postalo je jasno da se kod izračuna potrebe za gnojidbom moraju uzimati u obzir i međusobni odnosi hraniva u tlu i biljci te parametri koji na njih utječu. Unatoč navedenim nedostacima, *jednokratne ekstrakcijske metode* su uobičajene u praksi zbog brzine i relativno niske cijene i zbog toga što se potreba za gnojidbom jednostavno određuje pomoću graničnih vrijednosti.

Brza transformacija svih oblika dušika i intenzitet mobilizacije organskih rezervi u tlu ovisan je o broju, vrsti i aktivnosti mikroorganizama, odnosno velikom broju klimatskih, zemljišnih i bioloških čimbenika koji utječu na njihovu aktivnost. Pored toga i velika pokretljivost nitrata *konvekcijom* (strujanje mase ili *massflow*) i *difuzijom* (od mjesta veće koncentracije prema nižoj) dugo je vremena utvrđivanje potrebe za N-gnojidbom isključivala iz grupe standardnih kemijskih analiza tla. Stoga se do pojave *N_{min} metode* prihrana i startna gnojdba temeljila na iskustvima

višegodišnjih pokusa, pri čemu se polazilo od najnepovoljnijeg slučaja te vrlo često primjenjivala previsoka doza.

Bilo je i ranije različitih pokušaja, manje-više neuspješnih, prije svega biološkim metodama, radi procjene *mobilizacijske sposobnosti* nekog tla. U tu svrhu korištene su različite *inkubacijske metode* u *anaerobnim* (bez kisika za procjenu amonifikacijske) i *aerobnim* uvjetima (za procjenu nitrifikacijske sposobnosti tla), zatim različite mikrobiološke pa i kemijske metode kao što je utvrđivanje *lakohidrolizirajućeg dušika* (kemijski labavo vezanog N) koji tijekom vegetacije podliježe mineralizaciji i dr. Budući da *N_{min} metoda* polazi od pretpostavke da mineralne oblike dušika biljka odmah i lako usvaja, može se točno utvrditi potrebna količina dušika za N-prihranu. Zbog toga se uzorci tla za N_{min} metodu uzimaju iz zone do koje dopire korijenov sustav, a metoda uvažava i potrebe jarih usjeva tijekom vegetacije pomoću procjene potencijala mineralizacije organske tvari.

Analize biljne tvari

Analiza tla pokazuje stanje i dinamiku hranjivih elemenata u tlu, odnosno koliko biljka može usvojiti hraniva iz tla u trenutku uzorkovanja, dok kemijska analiza biljaka na kraju vegetacije, dakle u žetvi, najtočnije pokazuje koliko je stvarno ukupno usvojeno hraniva. Kemijskom analizom biljne tvari je potrebno utvrditi koliko je pojedinog elementa ishrane u merkantilnom dijelu (koji se odnosi s parcele, tzv. *odnošenje hraniva*), a koliko u žetvenim ostacima. Oba dijela čine tzv. *iznošenje hraniva*, odnosno ukupno potrebnu količinu hraniva. Rezultat kemijske analize biljaka u žetvi, ili kad je to potrebno u određenim *fenofazama* (stadijima), dobar su pokazatelj potrebe N-prihrane, eliminiranje manjka mikroelemenata, ali i makroelemenata (npr. dušika, fosfora, sumpora, kalija, kalcija i magnezija). Također, kemijskom analizom biljne tvari može se utvrditi razlika u potrebama hraniva različitih kultivara (sorti i hibrida obzirom na duljinu vegetacije i učinkovitost korištenja hraniva iz tla), ali i razlike koje se pojavljuju u drugačijim agroekološkim uvjetima (npr. tip tla, navodnjavanje, razlika u agrotehnici itd.).

Analiza biljne tvari, kao i prikupljanje i obrada uzoraka tkiva biljaka, zahtjevnija je negoli analiza tla. Također, vrlo je velik broj različitih metoda u uporabi pa se grubo dijele na:

- 1) Brzi polu kvantitativni testovi biljne tvari,
- 2) Kemijske analize i
- 3) Biokemijske analize.

Brze test-metode biljne tvari temelje se na karakterističnim obojenim produktima mikrokemijskih reakcija hraniva u soku iscijeđenom iz lišća ili drugih biljnih organa. Danas se sve više rabe specijalni štapići ili trake koje navlažene iscijeđenim sokom pokazuju jednu ili više nijansi (više kemijskih reakcija) određene boje. Koncentracija ispitivanog hraniva određuje se polukvantitativno prema intenzitetu boje na standardnoj karti boja (ili priručnim kolorimetrom, reflektometrom, denzitometrom i dr.). Brze test-metode, osim što su vrlo brze, jeftine su i dovoljno pouzdane za primjenu na terenu svaki put kada se očekuju ili već pojave simptomi poremećaja ishrane biljaka, najčešće kad postoji potreba za određivanje trenutka ili doze N-prihrane. Ne treba zaboraviti da je brzina analize na štetu većeg broja informacija, pa je dobro brzim kemijskim metodama ispitati i svojstva tla.

Kemijske analize biljne tvari najčešće se koriste za umjeravanje (kalibraciju) kemijskih analiza tla, odnosno njihovo pouzdanije utvrđivanje potrebe u gnojidbi. Premda između koncentracije elemenata ishrane u biljci i mogućnosti njegovog usvajanja iz tla (*bioraspoloživost*) postoji pozitivna korelacija, ona je promjenjiva i jako ovisi o klimatskim fizikalno-kemijskim svojstvima tla, tehnologiji uzgoja i specifičnosti biljne vrste pa i kultivara.

Za utvrđivanje potreba prihrane često se koristi *folijarna analiza*, odnosno analiza lišća. Kod mlađih biljaka za analizu se uzimaju cijele biljke (npr. pšenica u busanju), a kod starijih biljaka najčešće lišće, peteljke ili određeno lišće (vršni trolist kod soje, list ispod klipa u svilanju kod kukuruza itd.).

Biokemijske metode opskrbljenosti biljaka biogenim elementima temelje se na mjerenju aktivnosti specifičnih enzima. Naime, neophodni elementi mogu biti *konstitutivni* (sastavni) dio enzima, njihovih *aktivnih centara* ili mogu stimulirati, odnosno inhibirati rad enzima. Od biokemijskih metoda,

kod nas se ponekad koristi utvrđivanje aktivnosti enzima *nitratne reduktaze* (NR-aza) koja dobro korelira s ishranjenosti biljaka dušikom i predviđanjem početka intenzivnog porasta usjeva, naročito ozimih.

Vizualna dijagnostika

Vidljive promjene na biljkama označavaju se kao *simptomi nedostatka* ili *simptomi suviška elemenata* ishrane. Najčešće se pojavljuju *kloroze* (promjene u boji lišća), različitih oblika i nijansi, kao i na različitim dijelovima biljke. Do ovih promjena može doći i zbog *antagonizma elemenata*, odnosno pojave kada višak jednog elementa u tlu izaziva simptome nedostatka drugog (npr. Fe : Mn, Ca : Mg, Ca : K, P : Zn itd.). Moguć je i nedostatak više elemenata ishrane odjednom i tada je teško utvrditi pravi uzrok, jer simptomi nedostatka jednog elementa mogu maskirati simptome nedostatka drugog elementa. Isto tako, simptomi izazvani napadom bolesti ili štetočina mogu biti vrlo slični onima koji nastaju zbog problema u ishrani. U nekim slučajevima uzrok vidljivim promjenama na biljkama su vanjski čimbenici (temperatura ili vlaga), koji utječu na biopristupačnost elemenata i ishranjenost biljke.

Simptomi manjka elemenata ishrane bilja jasni su samo kod akutnog nedostatka ili velikog suviška, pa je vizualna dijagnostika samo indikator poremećaja. *Latentni* (skriveni) *poremećaji ishrane* ne mogu se vizualno primijetiti ili se uočavaju tek onda kada je već prekasno za intervenciju. Stoga za pouzdano tumačenje simptoma treba imati veliko iskustvo, poznavati fiziologiju ishrane bilja, pratiti javljaju li se simptomi na starijim ili mlađim biljnim dijelovima, te kakva je dinamika tih promjena. Kod elemenata ograničene pokretljivosti (Ca, B, Fe) simptomi se javljaju prvo na mlađim listovima i vršnim dijelovima biljke, a kod dobro pokretljivih elemenata (N, P, K) na starijim listovima.

Vegetacijski pokusi

Biljka je najbolji indikator stanja hraniva u tlu i učinkovitosti gnojidbe. Svojim izgledom te postignutim urodom i/ili njegovom kakvoćom ona daje odgovore na sva pitanja vezana uz gnojidbu (*fertilizaciju*) i ishranu. Zato su vegetacijski pokusi najbolji način za utvrđivanje potrebe u gnojidbi, premda

zahtijevaju više vremena i rada od ostalih metoda. Prema tehnici izvedbe svi pokusi se mogu podijeliti na:

- 1) Vegetacijski pokusi u kontroliranim uvjetima,
- 2) Vegetacijski pokusi u poljskim uvjetima i
- 3) Demonstracijski pokusi u poljskim uvjetima

Kalcij (Ca): Novi listovi su deformirani ili sporo rastu, a već razvijeno lišće ostaje zeleno.

Dušik (N): Gornja listovi su svijetlozeleni, srednji žute, a donji, najstariji listovi su žuti i smežurani.

Ugljični dioksid (CO₂): Bijele naslage na lišću, usporen rast i konačno biljke umiru.

Fosfor (P): Listovi su tamniji nego inače i opadaju.

Željezo (Fe): Mladi listovi su žuti i bijeli sa zelenim venama. Starije lišće je

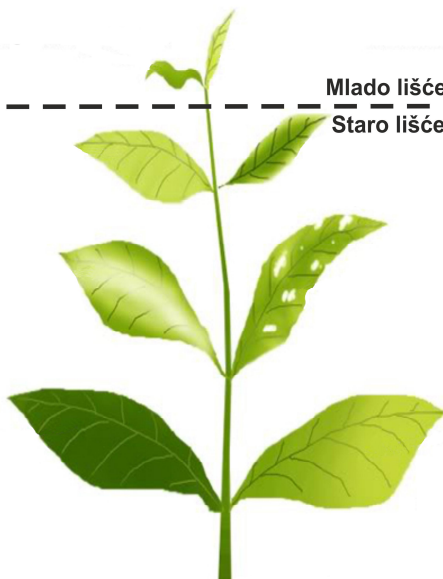
Mlado lišće

Staro lišće

Kalij (K): Vrlovi i rubovi lišća su žuti, najčešće mlađeg lišća. Žute ili odumrle mrlje na listovima u razvoju.

Mangan (Mn): Žute mrlje ili izdužene rupe između vena.

Magnezij (Mg): Donje je lišće žuti prema van. Vene ostaju zelene.



Slika 21. Karakteristični simptomi deficita pojedinih elemenata ishrane

Prednost pokusa u kontroliranim uvjetima nad pokusima u polju je u tome što je moguće postaviti veći broj pokusa, s više tretmana i ponavljanja, može se istovremeno testirati više varijanti i razina gnojdbje na više različitih tala, a uvjeti uzgoja su kontrolirani jer ne ovise o vremenskim uvjetima. Naravno, ovakav tip pokusa ima i više nedostataka jer su zbog male količine tla u posudama moguće velike greške u preračunavanju, korijen biljke prožima u cijelosti malu količinu tla, njegov rast je ograničen, nema podoraničnog, manje ili više zbijenog horizonata tla, različita je aktivnost mikroorganizama, biljke su dobro snabdjevene vodom itd.

Najčešća svrha poljskih pokusa je dobiti odgovore na utjecaj jednog ili više hraniva, razine gnojdbje, vrijeme i način unošenja vrste gnojiva na visinu

prinosa i/ili njegovu kvalitetu. Rezultati se mogu pouzdano primijeniti samo za iste ili vrlo slične agroekološko, kao i agrotehničke uvjete.

Poljski pokusi se postavljaju na homogenom tlu (ujednačenih svojstava) što se najbolje može ocijeniti u vrijeme vegetacije, jer usjev dobro reagira na razlike u fizikalnim i kemijskim svojstvima tla. Na usjevu se vrlo dobro odražavaju npr. tragovi zbijanja kotačima traktora i depresije u kojima je stajala voda, vide se razlike u rezervama hraniva ili pak nepravilnosti u primjeni gnojiva i dr. Pokus se ne smije postaviti na površini na kojoj su bila dva ili više različitih predusjeva jer svaki od njih ostavlja tlo u drugačijem stanju (nejednaka razina gnojidbe, drugačija agrotehnika, različito usvajanje hraniva, nejednaka količina žetvenih ostataka i dr.), pa dobiveni rezultati neće biti pouzdani.

Na izbor veličine parcele utječe vrsta pokusa (redovita ili melioracijska gnojidba) i biljna vrsta sa svojim specifičnim zahtjevima (npr. različit vegetacijski prostor). U pravilu, rezultati pokusa su pouzdaniji što je površina pokusnih parcela veća, posebice kod manje ujednačenog tla. Naime, dobru ujednačenost pokusne površine teško je postići kod velikih pokusa s većim brojem tretmana (*varijanti*) i ponavljanja, a na veću pouzdanost testiranja u poljskim uvjetima jako utječe i broj ponavljanja (*repeticija*) svake varijante.

Pokusne parcele trebaju biti postavljene tako da je smjer redova biljaka sjever-jug kako bi sve biljke bile jednolično izložene sunčevoj svjetlosti, jer zasjenjene biljke daju redovito niže prinose. Zbog znatne oscilacije vremenskih uvjeta za dobivanje pouzdanih rezultata gnojidbenih pokusa treba ih provoditi nekoliko godina zaredom. Niti jedan jednogodišnji pokus ne može dati pouzdani odgovor na postavljeni cilj istraživanja, stoga se smatra da su tri godine najkraći period provođenja pokusa. Ovaj vremenski problem može se ublažiti ako se identični pokusi postave u više različitih agroekoloških uvjeta.

Demonstracijski poljski pokusi, premda nisu *egzaktni* (nemaju ponavljanja pa ih nije moguće statistički analizirati i dr.), veoma su pogodni da se na brz, očigledan i jeftin način dođe do zaključka o pogodnosti tla za uzgoj određene biljne vrste, ustanovi razlika između pojedinih sorti ili hibrida,

razlika u agrotehnici (npr. dubini obrade, zelene, organske ili mineralne gnojidbe, zaštite i dr.). Demonstracijski pokus se može primijeniti uvijek i na svakom mjestu kad se žele brzo i očigledno usporediti dva način uzgoja. Primjerice, dovoljno je ostaviti 1 ar (100 m²) nepognojen kako bi se procijenio učinak gnojidbe u konkretnim proizvodnim uvjetima. Kad se želi dobiti više odgovara postavi se tri demonstracijske parcele: 1) bez gnojidbe, 2) ½ doze i 3) dvostruka doza u odnosu na cijelu parcelu. Naravno, moguće je, osim vizualnog ustanovljenja razlike u porastu ili prinosu, na kraju vegetacije i izmjeriti visinu uroda kao najboljeg pokazatelja učinkovitosti gnojidbe. Na sličan način mogu se provjeriti zaštita (zaštitno sredstvo), dubina obrade, sklop i gustoća usjeva, primjena organskog gnoja i dr.

Proračun potrebe u gnojidbi

Gnojidbena preporuka

Gnojidbenu preporuku treba shvatiti kao savjet stručnjaka za ishranu bilja koji sadrži dozu, oblik gnojiva i način njegove primjene, a uvažava sve relevantne čimbenike koji utječu na rast, razvitak, visinu prinosa i plodnost tla. Relevantni čimbenici, temeljem kojih se daje gnojidbena preporuka, su svojstva tla (sadržaj i bioraspoloživost hraniva, fizikalna, kemijska i biološka svojstva, vodno-zračni odnosi u tlu, uređenost parcele (odvodnja, navodnjavanje, nagib, ekspozicija itd.), predusjev (njegov prinos i gnojidba), žetveni ostatci, agrotehnika, zaštita usjeva i dr. Odnos između tih indikatora produktivnosti (čimbenika koji određuju visinu prinosa i njegovu kakvoću) jest dinamičan i vrlo kompleksan. Svaki od njih može biti tzv. *faktor minimuma*, dakle imati ograničavajući efekt (tzv. *limitirajući indikator*) tijekom cijelog perioda vegetacije ili samo u određeno vrijeme rasta i razvitka, odnosno tvorbe prinosa. Stoga je prvi zadatak gnojidbene preporuke postaviti dijagnozu, odnosno identificirati čimbenike minimuma, a tek onda utvrditi potrebnu dozu hraniva, način i vrijeme primjene. Dakle, zbog složenog odnosa tvorbe prinosa i konkretnih proizvodnih uvjeta, dijagnoza stanja je prvi korak izrade gnojidbene

preporuke. Nakon postavljanja dijagnoze slijedi utvrđivanje doze (količine elemenata ishrane) te način i vrijeme primjene gnojiva, odnosno što sve treba učiniti da bi se izbjegla ograničenja i postigao očekivani prinos.

Dijagnoza stanja temelji se na fizikalno-kemijskoj analizi tla i/ili biljne tvari, kao i vizualnim simptomima deficita (ili suficita) hranjivih elemenata, odnosno prethodnim spoznajama o biljnoj proizvodnji. Zbog toga, pored velikog broja relevantnih indikatora zemljišne plodnosti, za pouzdanu preporuku potrebno je i uključivanje konkretnog proizvođača, odnosno njegovih zapažanja koja mogu spriječiti pogreške u gnojidbi. Naime, poljoprivredni proizvođači lako zapažaju simptome deficita ili suficita hranjivih elemenata, kao i snižavanje prinosa, premda primjenjuju uobičajenu agrotehniku. Naime, svaki poljoprivredni proizvođač ima uvid u povijest proizvodnje na konkretnoj parceli, pa bez tih opažanja problem često ostaje neuočen.

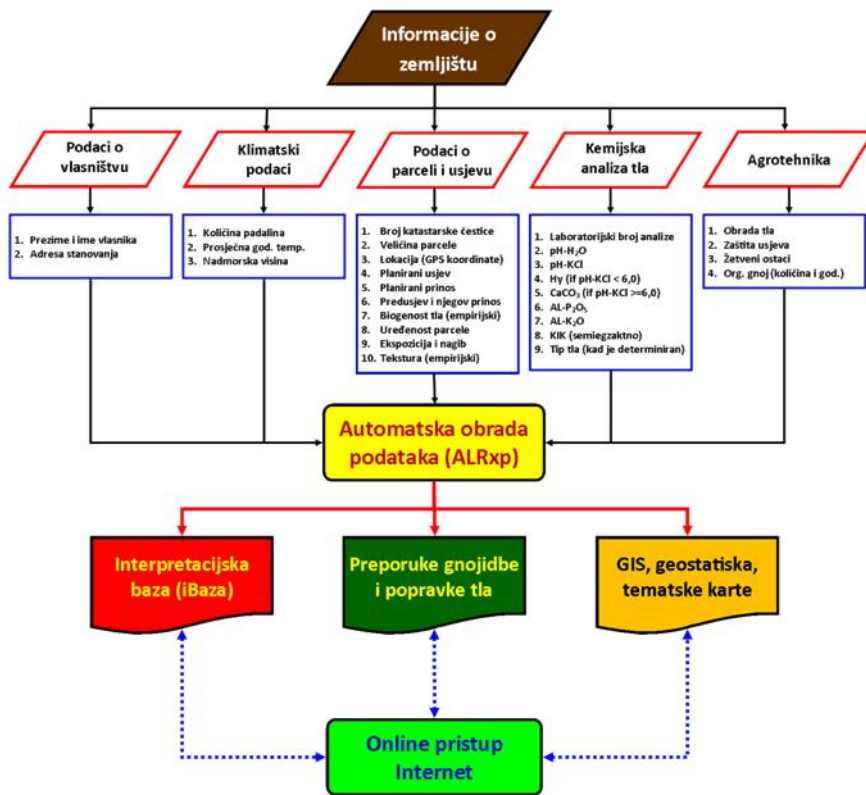
Kompjutorska izrada gnojidbenih preporuka

Kompjutorski, odnosno procesno utemeljeni modeli za kreiranje gnojidbenih preporuka koriste matematičke funkcije (tzv. *skor funkcije*) kojim se opisuju interakcije između rasta usjeva i glavnih čimbenika okoliša (klime, tla, usjeva i agrotehlike), a često uvažavaju i ekonomsko-socijalni te tehničko-tehnološki aspekt biljne proizvodnje. Ukratko, procesni modeli, kakav je razvijen za potrebe gnojidbe Osječko-baranjske županije (Slika 22.) temelji se na:

- Informacijama o fizikalno-kemijskim svojstvima tla, pretkulturi i njenom prinosu, uređenost i biogenost tla, klima, lokacija itd.,
- Procjeni očekivane visine prinosa, potrebi gnojidbe, determiniranju faktora ograničenja, potrebi popravaka tla, održavanju plodnosti itd. i
- Razumijevanju potreba biljaka, poznavanju tla i klime, primjeni adekvatne i učinkovite agrotehlike i ekonomičnog korištenje resursa.

Kompjutorska interpretacija rezultata analize tla i dopunskih podataka o proizvodnoj parceli ALR_{xp} kalkulatorom temelji se na „*konceptu zemljište*“ i trenutno 50 *ekspertnih pravila*, kako jednostavnih, tako i veoma složenih. Gnojidbena preporuka, obzirom na malu do srednju promjenjivost

analiziranih indikatora plodnosti tla, uobičajeno uključuje u gnojdbenu preporuku više najzastupljenijih usjeva za uzgoj u narednom periodu, procjenu potencijala N-mineralizacije i potrebu za kalcijacijom. Rezultati proračuna zajedno sa svim podacima spremaju se u interpretacijsku bazu (iBazu) namijenjenu geostatističkoj analizi poljoprivrednog prostora, vizualizaciji tematskim kartama uz mogućnost online i offline pristupa svim podacima interpretacijske baze.



Slika 22. Shema interpretacijske baze zemljišnih resursa (model ALR_{xp}, autor Vladimir Vukadinović)

Shema modela (Slika 22.) predstavlja u praksi provjeren model kontrole plodnosti (~35.000 uzoraka tla s >1.500.000 informacija) koji je kreirao prvi autor ove knjige. Model se temelji na načelima *dobre poljoprivredne prakse* te su preporučene doze hraniva usklađene s potrebama usjeva uz

minimalno ekološko opterećenje okoliša. Uvažavaju se agronomski i biološko-ekološki te dijelom i tehničko-tehnološki indikatori primarne produkcije organske tvari. Obuhvaćeno je pet grupa ulaznih podataka (tzv. *uBaza*), a obje baze (*uBaza* i *iBaza*) su *relacijskog tipa* (struktura baze koja podržava međusobnu vezu između svih podataka).

Podaci kemijske analize tla upotpunjeni su u opisanom modelu kontrole plodnosti (uz izdavanje gnojidbenih preporuka, objašnjenja i agrotehničkih savjeta), a *iBaza* se dalje analizira GIS alatima, rezultati vizualiziraju te prikazuju na tematskim agrokemijskim, proizvodnim, pedološkim i dr. kartama. Složena multivarijacijska analiza vrlo velikog broja podataka o povezanosti raspoloživosti hraniva, gnojiva i prinosa ugrađena su u ALR_{xp} model kontrole plodnosti. U dijelu proračuna potrebe za gnojidbom, potreba hraniva se ne oslanja na *tablične granične vrijednosti*, već se proračun obavlja temeljem svojstava i neophodnih podataka svake konkretne parcele i to nelinearnim *skor funkcijama* (matematičkim krivuljama). Model ALR_{xp} prije utvrđivanja potrebe za gnojidbom procjenjuje pogodnost zemljišta temeljem ključnih i dopunskih indikatora plodnosti. Budući da se praktično primjenjuje više od 20 god., njegova pouzdanost zadovoljava kriterij 70 - 80 % točnih preporuka, odnosno očekuje se da svake pete ili četvrte godine gnojidbena preporuka ne korespondira s visinom prinosa.

Opskrbljenost tla i zadatak gnojidbe

Ekonomski promatrano, povećanje doza gnojiva opravdano je sve dok je rast prinosa rentabilan. Stoga, *profitabilno bilinogojstvo podrazumijeva primjenu doze gnojiva koja odgovara potrebama biljke, odnosno biološki i ekonomski mogućem prinosu, plodnosti tla i agroekološkim uvjetima proizvodnje*. Kemijske analize tla pomažu u procjeni količine hraniva koje biljka može usvojiti iz tla, a analize biljne tvari koliko hraniva biljke moraju usvojiti da bi postigle određeni prinos i potrebnu kakvoću.

Konvencionalno utvrđivanje potrebe u gnojidbi podrazumijeva poznavanje graničnih vrijednosti svakog pojedinog hraniva, odnosno utvrđene razrede

pristupačnosti, koeficijente učinkovitosti gnojiva i planiranu (ciljnu) visinu prinosa. U RH standardna je AL-metoda (AmonijskoLaktatna ekstrakcija hraniva, varijanta *Egnér-Riehm-Domingo*) kojom su pretežito rađene analize tla u posljednjih 50-ak godina, a manje od ¼ svih uzoraka tla analizirano je i metodom elektroutrafiltracije (EUF) i to isključivo za potrebe industrije šećera.

Učinkovitost gnojidbe, odnosno utvrđivanje iskorištavanja hraniva iz gnojiva je najdelikatniji dio *koncepta ciljnog prinosa*, koji se i najčešće prakticira u RH. Praktično se razlikuju *agronomska učinkovitost* (povećanje prinosa po jedinici aktivne tvari gnojiva) i *fiziološka učinkovitost* (povećanje prinosa po jedinici usvojenog hraniva). Budući da na iskoristivost hraniva iz gnojiva iznimno jako utječu biljna vrsta kao i svojstva gnojiva, zemljišni, klimatski, agrotehnički te biljni uvjeti, učinkovitost gnojidbe se znatno razlikuje, pa i za iste agroekološke uvjete. Npr., organska se gnojiva razlažu u tlu do elemenata ishrane uz pomoć mikroorganizama, koji za svoju aktivnost, kao i sva živa bića, zahtijevaju pogodne uvjete. S druge strane, mineralna gnojiva su u različitoj mjeri topljiva u vodenoj fazi tla, ali i različito pokretna u tlu jer su vezana za aktivnu, koloidnu frakciju tla (glina i humus) različitim silama promjenjive jakosti (kemijskim ili fizikalnim). Budući da je to veoma kompleksna i opsežna tema kojom se bavi ishrana bilja, u daljnjem tekstu navedeni su samo osnovni problemi važni za utvrđivanje agronomске, ekološke i ekonomske učinkovitosti gnojidbe.

Podjela tala u nekoliko grupa (najčešće 3 - 5) na temelju opskrbljenosti hranivima uobičajen je za konvencionalan pristup utvrđivanja potrebne gnojidbe (Tablica 14.). Pojavom i napretkom kompjutorskih modela, koji su točniji, pouzdaniji i brži, korištenje tablica koje su često preuzete iz stranih izvora i često su subjektivno adaptirane za naše agroekološko područje, polako odlazi u povijest.

Prema klasičnom konceptu gnojidbe, tla siromašna organskom tvari ili ukupnim dušikom gnoje se dušikom toliko da se dobije zadovoljavajuće visok prirod, ili „za svaki slučaj“ malo više od te količine. Važno je uzeti u obzir tzv. *priming učinak*, odnosno *poticajni efekt*. Naime, dodani N gnojivom pospješuje usvajanje dušika iz rezervi tla jer utječe na brzi porast populacije mikroorganizama. Kad bakterije u tlu, koje su *kemotrofni*

organizmi (neophodna im je energija organske tvari), iskoriste dodani N-gnojdbom, počinju razlagati i organsku tvar koja sadrži podoptimalnu količinu energije, npr. teško razgradivi dio humusa. Budući da je životni vijek bakterija tla kratak, tek nekoliko tjedana, nakon njihovog izumiranja preostaje za uzgajane biljke veća količina raspoloživog dušika u odnosu na primijenjenu gnojdbom.

Tablica 14. Opskrbljenost tla hranivima i konvencionalan zadatak gnojdb

Opskrbljenost	Zadatak gnojdb
Dobra	Očuvanje sadržaja hraniva na istoj razini; gnoji se količinom odnesenih elemenata dovoljnom za nadoknadu prirodom.
Srednja	Podizanje razine opskrbljenosti hranivima; gnoji se nešto većim količinama od odnošenja prirodom.
Niska	Podizanje efektivne plodnosti tla; gnoji se povećanim količinama hraniva zbog osiguranja visokog priroda i obogaćivanja tla hranivima koja su u nedostatku.

Tla bogata dušikom gnoje se nešto manjim dozama i to u više navrata jer se dušik lako gubi iz tla. Stoga se dušik mora u slučaju potrebe dodavati tijekom vegetacije (tzv. *N-prihrana*), jer njegovo nagomilavanje u tlu može imati štetne posljedice za biljke, uz istovremeno povećane gubitke zbog ispiranja nitrata, moguće *denitrifikacije* (gubitak u plinovitom obliku na kiselim tlima) i *volatizacije* (gubitak u obliku plinovitog amonijaka na neutralnim i alkalnim tlima). Potrebna količina dušika ovisi o vrsti biljaka i mogućnosti iskorištavanja njihovog genetskog potencijala (najvećeg mogućeg priroda), broju biljaka po jedinici površine i odnošenju dušika žetvom. Biljke usvoje prosječno 50 % (uz *priming efekt* i do 70 %) od primijenjene količine mineralnog dušika gnojdbom, a kod organske gnojdb i znatno manje.

Nizak stupanj iskorištenja fosfora iz gnojiva zahtijeva da se tla siromašna fosforom gnoje s oko 50 - 100 % većom dozom od količine koja se odnosi

prirodom (klasičan koncept gnojidbe), a bogata količinom koja je jednaka sadržaju fosfora u prirodi. Iskorištenje fosfora iz gnojiva u prvoj godini primjene često ne prelazi 20 % (najviše do 30 %), dok se ostatak transformira u manje pristupačne oblike (slabije topljive u vodi i korijenskim izlučevinama, tzv. *retrogradacija fosfora*). Nastali manje topivi oblici fosfora biljke koriste postupno u većem broju godina, pa se stoga fosfor može primjenjivati i na tzv. zalihu (u većoj dozi od potrebne) bez opasnosti od gubitaka. Kratkotrajno povećanje učinkovitosti P može se postići njegovom primjenom u trake (sužavanje omjera P/tlo), a sporija *retrogradacija* primjenom krupnijih granula (manja površina reakcije). Mikorizne gljive mogu imati veoma značajan učinak na pojačano usvajanje fosfora (>30 %) uz veći prinos na tlima siromašnim u fosforu. U tu svrhu često se koristi gljiva *Glomus intraradices*.

Kalijeva gnojiva bolje se iskorištavaju od fosfornih, a nešto slabije od dušičnih (do 50 % u prvoj godini primjene), ali njihova učinkovitost može biti vrlo niska na tlima slabo opskrbljenim kalijem i visoke fiksacijske moći (teška glinovita tla). Stoga se teška i tla siromašna kalijem gnoje s 25 - 50 % većom količinom hraniva od odnošenja prirodom, a srednja i dobro opskrbljena dozom koja je jednaka odnošenju prirodom (klasičan koncept gnojidbe).

Nasuprot konvencionalnom pristupu utvrđivanja potrebe u gnojidbi, postoje i sustavi koji teže postizanju najvećeg mogućeg prirodna i kojima se postiže do 16 t ha⁻¹ pšenice, 13 t ha⁻¹ ječma, 11 t ha⁻¹ soje, 32 t ha⁻¹ kukuruza te 176 t ha⁻¹ korijena šećerne repe, odnosno 28 t ha⁻¹ biološkog šećera. Takva primjena gnojiva temelji se na spoznaji da je ekonomičan prirod vrlo blizak maksimalno mogućem, što nipošto nije slučaj u našoj ekonomskoj stvarnosti. Visokoprinostni sustavi zahtijevaju visoka ulaganja, ali je i dobit visoka (istina, uz veći rizik), a i povećana produkcija hrane neminovno smanjuje njezinu cijenu.

Pored konvencionalnih i visokoproduktivnih sustava uzgoja biljaka koji se mogu označiti i kao *High Input Systems* sve češće se susreće *integrirani pristup gnojidbi* i tzv. *alternativni sustavi* koji polaze od koncepta *prirodne* ili *biološke produkcije* bez korištenja, ili u znatno smanjenom obimu, kemijskih sintetičkih tvari s ciljem proizvodnje "zdrave" hrane, a svrstavaju

se redom u *Low Input Systems* (ekstenzivni sustavi). Ipak, treba istaći da bi se povećanjem površina pod sustavima za navodnjavanje, boljim i većim korištenjem poljoprivredne mehanizacije, uzgojem novih biljnih vrsta koje se danas ne koriste za proizvodnju hrane, korištenjem visokoprinosa kultivara, angažiranjem većeg broja ljudi u poljoprivredi te korištenjem sintetskih preparata samo kad je to stvarno potrebno i u najmanje potrebnim dozama, vjerojatno podmirile sve potrebe čovječanstva u hrani. Međutim, potreba za prehranom svih stanovnika Zemlje i osiguranjem dovoljnih količina hrane trenutno marginalizira značaj alternativnih sustava biljne proizvodnje.

Sve masovnija održiva *integrirana biljna proizvodnja* kompromisno je rješenje, jer je to sustav uzgoja koji primjenu agrotehničkih mjera usklađuje s ekonomskim i ekološkim principima. Stoga se danas takav tip biljne proizvodnje često označava kao *dobra poljoprivredna praksa*.

Konvencionalni proračun gnojidbe AL-metodom

Prema konceptu *ciljnog prinosa* proračun količine hraniva potreban za dobivanje *planiranog prinosa* izvodi se standardno na temelju prosječne koncentracije biogenih elemenata u usjevu, uključujući i pripadajući dio žetvenih ostataka (Tablica 15.) i učinkovitosti gnojidbe pojedinim hranjivim elementom (Tablica 16.). Npr., planira se prirod pšenice od $7,0 \text{ t ha}^{-1}$, na tlu koje je srednje raspoloživosti dušikom, siromašno fosforom i srednje opskrbljeno kalijem. Najprije se utvrđuje količina tih elemenata potrebna za dobivanje planiranog priroda koristeći tablice koje pokazuju sadržaj elemenata uključujući i pripadajući dio žetvenih ostataka. Važno je naglasiti kako zbog genetske specifičnosti mineralne ishrane i interakcije s agroekološkim uvjetima, elementarni sastav različitih kultivara (sorti ili hibrida) može znatno varirati. Stoga je dobro rabiti kemijsku analizu uzgajanih sorti s proizvodnih površina za koje se planira gnojdba, a na neke zastarjele literaturne podatke koji se odnose na kultivare koji odavno nisu u proizvodnji.

Tablica 15. Iznošenje NPK u kg t⁻¹ priroda (s pripadajućim žetvenim ostacima) u suhoj ili svježoj tvari usjeva

Biljna vrsta	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Šećerna repa (svj. tvar)	3,5 - 4,5	1,5 - 2,0	5,0 - 8,0
Krumpir kasni (svj. tvar)	4,5 - 5,5	1,5 - 2,0	7,5 - 9,0
Ječam jari	15 - 20	8 - 12	20 - 25
Grah	15 - 20	15 - 25	20 - 30
Ječam ozimi	20 - 25	8 - 12	20 - 30
Raž	20 - 30	10 - 15	20 - 30
Zob	20 - 30	10 - 15	30 - 40
Lucerna	20 - 30	5 - 10	20 - 25
Kukuruz	25 - 30	10 - 15	30 - 40
<i>Pšenica</i>	25 - 35	10 - 15	20 - 30
Stočni grašak	25 - 30	15 - 20	15 - 25
Suncokret	40 - 50	20 - 30	50 - 60
Uljana repica	40 - 50	25 - 35	45 - 55
Soja	50 - 60	25 - 30	40 - 50

Tablica 16. Potrebna količina aktivne tvari gnojiva (%) ovisno o klasi opskrbljenosti tla

Opskrbljenost tla	Gnojidbu je potrebno korigirati faktorom (%)		
	f-N	f-P ₂ O ₅	f-K ₂ O
Niska	100 - 120 %	150 - 200 %	125 - 150 %
Srednja	80 - 100 %	100 - 150 %	100 - 125 %
Dobra	60 - 80 %	100 %	100 %

Dakle, za planirani prirod pšenice od 7,0 t ha⁻¹ ukupno je potrebna sljedeća količina N, P i K (sredina raspona iz tablice 15.):

$$30 \times 7 = 210 \text{ kg N ha}^{-1}$$

$$12 \times 7 = 84 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$$

$$25 \times 7 = 175 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$$

Zatim, uvažavajući bioraspodjelivost hraniva u tlu, potrebno je korigirati izračunate potrebe u hranivima izražene kao *aktivna tvar* gnojiva.

Uobičajeno je u standardnom proračunu potrebe za gnojidbom da se korekcija obavlja množenjem potrebne količine hraniva koeficijentima za raspoloživost hraniva (Tablica 16.). Često se koriste i tablice koje dijele tla na više klasa, kao i tablice koje uvažavaju i neka druga svojstva tla presudna za raspoloživost određenog elementa. Npr., na raspoloživost fosfora snažno utječe pH-vrijednost tla (ali značajni su i teksturna klasa tla, sadržaj humusa i dr.), dok je za raspoloživost kalija značajnije koliko u tlu ima gline, odnosno dobro je poznavati fiksacijsku moć tla za kalij. Za područje istočne Hrvatske najčešće se koristi Tablica 17. koja za raspoloživost fosfora uzima u obzir pH, a za kalij teksturna svojstva tla.

Dakle, ukupna potrebna količina hraniva za planirani prinos ispravlja se faktorom (f) svakog elementa ovisno o njegovoj raspoloživosti. Prema Tablici 16. to je za N = 80 - 100 %, (f = ~0,90), P₂O₅ = 150 - 200 %, (f = ~1,75) i K₂O = 100 - 125 % (f = ~1,12) u navedenom primjeru:

$$\begin{aligned} 210 \times 0,90 &= 189 \text{ kg N ha}^{-1} \\ 84 \times 1,75 &= 147 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \\ 175 \times 1,12 &= 196 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} \end{aligned}$$

Tablica 17. Granične vrijednosti AL-P₂O₅ i AL-K₂O za ratarske usjeve na području istočne Hrvatske (Vladimir Vukadinović)

Razred raspoloživosti	AL-P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹		AL-K ₂ O mg 100 g ⁻¹ tla		
	pH < 6	pH ≥ 6	lako	srednje	teško
(A) jako siromašno	< 5	< 8	< 8	< 12	< 15
(B) siromašno	5 - 12	8 - 16	9 - 15	13 - 19	16 - 24
(C) dobro	13 - 20	17 - 25	16 - 25	20 - 30	25 - 35
(D) visoko	21 - 30	26 - 45	26 - 35	30 - 45	36 - 60
(E) ekstremno visoko	> 30	> 45	> 35	> 45	> 60

Uvažavajući ekonomske i ekološke razloge te činjenicu kako je moguće, ali i potrebno dušik dodavati N-prihranom, a efikasnost gnojidbe fosforom i kalijem na slabo opskrbljenim tlima niža je od očekivane (sve dok se ne dostigne tzv. *kritična koncentracija*) i dr., mudro je ograničiti najvišu dozu hraniva. Naravno, ograničenje je različito za pojedine usjeve i sustave gnojidbe, koje za neke usjeve prikazuje Tablica 18.

Tablica 18. Preporuka najviše gnojdbene doze za neke usjeve u konvencionalnoj i integriranoj biljnoj proizvodnji

Usjev	N (kg/ha)		P ₂ O ₅ (kg/ha)		K ₂ O (kg/ha)	
	Konv.	Integ.	Konv.	Integ.	Konv.	Integ.
Soja	135	115	140	125	160	140
Suncokret	160	145	140	125	175	155
Pšenica ozima	170	150	140	125	180	160
Šećerna repa	170	150	140	120	250	225
Krumpir	210	180	140	125	200	180
Kukuruz	210	180	150	130	225	200

Količina aktivne tvari preračunava se u dozu gnojiva sljedećim izrazom:

$$\text{Gnojivo}_{\text{kg ha}^{-1}} = \frac{a \times 100}{b}$$

a = potrebna količina hraniva, b = konc. aktivne tvari u gnojivu (%).

N: $(189 \times 100) / 46 \times 1/3 = 137 \text{ kg ha}^{-1}$ uree prije sjetve;
 $(189 \times 100) / 27 \times 2/3 = 467 \text{ kg ha}^{-1}$ KAN-a;
 1. prihrana $\leq 200 \text{ kg ha}^{-1}$ KAN-a;

P₂O₅: $(147 \times 100) / 45 = 327 \text{ kg ha}^{-1}$ tripleksa;
 najviše 311 kg ha^{-1} ; prije sjetve;

K₂O: $(196 \times 100) / 60 = 327 \text{ kg ha}^{-1}$ 60 % kalijeve soli;
 prije sjetve.

Sukladno ograničenju najviše doze (Tablica 18.), gnojidba pšenice, iz prethodnog primjera, u konvencionalnom uzgoju bila bi 170 : 140 : 180, dok je izračunata potreba bila 189 : 147 : 196. Npr., za gnojidbu pšenice, prema navedenom ograničenju, primijenit će se kompleksno gnojivom 7 : 20 : 30 i KAN-om pokazuje sljedeći primjer.

Izračun potrebne doze započinje se elementom ishrane koji ima najvišu koncentraciju (najveći broj u formulaciji kompleksnog gnojiva je P₂O₅ = 30):

$$(170 \times 100) / 30 = \sim 567 \text{ kg ha}^{-1} \text{ 7:20:30}$$

Primjenom 567 kg ha^{-1} gnojiva 7:20:30 dano je:

$$(567 \times 20) / 100 = \sim 113 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$$

$$(567 \times 7) / 100 = \sim 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N i}$$

$$(567 \times 30) / 100 = \sim 170 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$$

N-prihranom je potrebno primijeniti razliku između potrebe N i primijenjene količine dušika date osnovnom gnojidbom:

$$((170 - 40) \times 100) / 27 = \sim 481 \text{ kg ha}^{-1} \text{ KAN-a}$$

U prvoj N-prihrani ne preporučuje se primijeniti više od 55 kg ha⁻¹ (~200 kg KAN po ha), a ostatak dušika treba primijeniti u drugoj prihrani u samom početku vlatanja kad je čvor busanja ~2 cm iznad tla. Prva N-prihrana ozimih žita ne smije biti obavljeno prerano (po snijegu ili smrznutom tlu) zbog mogućih gubitaka ispiranjem i male potrebe usjeva koji još miruju. Osim toga, u početku busanja suha tvar pšenice jednog hektara prosječno teži od 300 do 500 kg i uz 5 % N u njoj ukupan sadržaj dušika tek je 15 - 25 kg ha⁻¹.

Izborom neke druge formulacije gnojiva moguće je postići točno traženu količinu hraniva, jer npr., u gornjem primjeru prema gnojidbenoj preporuci nedostaje fosfora (140 - 113 = 27 kg ha⁻¹ P₂O₅) što nije kritično, a manja primjena fosfora može se primijeniti i naredne godine, posebice za uzgoj usjeva koji zahtijeva više fosfora. Takva primjena hranjivih elemenata uobičajeno se naziva *gnojidbeno bilanciranje*.

Kompjutorski proračun gnojidbe

Kompjutorizirani pristup utvrđivanju potrebe za gnojidbom omogućava brže i točnije izračunavanje potrebe u gnojidbi iz više razloga. Naime, takvo izračunavanje je automatizirano, a osim podataka o kemijskoj analizi tla, tzv. ulazna baza sadrži i niz drugih, vrlo važnih dopunskih podataka o tlu kao što su prosječna godišnja količina oborina i prosječna godišnja temperatura, navodnjavanje, dreniranost tla, dubina obrade, predkultura i njen prinos, organska gnojidba, žetveni ostatci, klima, nadmorska visina, nagib, ekspozicija, biogenost tla (sposobnost razgradnje žetvenih ostataka i/ili organskog gnoja) i dr. Sve su to vrlo važne dopunske informacije koje je potrebno uvažiti jer se uz njihovu pomoć korigira proračun gnojidbe tako da bude što bliže stvarnim potrebama usjeva.

Upravljanje podacima zemljišne plodnosti, posebno je korisno u sustavu kontrole plodnosti, jer se time bitno unapređuje i ubrzava izrada gnojidbenih preporuka uz cjelovit uvid u način, odnosno efikasnost korištenja zemljišnih resursa. Kompjutorsko-programski proces kreiranja gnojidbenih preporuka ima u odnosu na konvencionalni postupak (analiza tla + čovjek + znanje + iskustvo + tablice graničnih vrijednosti + tablice iznošenja hraniva + vrijeme + moguća pogreška) značajne prednosti. Brži je i točniji, a omogućuje čuvanje i pretraživanje raspoloživih podataka o plodnosti proizvodnih površina uz racionalizaciju gnojidbe koja je prilagođena potrebama biljke, agroekološkim uvjetima, visini ulaganja u proizvodnju i dr.

Suvremeni kompjutorski modeli za proračun gnojidbe uglavnom su utemeljeni na nelinearnim funkcijskim vezama većeg broja varijabli (npr. utjecaj biljne vrste, sadržaj hraniva, humusa, pH reakcija tla, teksturna klasa, rata mineralizacije, obrada tla, zaštita usjeva i dr.), te je njihova procjena mogućnosti usvajanja hraniva bliža prirodnim zakonitostima koji utječu na raspoloživost i potrebu za elementima ishrane. Time je gnojidbena preporuka pouzdanija i primjerena mogućem prinosu i s vrlo malim rizikom od štete po okoliš. Takav pristup eliminira i pogreške grube podjele tala u razrede ili klase (Tablice 16. i 17.), u kojima je opskrbljenost hranivima predstavljena fiksnim vrijednostima, jer ne uzima u obzir samo jedan, izdvojeni indikator plodnosti pa ne zanemaruje međusobne odnose i povezanost s ostalim indikatorima plodnosti tla. Stoga, gnojidba utvrđena kompjutorskim modelima dobro razlikuje produktivnu sposobnost tla i unutar istog razreda opskrbljenosti.

Nasuprot vrlo pojednostavljenom pristupu procjene plodnosti tla na konvencionalan način, kompjutorske metode uzimaju u proračun numeričke (brojčane) vrijednosti analize tla, isključuju mogućnost pogreške u računanju, subjektivan pristup i pogrešne pretpostavke, izuzetno su brze u automatskom izdavanju gnojidbenih preporuka te čuvaju sve podatke o tlu u kompjutorskoj bazi čime je omogućeno dugoročno praćenje promjena plodnosti tla i bilanciranje hraniva te poduzimanje mjera za zaštitu tla od degradacije, ali i štetnih utjecaja na okoliš (Slika 22.). Također, proces izračuna potrebe u gnojidbi obuhvaća znatno više dopunskih indikatora o

tlu, usjevu, agrotehnici i klimi, a kod potrebe hraniva uzima u obzir i tzv. "dinamičko iznošenje", zapravo veću učinkovitost korištenja hraniva kod visoke razine agrotehnike te uključuje:

- a) Priming efekt - poticajni efekt jer primjena niže doze aktivne tvari ima veću agronomsku učinkovitost,
- b) Humat efekt - blokada fosfora aluminijem (Al^{3+}) i drugih kationa humusom čija koncentracija može biti vrlo visoka pri niskoj pH vrijednosti tla,
- c) Genetska svojstva biljne vrste - efikasnost usvajanja i korištenja hraniva iz tla biljnih vrsta i njihovih kultivara i
- d) Visoku fiziološku adaptabilnost modernih kultivara i dr.

Popravke tla (kondicioniranje)

Kondicioniranje (popravke) tla su najčešće meliorativni zahvati iz grupe posebnih agrotehničkih mjera koje se ne provode redovito. Od mjera popravke tala najčešća je primjena poboljšivača (*kondicionera*) za popravljavanje kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla (npr. *kalcizacija*, *humizacija*, *fosfatizacija*, primjena posrednih i bakterijskih gnojiva i dr.), ali tu ubrajamo i *meliorativnu gnojidbu*, *restauraciju* degradiranih površina nastalih erozijom, rudokopima ili raščišćavanjem zemljišta, hidromeliorativne mjere (kanalska mreža, drenaža), terasiranje i dr.

Kad se razmišlja o gnojidbi kao mjeri popravke tala, onda treba znati da *prava mineralna gnojiva* sadrže neophodne biogene elemente, a *posredna gnojiva* ih mobiliziraju iz rezervi tla, bilo poboljšanjem njegovih fizičkih svojstava ili putem kemijskih i bioloških promjena koje izazivaju u tlu. U tu grupu spadaju i gnojiva za kalcizaciju (ili vapnjenje tla), uporaba gipsa i sl. *Posredna (neizravna) gnojiva*, također sadrže biogene elemente, ali u kemijskom obliku koje biljke ne mogu odmah usvojiti (npr.: humus, vapno i dr.) te utječu posredno (npr. potiču mikrobiološku aktivnost, neutraliziraju kiselost, djeluju preko poboljšanja strukture tla itd.), ili direktno nakon transformacije (mikrobiološke ili kemijske) u biljci pristupačne spojeve.

Prirodno, *djevičansko tlo*, može nerijetko imati vrlo nisku produktivnost, pa je nakon uključivanja takvih tala u poljoprivrednu uporabu nužno provesti potrebne meliorativne mjere. Vrlo često i tla, koja su već u uporabi, mogu zbog nepravilnog ili intenzivnog korištenja biti u različitom stupnju oštećena (degradirana). Degradacija ima više, a mogu se razvrstati u nekoliko grupa:

- 1) Fizikalna degradacija erozijom, zbijanjem i pokoricom; pogoršanje strukture, dreniranosti zbog ležanja vode ili zaslanjivanja i dr.
- 2) Kemijska degradacija povezana je s padom bioraspoloživosti elemenata ishrane, zakišeljavanjem, onečišćavanjem teškim metalima i drugim toksičnim tvarima itd.,
- 3) Biološka degradacija najčešće asocira s padom organske tvari u tlu (može biti izazvana i onečišćenjem tla teškim metalima, pesticidima i drugim toksičnim tvarima).

Pad koncentracije humusa u tlu je redovita pojava na *antropogeniziranim tlima* u kojima je redovito manje humusa u odnosu na tla pod prirodnom vegetacijom. Uzroci opadanja humusa su intenzivna obrada i *aeracija* koja ubrzava oksidacijske procese, odnosno razlaganje organske tvari, ali i primjena isključivo mineralnih gnojiva. Jedan od razloga za to je i odvajanje ratarske od stočarske proizvodnje, odvoženje ili spaljivanje žetvenih ostataka te izostanak zelene gnojidbe (*sideracija*). *Acidifikacija* ili *zakišeljavanje tla* je posljedica više čimbenika, npr. redovita primjena visoko koncentriranih i fiziološki kiselih gnojiva sa sve manje *balasta* (punila, najčešće CaCO_3), visokih doza *gnojovke*, ispiranje baza iz tla (kalcija i magnezija), *imisijaska acidifikacija* ili tzv. kisele kiše i dr. Posljedice zakišeljavanja su pad pH vrijednosti tla, gubitak kalcija, pogoršanje fizikalnih i bioloških svojstava tla i konačno smanjenje plodnosti tla.

Pored klasičnih načina poboljšanja kakvoće tla, odnosno otklanjanja uzroka neprodnosti (kalcizacija, humizacija, meliorativna gnojdba, meliorativna obrada tla i dr.), sve češće se za popravak strukture, ali i toplinskih svojstava, izmjenjivačkog kapaciteta te vlaženja tla, primjenjuju i drugi kondicioneri koji mogu biti organske i anorganske prirodne tvari ili pak sintetski proizvodi. Zbog visokih ulaganja, uglavnom se koriste u vrlo

intenzivnoj i profitabilnoj proizvodnji (zaštićeni prostori, cvijeće, povrće, voće i sl.).

Tablica 19. Utjecaj kalcizacije na kisela tla

Kiselost tla	pH-H ₂ O	Neposredan utjecaj kalcizacije na usjeve	Posredan utjecaj kalcizacije na usjeve
Slabo kiselo	6,5 - 6,1	Nema izravnog utjecaja kalcizacije na većinu usjeva. Parcele čiji je prosječni pH iznad 6,0 mogu imati dijelove gdje je pH ispod 6,0 što će imati utjecaj na povećanje prinosa lucerne i većine drugih leguminoza.	Kalcizacija može poboljšati fizikalna svojstva nekih tala srednje i fine teksture tla. Poboljšana struktura tla može biti od koristiti usjevima sitnog sjemena, npr. uljanj repici.
Umjereno kiselo	6,0 - 5,6	Poboljšava se nodulacija leguminoza <i>Rhizobium</i> bakterijama, odnosno veće je vezivanje dušika iz atmosfere. Prinosi leguminoznih biljaka su veći.	Kalcizacija će poboljšati fizikalna svojstva nekih tala srednje i fine teksture tla. Veća je bioraspoloživost fosfora i efikasnost fosfornih gnojiva. Povećana je mikrobiološka aktivnost i oslobađanje (mineralizacija) biljnih hranjiva.
Prinos ječma, u prve dvije ili tri godine nakon kalcizacije malo poraste, a veće povećanje (25-30%) zapaža se u kasnijim godinama. Prinosi pšenice i uljane repice će također biti povećani, ali nešto manje u odnosu na ječam. Prinosi usjeva s većom tolerancijom na kiselu reakciju tla mogu se povećati kao rezultat neizravnih učinaka kalcizacije (kako je gore navedeno).			
Jako kiselo	5,5 - 5,1	Povećana je fiksacija dušika iz atmosfere uz porast prinosa mahunarki. Topljivi aluminij i mangan su svedeni na netoksičnu razinu.	Neizravni učinci su na poboljšanje strukture tla.
Prinosi većine usjeva su povećani kao rezultat smanjene razine aluminija i mangana, a poboljšana je znatno bioraspoloživost fosfora i drugih hranjivih tvari.			
Vrlo jako kiselo	< 5,1	Izravni učinci jednaki su onima navedenim za jako kisela tla (veća N ₂ fiksacija i uklanjanje toksičnosti Al i Mn).	Neizravni učinci slični su onima na umjereno kiselim tlima.
Bez kalcizacije vrlo jako kisela tla su neplodna i prinosi većine usjeva su znatno smanjeni. Usjevi tolerantni na kiselu reakciju tla (npr. zob i neke trave) imaju umjereno niži prinos.			

U praksi se vrlo često javlja potreba za *kalcizacijom*, odnosno primjeni vapnenih materijala radi neutralizacije suvišne zemljišne kiselosti jer je u

RH >50 % tala kiselo. Agrotehničku mjeru unošenja kalcija u tlo treba razlikovati od *kalcifikacije*, jer taj izraz označava formiranje sekundarnih minerala kalcija ili njegovih soli u tlu (ili zakrečavanje krvnih žila kod ljudi). Uloga kalcija je presudna za održavanje pH-vrijednosti tla i time na raspoloživost svih drugih elemenata, najviše P, B, Fe, Mn, Zn i Cu.

Kalcij je nezamjenjiv i u održavanju povoljne strukture tla, jer zajedno s humusnim tvarima omogućuje povezivanje njegovih čestica u *strukturne agregate* pa posredno utječe na poboljšavanje vodozračnog režima i oksido-redukcijske procese, odnosno izrazito povećava *biogenost tla* (povoljan utjecaj na proces amonifikacije, nitrifikacije, biološku fiksaciju dušika, oksidaciju sumpora itd.). U ekstremno kiselim tlama dolazi do izravne toksičnosti *vodikovih iona* (H^+), a više biljke ne mogu preživjeti ispod $pH \leq 3,7$. Kad je $pH < 5$ česta je toksičnost iona Al^{3+} i Mn^{2+} , a kad je $pH > 4,2$ toksičnost H^+ iona je neizravne naravi i to putem aktivacije teških metala, ali i uz poremećaj u sastavu *korisne mikroflore* tla. Npr., naročito je slaba *nodulacija* leguminoza bakterijama iz roda *Rhizobium* i *Bradyrhizobium*.

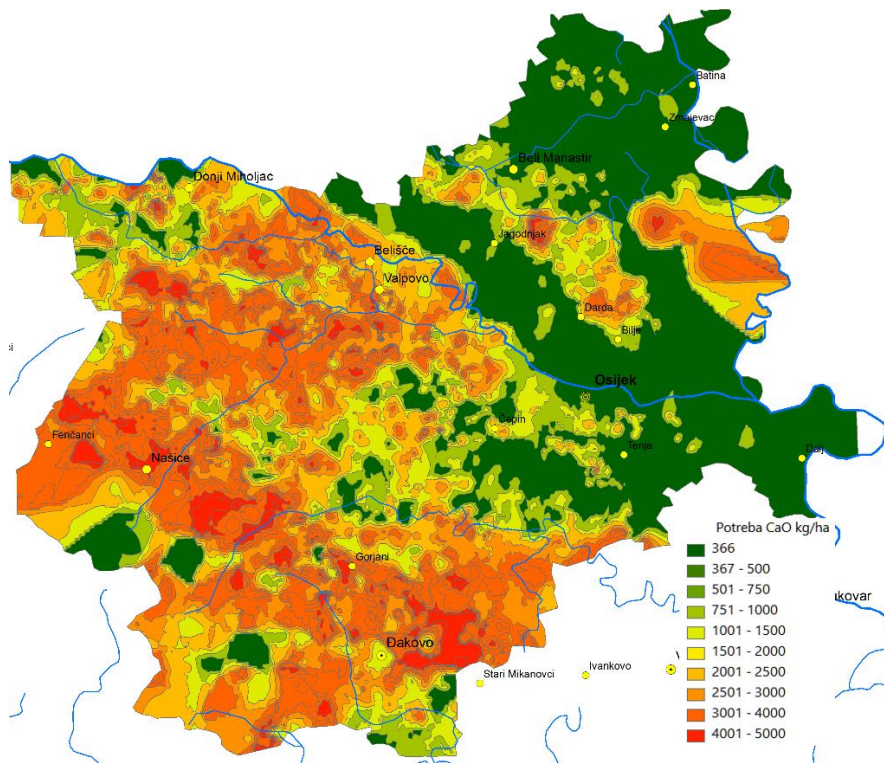
Temeljem brojnih istraživanja i iskustva, smatra se optimalnim kada je na adsorpcijskom kompleksu tla vezano 65 - 85 % Ca, 5 - 15 % Mg i 2,0 - 3,5 % K, a za šećernu repu i leguminoze povoljno je kad je na adsorptivnom kompleksu tla 85 % baza (ne manje od 65 % uz ≥ 70 % Ca) i <15 % kiselih iona, pretežito vodika.

Potreba u kalcizaciji kiselih tala može se utvrditi objektivno, odnosno pouzdano, ali se u praksi često viđa i niz nepouzdanih, dakako, bržih načina. Npr. u praksi se vrlo često potreba za kalcizacijom utvrđuje samo na temelju pH vrijednosti tla. Pogrešno, jer dva tla koja imaju istu vrijednost pH, zapravo nisu jednako kisela. Naime, neovisno o istoj pH vrijednosti, ona se razlikuju u veličini adsorpcijskog kompleksa pa i sadrže različitu količinu kiselih iona. Zbog toga je mnogo pouzdanije određivanje potrebne doze materijala za kalcizaciju pomoću *hidrolitičke kiselosti* (H_y ili *potencijalne kiselosti*) tla. Kad je H_y viša od $4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ (ili 4 mekv $H^+/100 \text{ g tla}$) za potpunu neutralizaciju kiselosti tlo treba kalcizirati (teoretski) tako da se za svaki $\text{cmol}^{(+)} \text{ H kg}^{-1}$ primijeni $840 \text{ kg CaO ha}^{-1}$ do dubine od 20 cm. Preračunato u 100 % kalcijev karbonat to iznosi $1.500 \text{ kg CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ili $\sim 2.000 \text{ kg karbokalka ha}^{-1}$. Dakle, ako je kemijskom analizom utvrđena

hidrolitička kiselost od $6 \text{ cmol}^{(+)}\text{H kg}^{-1}$, za njenu potpunu neutralizaciju potrebno je $9.000 \text{ kg CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ili $12.000 \text{ kg karbokalka ha}^{-1}$. Zapravo, i takav jednostavan proračun ima nedostatke, jer se kod utvrđivanja potencijalne kiselosti tla, odnosno hidrolitičke kiselosti, ukupna kiselost tla aproksimira, što ponekad može značajno odstupati od stvarne situacije. Razlog je standardna metoda kojom se ne zamjene svi kiseli ioni na adsorptivnom kompleksu tla, što se korigira faktorom 1,75, a on može biti i dvostruko viši u ekstremno kiselim tlima.

Potreba za kalcizacijom, također se veoma često određuje pomoću tablica koje uzimaju u obzir vrijednost izmjenjive reakcije tla, njegov mehanički sastav i tip korištenja tla gdje je biljna vrsta odlučujući čimbenik. Takav pristup je vrlo rizičan jer može izazvati niz pogrešaka i ozbiljnih problema. Naime, kod unosa veće količine materijala za kalcizaciju od potrebne, porast oksidacijskih procesa može prouzročiti brz gubitak organske tvari u tlu, sniziti raspoloživosti fosfora i svih mikroelemenata iz grupe teških metala te vrlo brzo dolazi do pada plodnost tla. Također, suvišak kalcija praktično je nemoguće (zapravo, apsolutno je neisplativo) ukloniti iz tla. S druge strane, pre nizak intenzitet kalcizacije, s obzirom na cijenu i kratko vrijeme djelovanja, ekonomski je neisplativ te kalcizaciju treba provesti samo na temelju analize tla.

Kalcizacija je vrlo stara agrotehnička mjera (poznavali su ju stari Rimljani) i njezini pozitivni učinci na kiselim tlima dobro su poznati (Tablica 19.). Ipak, ona može izazvati drastične promjene u raspoloživosti hraniva, posebice fosfora i teških metala, pa se mora provoditi obazrivo. Mudro je postupno utjecati na podizanje pH vrijednosti tla (učinak kalcizacije na 3 do 4 godine), jer promjena od vrlo kisele do neutralne sredine radikalno mijenja uvjete (biološko-fizičko-kemijska svojstva tla), što zatim zahtijeva meliorativne doze mineralnih gnojiva, prvenstveno fosfora i mikroelemenata te unošenje većih količina organskih gnojiva za humizaciju zbog porasta oksidacijski procesa u tlu i ubrzanog razlaganja organske tvari. To vodi, nakon početnog porasta efektivne plodnosti, u iscrpljivanje tla i pad njegove produktivnosti. Stoga se u razvijenim zemljama može čuti poslovice "*Kalcizacija bogati očeve, a siromaši sinove*".



Slika 23. Vizualizacija potrebe u kalcizaciji (Ca t ha^{-1}) Osječko-baranjske županije (empirijski *Bayesian kriging* na temelju ~27.000 uzoraka, Vukadinović, 2015.)

Općenito, tla čija je izmjenjiva kiselost $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$ ne bi trebalo kalcizirati, kad je $\text{pH}_{\text{KCl}} 4,5 - 5,5$, potreba za kalcizacijom je umjerena, a kad je $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$, kalcizacija je neophodna mjera popravke tala. Također, kad je hidrolitička kiselost tla $\text{H}_y < 4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ kalcizacija nije potrebna.

Za proračun potrebe kalcizacije Osječko-baranjske županije (Slika 23.) autor ovog teksta koristi empirijsko-egzaktni postupak koji uzima u obzir zasićenost adsorpcijskog kompleksa tla bazama, pH_{KCl} , hidrolitičku kiselost, volumnu gustoću tla (g cm^{-3}), koncentraciju humusa, ciljnu saturiranost tla bazama i dubinu oraničnog sloja. Ovakav pristup je veoma pouzdan jer se koristi više indikatora koji određuju, ili utječu na kiselost tla.

S finoćom mljevenja materijala za kalcizaciju raste i njihova djelotvornost (zbog porasta dodirne površine s česticama tla), dok krupniji materijal ima produženo (višegodišnje) djelovanje i treba ga koristiti za kalcizaciju kod zasnivanja trajnih nasada. Nedostatak kalcija kod voćaka (jabuke i kruške) može se spriječiti prskanjem sprejom kalcijevog klorida ili nitrata (CaCl_2 ili $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) kad je temperatura zraka niža od 27°C . Za jabuke se koristi koncentracija 360 g, a za kruške ~150 g na 100 litara vode. Ovakav tretman pomaže i u stakleničkoj, odnosno plasteničkoj proizvodnji rajčice i paprike, jer je u vlažnoj atmosferi nizak intenzitet transpiracije uz slabo premještanje Ca u plodove na kojima nastaju tipične tamne mrlje zbog razgradnje staničnih stjenki.

Za kondicioniranje tla, kod nas se osim kalcizacije i humizacije ponekad koriste i slijedeći poboljšivači:

Lumbripost (vermikompost, orbig)

Lumbripost je organski proizvod dobiven upotrebom gujavica iz organskih otpadaka, najčešće stajnjaka. Koristi se općenito za povećanje plodnosti, a najbolje rezultate daje u uzgoju lončanica. Djeluje na poboljšanje strukture (rastresitost, bolja retencija vode), povećanje opće mikrobiološke aktivnosti tla i aktivaciju nepristupačnih hraniva u tlu.

Gips (CaSO_4)

Gips se koristi kao sulfatno sredstvo za kalcizaciju bez podizanja pH-vrijednosti (može se primijeniti i *kalcijev polisulfid*) koji neutralizira alkalnost tla izazvanu suviškom natrija (posebice Na_2CO_3), poboljšava strukturu (aeraciju i upijanje vode) jer uklanja natrij i zamjenjuje ga s kalcijem na adsorpcijskom kompleksu. Koristi se i kao umjereni zakiseljavač tla. *Vapno* (kao i *karbokalk*) ni u kom slučaju ne treba primjenjivati za uklanjanje natrija iz slanih i alkalnih tala jer mu je topljivost neznatna iznad pH 7 (~100 puta manja u odnosu prema gipsu) te još više podiže ionako visoku pH-vrijednost tla.

Primjenu gipsa dobro je kombinirati s organskom i/ili zelenom gnojibom uz obvezno zaoravanje žetvenih ostataka radi popravke strukture i poroznosti alkalnih tala čime se pospješuje bolje ispiranje natrija. Međutim,

duboka obrada uz primjenu gipsa često može izazvati još jaču disperziju čestica tla pa je način obrade, posebice duboke, dobro testirati na manjoj površini. Umjesto gipsa može se koristiti i *fosfogips* koji zaostaje kao industrijski otpad u proizvodnji fosfornih gnojiva (npr. Petrokemija, Kutina), odnosno sulfatne kiseline. Njegova niska radioaktivnost ne predstavlja opasnost kad se koristi kao poboljšivač tla.

Komposti

Komposti pored funkcije gnojidbe imaju i ulogu *kondicionera* tla s jakim djelovanjem na strukturu (aeraciju i retenciju vode), boju i povećanje biogenosti tla.

Treset

Treset može biti prirodni, sušeni, komprimirani, više ili manje razloženi (vlaknasti) i preparirani (kemijski obrađen s različitim mineralnim dodacima) za posebne namjene. Primjena treseta povećava retenciju vode u tlu 5 - 15 puta na unesenu masu (humus 2,6 - 6,0 puta), čini tlo rahlim i toplijim (zbog velike količine organske tvari i povećanog kapaciteta za zrak uz tamniju boju). Često mu se dodaje kalcijev karbonat (CaCO_3) za smanjivanje kiselosti, *zeoliti*, *perlit* ili *vermikuliti* za povećanje adsorpcijskih svojstava i vezivanje mineralnih oblika hraniva u raspoloživom obliku.

Malčevi

Malčevi se također mogu smatrati kondicionerima tla jer mijenjaju zemljišne uvjete u različitim vrstama biljne proizvodnje. Posebice se koriste u povrćarstvu, voćarstvu i sličnim "malim" proizvodnjama, a znatno manje u ratarstvu. Primjenjuju se različiti organski i anorganski malčevi čija funkcija je vrlo značajna, a ponekad i dekorativna. Naime, malčevi povećavaju retenciju vode, štite tlo od isušivanja, zasjenjuju i zadržavaju rast korova, privlače zemljišne crve, povećavaju temperaturu tla u hladnijem periodu vegetacije, štite nagnuta tla od erozije i sl. Malčevi od prirodnog materijala, osim funkcije prekrivanja tla, razgradnjom oslobađaju hraniva, posebice dušik.

Prirodni malčevi mogu biti vrlo različiti materijali, npr. slama žitarica, sijeno, kora drveta, različiti organski otpaci kao što je lišće i sl. Od anorganskih

malčeva najčešće se koriste sintetske folije koje mogu biti crne, dekorativno obojene, prozirne, *fotorazgradive*, različitog sastava (*PVC*, *polietilen*, *poliester*), *permeabilne* ili potpuno nepropustljive za vodu i plinove, već prema namjeni. Od anorganskih malčeva mogu se koristiti i mljeveni minerali (*granit*, *vulkanske stijene*, *šljunak* i sl.), najčešće kao dekorativni malčevi u hortikulturi.

Zeoliti

Zeoliti su povećana grupa prirodnih, super poroznih minerala, poznati kao *molekularna sita*, velike apsorpcijske površine (iz grupe *hidratiziranih alumosilikata*, odnosno *tektosilikata*, najčešće *klinoptilolit*), velikog su negativnog naboja te zadržavaju katione u zoni korijena u izmjenjivom (lako usvojim obliku) uz sprječavanje gubitaka amonijskog dušika, kalija i većine mikroelemenata. Također, zeoliti zadržavaju i pesticide u tlu uz njihovu veću učinkovitost.

Smjesa gnojiva i zeolita može dati isti prinos uz primjenu manje doze gnojiva zbog smanjenih gubitaka amonijskog dušika *volatizacijom* (hlapljenjem) i ispiranjem. Osim toga, zeoliti zadržavaju i vodu i hraniva u zoni korijena, što je naročito povoljno kod primjene fertigacije sustavima kap po kap.

Zeoliti se primjenjuju u količini 2 do 10 kg po stablu kod zasnivanja trajnih nasada, a uspješno se koriste u uzgoju različitih kultura, uključujući žitarice, povrće i dr. Ipak, zeoliti nemaju magična svojstva. Naime, zeoliti mogu vezati tek ~55 g vode na 100 g i osiguravati, kad je primijenjena količina adekvatna, dugotrajnu vlagu u zoni korijena tijekom sušnih razdoblja. Da bi primjena zeolita imala očekivani učinak, trebalo bi ih primjenjivati u meliorativnoj dozi, npr. 10 t ha⁻¹, pa i tada to odgovara količini od svega ~5,5 mm oborina, te nekoliko stotina kg po ha zasigurno ne može dati primjetan učinak.

Zašto je potrebno gnojiti

Trenutačna proizvodnja hrane nije dostatna za podmirenje globalnih potreba čovječanstva, premda je u razvijenim zemljama, koje proizvode

više hrane od njihovih potreba, sve veća *alternativna proizvodnje hrane* uz sve češće postavljano pitanje: *Zašto se koriste mineralna gnojiva?* Na to pitanje može se relativno jednostavno odgovoriti:

- 1) Uporaba gnojiva je neophodna radi postizanja visokih i stabilnih prinosa te isplativosti rada i ulaganja u biljnu proizvodnju uz viši ekonomski i socijalni status farmera,
- 2) Suvremena gnojidba temelji se na *kemijskom konceptu ishrane bilja* uz najveće povećanje profitabilne poljoprivredne produkcije i uz bolju kakvoću hrane,
- 3) Povoljni prateći efekt gnojidbe je povećanje plodnosti tla što rezultira visokim i stabilnim prinosima, ali i većom otpornošću biljaka na bolesti i klimatske stresove.

Često se pogrešno smatra kako je učinkovitost gnojiva najvažniji pokazatelj uspješnosti gnojidbe i pritom zaboravlja da je gnojidba najprije u funkciji veće produktivnosti biljno-proizvodnog sustava. Učinkovitost hraniva samo je jedan aspekt produktivnosti tla pa je podjednako važna i nadoknada svih oblika gubitaka, povećanje bioraspoloživosti hraniva, održavanje povoljnog omjera pojedinih hraniva, poboljšanje kemijskih i fizikalnih svojstava tla i dr. (Tablica 20.).

Gnojidba uključuje i snažan utjecaj na regionalno gospodarstvo i socijalne uvjete kroz veću i jeftiniju proizvodnju hrane te bi trebala biti neprestano u fokusu znanstvenih, stručnih i društveno-političkih struktura, što se često zanemaruje.

Ključno pitanje gnojidbe je: *Koliko hraniva treba unijeti u tlo da se osigura očekivana visina prinosa?* Naime, usjev iskoristi samo dio hraniva primijenjenih gnojdbom, ovisno o biljnoj vrsti, odnosno kultivaru, duljini vegetacije, te zemljišnim i klimatskim uvjetima. Stoga pouzdan odgovor nije moguć bez kemijske analize tla jer ona daje odgovor na pitanje *koliko hranjivih tvari biljke mogu usvojiti iz tla*, a analiza biljne tvari odgovor na pitanje *koliko je potrebno hraniva za očekivanu, odnosno moguću visinu prinosa*.

Tablica 20. Indikatori produktivnosti tla

Indikator	Opis
Prinos	Merkantilni dio usjeva ostvaren po jedinici površine u određenom vremenu.
Kakvoća proizvoda	Sadržaj šećera, proteina, minerala, vitamina i druga svojstva koja utječu na vrijednost proizvoda, odnosno hrane.
Učinkovitost gnojidbe	Povećanje prinosa po jedinici primijenjene (<i>agronomska</i>) ili usvojene aktivne tvari gnojiva (<i>fiziološka učinkovitost</i>).
Učinkovitost vode	Povećanje prinosa po jedinici primijenjene ili dostupne količine vode.
Učinkovitost rada	Proizvodnost rada u odnosu na potrebno vrijeme uz primijenjenu agrotehniku.
Energetska učinkovitost	Prinos usjeva izražen na jedinicu primijenjene energije za njegovu proizvodnju.
Neto dobit	Vrijednost merkantilnog i biološkog prinosa u odnosu na ukupne troškove proizvodnje.
Dobit na ulaganja	Dobit u odnosu na kapitalne investicije.
Porast ekološke svijesti	Udio proizvođača koji prihvaćaju principe dobre poljoprivredne prakse.
Produktivnosti tla	Porast plodnosti tla, veći sadržaj organske tvari i porast intenziteta ostalih indikatora produktivnosti tla.
Stabilnost prinosa	Veća elastičnost prinosa usjeva (stabilnost) u odnosu na vremenske uvjete i bolesti usjeva.
Dohodak	Poboljšanje standarda i kakvoće života farmera.
Radni uvjeti	Veća kvaliteta života i zadovoljstvo radnika poslom.
Voda i kakvoća zraka	Bolja kontrola gubitaka hraniva ispiranjem u podzemne vode i gubitaka volatilacijom i denitrifikacijom.
Ekosustav	Estetika okoliša, prirodni predatori i oprašivači, rekreacija, lov, ribolov itd.
Bioraznolikost	Teško se može kvantificirati, osim opisno.
Erozija tla	Pokrivenost tla usjevima, žetvenim ostatcima, pokrovnim usjevima, način obrade (npr. konzervacijska obrada) i dr.
Gubitak hraniva	Ukupan iznos gubitaka hraniva iz tla, uključujući procese usvajanja, ispiranja, volatilacije, denitrifikacije, kemijske i fizikalne fiksacije.
Bilanca hraniva	Proračun inputa i outputa hraniva jedne farme (bilanca hraniva).

Koncept i strategija suvremene gnojidbe

Visoke prinose moguće je postići adekvatnom i pravovremenom gnojidbom dušikom i uz primjenu fosfora i kalija. Dušik je „motor“ biljne proizvodnje bez kojeg ne može funkcionirati fotosinteza, tvorba bjelanjčevina i mnogih drugih spojeva koji su biljkama potrebni za rast i razvitak. Gotovo polovica dušika u našim tijelima vodi podrijetlo iz tvornica mineralnih gnojiva koje u svijetu proizvedu godišnje više od 100 mil. tona N-gnojiva.

Visoka produkcija hrane ima i svoju cijenu. Naime suvišak dušika, često i fosfora, u tekućim vodama, jezerima i morima guši životinjski i biljni svijet, onečišćuje podzemne (pitke) vode i utječe na globalno zagrijavanje Zemlje. Primjena nepotrebnih, odnosno suvišnih hraniva gnojidbom, osim što nije učinkovita, stvarna je opasnost za onečišćenje podzemnih voda. Znanstvene procijene suvišne primjene dušika su između 30 i 60 % i upravo je to „prostor“ u kojemu se mora i može mnogo više učiniti tako da proizvodnja hrane bude visoka i isplativa, a utjecaj na okoliš ekološki prihvatljiv.

Dugoročne studije u SAD pokazuju da gnojidba doprinosi s više od 50 % prinosu kukuruza, a učinkovitost primjene dušika porasla je najmanje 35 % u posljednjih 25 godina, što znači da je danas potrebno manje N gnojiva za istu razinu prinosa. Međutim, problem suvišne primjene dušika veoma je različit diljem našeg planeta Zemlje, jer npr. SAD ima šest puta veće poljoprivredne površine po stanovniku u odnosu na Kinu i može zadovoljiti potrebe za hranom uz puno niže doze N. I pored toga što je primjena dušika u SAD niža, procjenjuje se da ~50 % od primijenjenog N završi u podzemnim vodama, što ozbiljno nameće potrebu revizije sustava uzgoja mnogih usjeva. Suvremena istraživanja pokazuju da se u sustavima s niskim ulaganjima (*low input*), ali uz sjetvu zimskih pokrovnih usjeva, postižu najbolji rezultati obzirom na visinu uroda i uz ekološki prihvatljiv rizik, gotovo jednak razini ekološke (organske) proizvodnje hrane.

Gnojidba na temelju kemijske, odnosno biološko-fizikalno-kemijske analize tla, jedina omogućuje pouzdanu procjenu potrebe za hranivima. Naime, gnojiva će biti znatno učinkovitija ako se primjenjuju u potrebnoj količini i

omjeru, na vrijeme i uz pravilan način primjene, ovisno o planiranom/očekivanom prinosu, vrsti usjeva, genetskoj specifičnosti kultivara i redosljedu u plodosmjeni. Također, važno je imati na umu da svi biogeni elementi, bez obzira na potrebnu količinu, imaju istu važnost za rast i razvitak biljaka i da je visok prinos nemoguće postići s viškom ili nedostatkom bilo kojeg od njih. Gnojidba mora uvažiti i činjenicu da se biogeni elementi usvajaju neravnomjerno tijekom vegetacije te se mogu razlikovati dva razdoblja:

- 1) Maksimalna potreba pojedinog hranjivog elementa (intenzivan porast vegetacijske mase, formiranje i/ili nalijevanje sjemenki ili plodova),
- 2) Kritično razdoblje (rani porast, razvitak elemenata prinosa - *primordija* i prelazak iz vegetativne u generativnu fazu razvitka).

Fosfor i kalij treba uvijek primijeniti u jesen, odnosno pod osnovnu obradu. Mnogo je razloga za primjenu P i K prije osnovne obrade, npr.: homogenizacija teško pokretnih hraniva u sloju tla u kojem će se naći najveća masa korijena, vrijeme, sprječavanje sapiranja kod površinske ili plitke primjene gnojiva, podjednako dobra mogućnost usvajanja fosfora i kalija ozimim i jarim usjevima, kao i onim u narednih nekoliko godina. Pored toga produžni efekt i „gnojidba na zalihu“ P i K i njihovo bilanciranje, znatno utječe na ukupno manji trošak gnojidbe. Velik problem kod primjene P i K u jesen je što na našem tržištu uglavnom nema pojedinačnih gnojiva, niti PK formulacija, a NP (MAP i DAP) i NPK kombinacije sadrže previše dušika, posebice u nitratnoj (lako pokretnoj) formi što na lakim, propusnim i vlažnim tlima utječe na velike gubitke N tijekom zime. Također, treba imati u vidu da previsoke doze uree i UAN-a u jesen prate visoki gubitci N iz tla tijekom zime, posebice na lakim tlima, kao i u „vlažnim“ i „toplom“ zimama.

Organski gnoj dobar je izvor hranjivih tvari, ali uz dosta problema u primjeni, kao što su nizak sadržaj biogenih elemenata, njihove neadekvatne proporcije za različite usjeve, sporo djelovanje i veliki gubici hraniva, te problemi vezani uz ravnomjernu raspodjelu i inkorporaciju u tlo i dr. Kako je N-gnojidba kritična za većinu usjeva, treba osigurati najveću moguću učinkovitost dušika, a P i K rješavati mineralnim (anorganskim) gnojivima ako nedostaju (najekonomičnije „na zalihu“). Također je važno kako mineralizacija organskog gnojiva (uključujući i komposte) ovisi o složenim

interakcijama mikroorganizama te zemljišnih i vremenskih uvjeta koje je teško predvidjeti što najčešće rezultira nižom učinkovitosti organskih u odnosu na mineralna gnojiva. Stoga organski gnoj treba primijeniti pod okopavine (npr. kukuruz, šećernu repu, krumpir itd.) puno prije sjetve, najbolje u kasnu jesen (kad je temperatura tla niska, ali iznad 0°C) i odmah ga inkorporirati u tlo obradom zbog smanjenja gubitaka N.

Veliki potencijal u optimizaciji N-prihrane dušikom pokazuje i primjena senzora koji prema boji, apsorpciji svjetlosti i gustoći usjeva reguliraju dozu N. Tehnologija *preciznog uzgoja* usjeva podrazumijeva i *diferencijalnu* (lokaliziranu) gnojidbu na prostoru iste proizvodne parcele na temelju raznih izvora informacija (karata svojstva tla, terenskih atributa, daljinskih istraživanja, karata visine prinosa itd.).

Suvremeni koncept gnojidbe smatra da se za optimalan rast usjeva i postizanje visokih prinosa mogu koristiti organski i anorganski izvori hranjivih tvari (tzv. *integrirano gospodarenje hranivima*) pa učinkovita primjena gnojiva nije moguća bez dobrog poznavanja potrebne količine i dinamike usvajanja biogenih elemenata biljkama, njihove bioraspoloživosti i ciklusa (*transformacije*) hraniva u tlu kako bi se smanjili gubici i primijenila adekvatna doza hraniva za postizanje visokih prinosa uz ekološki prihvatljiv rizik od onečišćenja okoliša. Dakle, moderna gnojidba (učinkovita, isplativa i ekološki prihvatljiva) ne može se zamisliti bez stručnog znanja proizvođača te analize tla, odnosno gnojidbenih preporuka.

Vrhunski prinosi i dobra kakvoća uroda postizu se samo korištenjem kombiniranog učinka, odnosno optimiziranjem cjelokupne agrotehnike i prakse upravljanja, pa samo gnojidba, ma kako ona bila važna, nije dovoljna za dobivanje visokih prinosa dobre kakvoće.

Vrste gnojiva i njihova primjena

Što su gnojiva i koje su razlike između velikog broja različitih tipova gnojiva? U čemu se razlikuju mineralna od organskih gnojiva, granulirana (zrnata) od tekućih? Imaju li vodotopljiva gnojiva prednost nad onima koja se sporije razlažu u tlu? Čemu služe sporodjelujuća gnojiva s vremenski

kontroliranim oslobađanjem hraniva? To su česta pitanja koje poljoprivredni proizvođači vrlo često postavljaju pa krenimo redom s odgovorima.

Premda se gnojiva nazivaju i biljnom hranom, ona to nisu jer ne sadrže energiju potrebnu za životne aktivnosti biljaka već samo građevne i funkcionalne elemente. Biljke u procesu fotosinteze proizvode svoju hranu, najprije šećere koje razgrađuju i proizvode energiju potrebnu za rast i razvitak. Loše ishranjene biljke imaju univerzalne simptome slabe ishranjenosti, odnosno sporo rastu i napreduju, imaju manju masu, lišće je fotosintetski slabo funkcionalno i klorotično (svjetlo zeleno ili čak žuto, a donje ponekad i ljubičasto), zameću manje plodova/sjemena, što u konačnici rezultira kraćom vegetacijom i niskim prinosom loše kakvoće.

Kompletna gnojiva sadrže sva tri glavna elementa ishrane (N, P i K) koje biljke trebaju u znatno većoj količini nego što ih mogu usvojiti iz negnojenog tla. Omjer koncentracije dušika, fosfora i kalija naziva se *formulacija* NPK gnojiva koju predstavljaju tri broja. Npr., oznaka na mineralnom gnojivu 10-20-30 označava da ono sadrži 10 % dušika, 20 % fosfora (izraženog kao P_2O_5) i 30 % kalija (izraženog kao K_2O), odnosno ukupna koncentracija aktivne tvari je 60 % (što je najčešće gornja granica koncentracije kompleksnih gnojiva). Premda se formulacija gnojiva tradicionalno označava omjerom N : P_2O_5 : K_2O , biljke ne usvajaju niti jedno od tri glavna hraniva u navedenom kemijskom obliku. Dušik se usvaja u amonijskom (NH_4^+), nitratnom (NO_3^-) i amidnom obliku (NH_2), ali i u spojevima čija je molekularna masa mala (<1.000 kD), a fosfor i kalij kao ioni ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} i K^+).

Gnojiva dolaze u mnogo različitih oblika i svako od njih ima prednosti, ali i mane. Za svaku vrstu gnojiva, važno je slijedite tehnološke upute primjene za pojedine biljne vrste, načine uzgoja i dr. Suviše gnojiva, jednako kao i premalo, nije dobro za biljke. Posve je pogrešno mišljenje da „*ako malo gnojiva daje dobar učinak, onda je veća količina još bolja*“, te je mudro i vrlo korisno imati analizu tla i na njoj utemeljenu gnojidbenu preporuku. Naime, velika količina gnojiva često sadrži puno više hraniva od biljnih potreba, ali i njihove mogućnosti usvajanja (npr. u ranim fenofazama dok su biljke još male i slabo razvijenog korijena, kad je suho, hladno, zbijeno ili

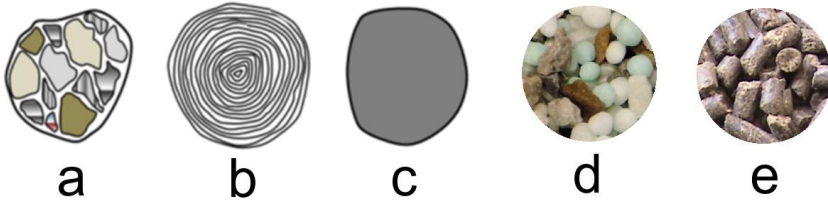
vlažno tlo i dr.). Jedan dio suvišnih hraniva (tzv. *luksuzna ishrana*), preći će u manje raspoložive oblike, isprati se ili izgubiti iz tla na druge načine, a suvišak usvojenih hraniva može produžiti, ili skratiti vegetaciju i izazvati oštećenja korijena i/ili lišća što rezultira nižim prinosom loše kakvoće. Suvišna, posebice vodotopljiva hraniva će se isprati do podzemne vode i načiniti štetu okolišu, a neposredno nakon primjene mogu izazvati tzv. *solni udar* zbog visoke koncentracije soli u blizini korijena, odnosno sjemena. Stoga je razumno i ekonomično primijeniti dozu gnojiva koja će osigurati rentabilnu visinu prinosa dobre kakvoće proizvedene hrane, odnosno primijeniti količinu gnojiva koja odgovara potrebama biljke, stanju usjeva, plodnosti tla i istovremeno vodi računa o klimatskim uvjetima i mogućem urodu.

Gnojiva

Mineralna gnojiva (sintetska ili kemijska) se dijele prema podrijetlu, namjeni, sastavu i načinu proizvodnje, a prema funkciji dijele se na:

- *Neposredna ili prava mineralna gnojiva* koja se u tlu pod utjecajem vodene faze tla vrlo brzo razgrađuju do tvari koje biljke ubrzo nakon gnojidbe izravno mogu usvojiti korijenom. Sadrže hranjive elemente u obliku mineralnih soli koje se lako i brzo otapaju (*hidroliza*) i nakon toga biljke mogu usvojiti.
- *Posredna gnojiva* također sadrže biogene elemente, ali u kemijskom obliku koje biljke ne mogu odmah usvojiti (npr.: humus, vapno i dr.). Djeluju posredno (npr. potiču mikrobiološku aktivnost, neutraliziraju kiselost i omogućavaju bolje usvajanje pojedinih elemenata ishrane, preko poboljšanja strukture tla i dr.) ili izravno nakon mikrobiološke ili kemijske transformacije.
- *Kompletna gnojiva (potpuna, kompleksna ili NPK gnojiva)* pružaju sve bitne sastojke za rast biljaka tako da dodatna gnojiva nisu potrebna.
- *Nepotpuna gnojiva* sadrže samo jedan ili dva od tri glavna hranjiva elementa (N, P, K, NP, NK ili PK), npr. MAP ili kalijev nitrat i dr.
- *Miješana gnojiva* se dobiju fizičkim miješanjem pojedinačnih gnojiva.

- *Peletirana mineralna gnojiva* ili *složena gnojiva* su zapravo *aglomerirana* miješana gnojiva (formirana u *granule* ili *pelete* komprimiranjem uz vezivno sredstvo ili kod određene vlage, Slika 24.).
- *Sintetska organska gnojiva* (urea, kalcij-cijanamid i dr. koja sadrže ugljik) također mogu biti granulirana.



Slika 24. Granulirano složeno gnojivo (a), granule formirane slojevitim rastom (b), gnojivo s homogenim granulama (c), mješano gnojivo (d) i pelete organskog gnojiva

Prema podrijetlu razlikuju se sljedeća gnojiva:

- *Mineralna gnojiva (sintetska, umjetna, kemijska)* najvećim dijelom su mineralne soli, iako se u ovu grupu obično ubraja i urea koja je organski spoj, ali se u tlu pod djelovanjem mikroorganizama u tlu transformira do mineralnih oblika dušika. Premda i mineralna gnojiva mogu sadržavati ugljik, sintetski proizvodi su, za razliku od prirodnih organskih gnojiva, lako topljivi u vodi, često i 100 %.
- *Organska gnojiva (prirodna, naravna)* sadrže hranjive elemente pretežito u organskom obliku i prirodnog su podrijetla, npr. stajnjak, treset, slama i dr.
- *Organomineralna gnojiva* su smjesa organskih i mineralnih.
- *Bakterijska gnojiva* sadrže kulture bakterija koje imaju sposobnost transformacije nepristupačnih oblika hraniva u bioraspoložive.

Prema vremenu unošenja gnojiva se dijele na:

- *Osnovna gnojiva* koja se unose pod brazdu,
- *Startna gnojiva* koja se unose neposredno prije ili za vrijeme sjetve,
- *Gnojiva za prihranu* koja se dodaju tijekom vegetacije.

Prema vrsti hranjivog elementa gnojiva su dušična, fosforna, kalijeva, magnezijeva, borna itd.

Osnovni oblici dušičnih gnojiva su:

- *Amonijska* (amonijske soli, npr. sulfati, kloridi, karbonati),
- *Nitratna* (kalcijeve, natrijeve i dr. soli nitratne kiseline),
- *Amonijskonitratna* (npr. AN, KAN) i
- *Amidna gnojiva*.

Fosforna gnojiva su uglavnom soli *ortofosfatne kiseline* (fosforne kiseline, ali i *metafosfatne*, *pirofosfatne* i *polifosfatne* kiseline), dok se kalij nalazi u obliku soli *klorida*, *sulfata*, *karbonata* itd.

Prema agrokemijskom značaju *prava mineralna gnojiva* sadrže neophodne biogene elemente, a *posredna gnojiva* ih mobiliziraju iz rezervi tla, bilo poboljšanjem fizičkih svojstava tla, ili putem kemijskih i bioloških promjena koje izazivaju u tlu. Tu se ubrajaju i *kondicioneri* za kalcizaciju, uporaba gipsa i sl.

Mineralna gnojiva mogu sadržavati jedan ili više hranjivih elemenata, pa se prema tome dijele na:

- *Pojedinačna mineralna gnojiva* i
- *Složena mineralna gnojiva*.

Npr., *natrijnitrat* (NaNO_3) i *magnezijnitrat* ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) su pojedinačna mineralna gnojiva, premda magnezij i natrij biljke također koriste, dok su *kalijev nitrat* (KNO_3) i *monoamonijev fosfat* ili MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) složena mineralna gnojiva koja od tri glavna elementa ishrane, sadrže fosfor, odnosno kalij. Ovisno o broju glavnih elemenata, složena gnojiva su *dvojna* ili *trojna (potpuna)*. Gnojiva koja sadrže malu količinu *punila* nazivaju se *koncentrirana*, pri čemu se punilom prilagođava potrebna koncentracija hraniva. Ako je punilo produkt kemijske reakcije kod proizvodnje mineralnih gnojiva, naziva se još i *balast*.

Dakle, *pojedinačna mineralna gnojiva* sadrže samo jedan od glavnih hranjivih elemenata (N, P ili K), *miješana* su smjesa pojedinačnih gnojiva (bez obzira jesu li samo fizički smiješana ili su peletirana), dok su kompleksna gnojiva proizvod kemijskih reakcija i sadrže više hranjivih

elemenata u nekoliko oblika. Podjela na kompleksna i miješana gnojiva je donekle uvjetna, jer kod miješanih gnojiva dužim skladištenjem dolazi također do različitih kemijskih reakcija koja mogu dovesti i do pogoršanja fizičkih (npr. higroskopsnost i raspadanje granula) ili kemijskih svojstava (np. gubitak nekog hraniva ili njegova transformacija u manje raspoložive kemijske oblike) mineralnih gnojiva. Nepoželjne pojave koje nastaju nakon miješanja gnojiva nazivaju se *antagonizam gnojiva*.

Sadržaj i omjer hraniva u gnojivu može biti različit. Gnojiva koja imaju omjer hranjivih elemenata prilagođen potrebama određene biljne vrste ili sadržaju raspoloživih hraniva u tlu, nazivaju se *prilagođena*. Ukoliko sve komponente služe za biljnu ishranu, tada su to *gnojiva bez punila (bezbalastrna)*, a u ovu grupu ulaze soli čiji kation i anion biljke koriste, npr. KNO_3 , NH_4NO_3 itd.

Ovisno o agregatnom stanju, gnojiva su:

- *Kruta,*
- *Tekuća i*
- *Plinovita.*

Kruta gnojiva mogu biti *praškasta, peletirana* (prah komprimiran u granule ili štapiće koji mogu sadržavati pesticide, hormone i dr.), *granulirana* (sušenjem viskozne mase u struji toplog zraka), *trionizirana* (npr. granule vermikulita s NPK) i dr. Tekuća gnojiva se dijele na *prave otopine* (nemaju talog) i *suspenzije*, dok su plinovita takvog agregatnog stanja kod normalnog atmosferskog tlaka (npr. ukapljeni amonijak). Od tekućih gnojiva, u posljednje vrijeme, nudi se više formulacija za različite potrebe koja pored NPK sadrže vrlo često i druge makro i mikroelemente (npr., Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn i B).

Gnojiva koja od biogenih elemenata sadrže isključivo, ili najveću koncentraciju mikroelemenata, nazivaju se *mikrognojivima* jer se rabe u malim dozama (<500 g ha⁻¹ aktivne tvari). Radi poteškoća u ravnomjernoj raspodjeli tako malih količina, uobičajeno se dodaju konvencionalnim gnojivima u procesu njihove proizvodnje. Mikrognojiva su često tekuća i mogu se miješati s pojedinim sredstvima za zaštitu, primjenjivati u sustavima za navodnjavanje (*fertigacija*), ili se sjeme prije sjetve potapa u

nisko koncentrirane otopine takvih gnojiva (ponekad se dodaju u omotač politiranog sjemena).

Moderna *mineralna gnojiva (sintetska, kemijska)* nipošto nisu *umjetna* jer su to kemijski spojevi istovjetni onima koje biljke nalaze u prirodnoj sredini. Također, pored spojeva dušika, fosfora i kalija, sadrže i druge biogene elemente koje biljke zahtijevaju u manjoj količini pa se smatraju *sekundarnim elementima*.

Granularna mineralna gnojiva su čvrste granule (zrna promjera 2 - 5 mm), dok se *tekuća gnojiva* razrjeđuju vodom, ili su to pak prašci (*koncentrati*) koji se miješaju s vodom da se dobije tekuće gnojivo prije upotrebe. Biljke vrlo brzo usvajaju hraniva iz tekućeg gnojiva, dok je za usvajanje iz zrnatih gnojiva potrebno neko vrijeme da se granule otope prije njihovog usvajanja. Sporije otapanje granuliranih gnojiva sprječava premještanje hraniva s vodom te je njihovo djelovanje znatno dulje od tekućih gnojiva koja se lako ispiru iz korijenske zone. Dakle, granulirana gnojiva unose se u tlo (ponekad i po površini - omaške) pa se njihovo djelovanje procjenjuje na 1 - 9 mjeseci, ovisno o vrsti gnojiva, sastavu, načinu primjene i agroekološkim uvjetima.

Sporodjelujuća mineralna gnojiva imaju produžni učinaka, odnosno njihovo djelovanje se proteže tijekom cijele vegetacije, ili čak i dulje, od 12 - 24 mjeseci. Takva gnojiva se dobijaju sintezom kemijskih spojeva koji se u tlu sporo razgrađuju, ili su granule obložene slojem tvari koja ne dopušta brz prelazak hraniva u tlo. U toplim regijama, ali i u umjerenom klimatskom području tijekom toplijeg dijela vegetacije, najčešće kod navodnjavanja ili na lakim tlima, korisno je primijeniti *inhibitore nitrifikacije* (npr. *N-Serve, Dwell, Dicyandiamide, Thiourea* i dr.). Zadaća inhibitora je usporavanje procesa transformacije različitih oblika dušika do lakopokretnog nitratnog oblika, što znatno smanjuje gubitke dušika *ispiranjem* ili *denitrifikacijom*.

Uobičajeni tehnološki postupci za dobivanje sporodjelujućih dušičnih i kompleksnih gnojiva su:

- Prevlačenje granula (*enkapsulacija*) krutih N-gnojiva talinom sumpora (9 - 30 % S), *voskovima* ili različitim *polimerima* kao što su *akrilne smole*,

polistiren, polietilen itd. koji slabo propuštaju vodu i usporavaju razlaganje granula,

- Primjena tzv. „*supergranula*“ koje zadržavaju hraniva unutar granule korištenjem *ionoizmjenjivača*,
- *Kondenzacija uree s aldehidima* (npr. *ureaform*, 38 % N) s produžnim učinkom do 6 mjeseci i neki drugi postupci sinteze i
- *Teško topljivi polimeri* koji sadrže biljna hraniva.

Potrebno je naglasiti da sporim otpuštanjem hraniva iz granule efikasnost gnojiva općenito raste (30 - 100 %), dušičnih s 40 - 60 % na 60 - 90 %, fosfornih s 10 - 30 % na 30 - 60 % i kalijevih s 50 - 70 % na 70 - 90 %.

Organska gnojiva su podrijetlom iz organskih izvora poput krutog stajskog gnoja ili gnojovke i biljnih, odnosno životinjskih ostataka. Učinkovitost organskih gnojiva ovisi o mikrobiološkoj aktivnosti u tlu, odnosno kojom brzinom se razgrađuju u i transformiraju do hraniva pogodnih za usvajanje. Posebno treba naglasiti da organska gnojiva jače potiču aktivnost mikroba tla, gujavica, gljivica i drugih „*razarača*“ organske tvari, a njima se unosi u tlo mnogo manje soli i kiselina. Na žalost, mikrobi su slabo aktivni ispod 10°C pa se mora biti oprezan kod primjene organskih gnojiva (doza, način i vrijeme unošenja). Npr., suviše organskog gnojiva može snažno potaknuti mikrobiološku aktivnost tla što će rezultirati oslobađanjem više hranjivih tvari od potrebe biljaka.

Nekontroliranom uporabom (suviše količine, primjena izvan vegetacije, pri niskim ili visokim temperaturama, u uvjetima visoke vlažnosti, neadekvatne agrotehnike i dr.) biognojiva također onečišćuju okoliš, ponekad i više od mineralnih. Posebice je opasna predozacija dušikom (što je regulirano EU *Nitratnom direktivom*), jer nagomilavanje lako pokretljivog nitratnog oblika dušika u tlu utječe na njegovo pojačano ispiranje uz kontaminaciju okolnih vodotoka i podzemnih voda, a nakupljanje u hrani štetno djeluje na ljude i stoku.

Organska gnojiva, sa ili bez dodatka mineralnih gnojiva, dijele se u nekoliko grupa:

- *Organska gnojiva bazirana na tresetu* (ili tvarima veće stabilnosti u tlu): *treset, kompostirana kora drveća, lignit* i sl., čija je konc. hraniva vrlo niska, a sadrže minimalno 30 % organske tvari,
- *Otpad životinjskog podrijetla* kao što su *rogovi, koštano brašno, krvno brašno* (9 - 13 % N), *perje* i sl.,
- *Gnojiva na bazi otpadnog materijala biljnog ili industrijskog podrijetla*: *pivarska pulpa, uljne pogače soje, uljane repice, masline* ili *suncokreta, vinska pulpa* i dr.
- *Gnojiva na bazi komunalnog otpada*, npr. *muljevi iz otpadnih voda, biogeni i vrtni komposti, komercijalni komposti* i sl. kod kojih treba paziti da korišteni za proizvodnju hrane ne prelaze dopuštenu koncentraciju teških metala, naročito Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg i Zn.

Tipično je za primjenu organskog gnojiva da se ono unosi jednom godišnje, ili jednom u više godina, u pravilu u najhladnijem dijelu godine, kako bi se izbjeglo „*preopterećenje*“ tla hranjivim tvarima, ali i njihov gubitak. Također, organska gnojiva imaju puno dulje vrijeme razgradnje pa se njihov učinak (hranidbeni, ali i na popravak kemijsko-fizikalnih svojstava tla), proteže na više godina, odnosno imaju naglašeni *produžni efekt*.

Uporaba organskih gnojiva, ali samo dok traje njegova redovita primjena, povećava količinu humusa u tlu, a taj učinak je manje primjetan kod primjene tekućih organskih gnojiva. Važno je naglasiti kako primjena organskih gnojiva poboljšava svojstva tla, posebice strukturu što ima za posljedicu bolji vodozračni odnos, veću retenciju vode, veću raspoloživost svih hraniva te jača otpornost tla prema eroziji na nagnutim površinama. Također, primjena organskih gnojiva u razdoblju kad je tlo bez vegetacije ili kad biljke nemaju potrebu za usvajanje hranjivih tvari, može izazvati ekološke probleme (npr. ispiranje nitrata, na lakšim terenima i kalija, gomilanje fosfora u gornjem sloju koji je podložan eroziji i sl.).

Tekuća gnojiva mogu se gotova kupiti ili pripremiti otapanjem prije upotrebe (npr. *urea, kristaloni* i dr.). Često su to obojene tvari radi lakše identifikacije vrste tekućeg gnojiva. Ova gnojiva zahtijevaju primjenu posebnih uređaja za primjenu, npr. prskalice ili fiksni sustavi za navodnjavanje. Učinkovitost tekućih gnojiva je visoka, ali djeluju kratko, najčešće svega 7 - 14 dana te ih je potrebno često primjenjivati. Također, kod prskanja se mora primijeniti niska koncentracija aktivne tvari, dakle

koristiti puno vode, kako ne bi izazvali *ožegotine* (opekline) i druge štete na biljkama (uglavnom lišću i plodovima), a to sve utječe na veću cijene primjene u odnosu na granulirana. Prednost tekućih gnojiva je da su se lako i brzo usvajaju, što je veoma pogodno kao „*starter rješenje*“ za brzi poticaj tijekom vegetacije. Stoga su tekuća gnojiva korisna kao dopuna krutim, kad se za to ukaže potreba.

Prednost organskih gnojiva

- Povoljno djeluju na kemijska, biološka i fizikalna svojstva tla; omogućuju povećanje populacije mikroorganizama (biogenost tla); pojačava se *humifikacija* (sinteza humusa) te raste sadržaj humusa u tlu; tlo je plodnije.
- Biogeni elementi se oslobađaju sporo (mineralizacija organske tvari) do oblika koji biljke mogu usvajati; nema opasnosti od prekomjerne koncentracije bilo kojeg elementa budući da razgradnju organske tvari obavljaju mikroorganizmi i to samo kad su uvjeti za to povoljni (temperatura, vlaga, pH i dr.).
- Sadrže manju količinu mineralnih elemenata (u širokom rasponu ovisno od vrste organskog gnojiva, njegove starosti i načina primjene) te omogućuju uravnoteženu ishranu bilja; zbog niske koncentracije elemenata ne izazivaju nutritivni niti osmotski (solni) stres.
- Djeluju dugotrajno tijekom više godina, jer sprječavaju ispiranje biogenih elemenata iz rizosfere vežući ih na organomineralni koloidni kompleks tla kemijski i polarno (oboje raspoloživo za usvajanje).
- Umjereno stimuliraju rast bilja u duljem vremenskom periodu.
- Jačaju otpornost biljaka na pojavu bolesti i štetočina.
- Korisna su za okoliš jer nakon njihove razgradnje, odnosno mineralizacije, nema značajnih količina štetnih ostataka, nisu podložna ispiranju (gubicima površinskim kretanjem vode kod jačih oborina i/ili navodnjavanja, tzv. *run off*).
- Potiču život u tlu (biogenost) od mikroorganizama (gljive i bakterije) do mezofaune (gujavice, crvi) koji se hrane organskom tvari i utječu na bolje prozračivanje i dreniranost tla.
- Mogu se obogaćivati mineralnim gnojivima i tako prilagoditi formulaciju (omjer NPK hraniva) različitim biljnim vrstama.

Nedostaci organskih gnojiva

- Sporo otpuštaju hranjive tvari, posebice u hladnijim uvjetima (kasna jesen, zima i rano proljeće) što se ne da uskladiti s vremenom najveće potrebe biljaka za hranivima; onečišćavaju okoliš kod mineralizacije izvan vegetacijskog perioda, posebice dušikom.
- Oslobođanje biogenih elemenata u formi koje biljke mogu usvojiti ovisi o aktivnosti mikroorganizama te u uvjetima niske biogenosti i/ili niske aktivnosti mikroorganizama (visoka ili niska temperatura, malo ili suviše vode u tlu, nepovoljan pH, niska biogenost) raspoloživost je nedostatna za veće prinose.
- Skuplja su od mineralnih gnojiva, računajući na malu koncentraciju aktivne tvari i potrebu za primjenom više desetaka tona po hektaru.
- Primjena je često otežana zbog njihovog oblika (velika, rastresita i često nehomogena masa), a peletiranje jako poskupljuje njihovu primjenu.
- Tekuće vrste organskog gnoja, gnojovka i gnojnica moraju se primjenjivati posebnim strojevima (aplikatorima).
- Često im je ograničena količina zbog slabe i odvojene stočarske proizvodnje.
- Pri nepravilnom skladištenju i primjeni vrlo su visoki gubici, posebice dušika.
- Organska gnojiva koja nisu u potpunosti kompostirana mogu uzrokovati probleme kada se koriste kao svježe gnojivo zbog pojave tzv. dušične depresije, širenja korova sjemenom, bolesti i štetočina i dr.

Prednosti mineralnih gnojiva

- Dostupna su posvuda; najčešća su vrsta gnojiva u praksi.
- Proizvode se u različitim formulacijama (ili se to može postići njihovim miješanjem) te su prilagođena za sve biljne vrste i namjene (osnovna, za prihranu), predstjetvenu primjenu, startna, folijarna, za fertigaciju (irigacija + gnojidba) i kemigaciju (irigacija + gnojidba + zaštita); mogu se primjenjivati u svim godišnjim dobima.
- Brzo djeluju (učinak je vidljiv u roku od 1 - 2 tjedna).
- Relativno su jeftina; lako i jednostavno se raspodjeljuju zbog granulacije (granule, pelete, tekućine, tablete, s omotačima za sporo otpuštanje hraniva, sa ili bez balasta i dr.) ili unose aplikatorima u tlo (tekuća i mikrogranulirana).

Nedostaci mineralnih gnojiva

- Većina mineralnih gnojiva topiva su u vodi te su mogući visoki gubitci (~1/3) kretanjem vode u tlu (*mass flow*) ili difuzijom (od veće koncentracije na mjestu primjene do izvan zone korijena ili podzemne vode).
- Kratko vrijeme djelovanja dušičnih gnojiva, osim ako se koriste oblici s kontroliranim otpuštanjem N.
- Nisu strukturni dio tla pa povećavaju produktivnost tla povećanjem raspoloživosti hraniva, ali bez poboljšanja njegove strukture.
- Pri nepravilnoj uporabi (količina, vrijeme, mjesto primjene) mogu smanjiti plodnost tla, npr. stimulacijom aktivnosti mikroorganizama koji potom ubrzano razgrađuju organska tvar u tlu što u duljem vremenskom periodu iscrpljuje tlo.
- Forsiranje vegetativnog rasta, posebice N-gnojivima, može rezultirati većom potrebom košnje ili orezivanja vinograda i voćnjaka, produljivanjem vegetacijskog perioda, porastom žetvenog indeksa i/ili smanjivanjem merkantilnog dijela.
- Kod nepravilne, prekomjerne ili pogrešne primjene mineralnih gnojiva, koja su po kemijskom sastavu uglavnom soli, opasnost od štetnih posljedica je visoka; suvišak izaziva nutritivni stres, osmotski ili solni stres, u kontaktu s lišćem dehidrataciju tkiva, ožegotine i defolijaciju (gubitak lišća).
- Sekundarni elementi ishrane (Ca, Mg i S), kao i mikroelementi često nedostaju u mnogim visoko koncentriranim mineralnim gnojivima te ih je potrebno posebno primjenjivati.
- Izazivaju često ekološke probleme zbog gubitaka ispiranjem, posebice na lakim, propusnim tlima, slabe retencijske moći za vodu i zadržavanje hraniva u zoni korijena; često je rezultat onečišćenje voda fosforom.
- Nitratni oblik dušika je lako pokretan u tlu, a gubici amonijskog, kod visokog pH, također mogu biti veoma visoki (volatizacija).
- Nepravilnim skladištenjem i miješanjem gnojiva dolazi do gubitaka biogenih elemenata ili pogoršanja njihovih fizikalno-kemijskih svojstava (antagonizam gnojiva).
- Visoka je potrošnja energije za proizvodnju mineralnih gnojiva, posebice dušičnih.

Intenzivna poljoprivreda ovisna je o velikim količinama mineralnih gnojiva, što je globalno rezultiralo višestrukim povećanjem produktivnosti hrane. Premda uporaba mineralnih gnojiva značajno poboljšava kakvoću i količinu hrane, njihova dugotrajna i nekontrolirana primjena često izaziva ekološke probleme (onečišćenje tla, voda i zraka) te se povezuje s pogoršanjem strukture tla, reduciranjem mikroflore, onečišćavanjem voda, kao ljudske i stočne hrane. Nuzgredni štetni efekti primjene mineralnih gnojiva mogu se dijelom umanjiti njihovom zamjenom *organskim gnojivima (biognojiva)* koja, osim unosa biogenih elemenata, pomažu popravljajući strukturu tla, boljem zadržavanju vode i hranjivih tvari u tlu, većoj *biogenosti* (porast populacije korisnih mikroorganizama) i dulje djeluju u odnosu na mineralna (tzv. *produžni efekt*).

Negativni učinci gnojidbe na okoliš većim dijelom se mogu ukloniti ili umanjiti prakticiranjem *integrirane biljne proizvodnje* koja podrazumijeva primjenu agrotehničkih mjera usklađenu s ekonomskim i ekološkim principima. Niz suvremenih istraživanja usmjereno je u pravcu smanjivanja štetnog utjecaja gnojiva i gnojidbe na okoliš, što smanjuje ekološki rizik te pronalaženju novih, jeftinijih i učinkovitijih sustava gnojidbe (kemijska analiza tla, intenzitet i diverzitet plodosmjene što uključuje zelenu gnojidbu i dr.). Također, radi se na unapređenju metoda primjene i istraživanju vrsta gnojiva koja su manje podložna gubicima (ispiranje, volatilizacija, denitrifikacija, kemijski oblik, veća koncentracija hraniva) te se istražuju novi izvori gnojiva.

Zelena gnojidba ili sideracija i pokrovni usjevi

Zaoravanje zelene mase usjeva naziva se *zelena gnojidba* ili *sideracija*. Vrijednost zelene gnojidbe najbolje pokazuje činjenica kako je organska tvar najvrjedniji sastojak tla obzirom na nezamjenjivu ulogu u formiranju i održavanju strukture, povoljnog vodnog, zračnog i toplinskog režima, biogenosti (mikrobiološke aktivnosti), pufernih svojstava, kao i u snabdjevanju biljaka makro i mikroelementima.

Pod povoljnim uvjetima temperature, vlage i *aeracije*, odnosno dovoljno zraka u tlu, aktivnost mikroorganizama tla je intenzivna, a njihov životni ciklus završava kao izvor hrane za nove mikroorganizme, ali i za biljke. Stoga tlo nipošto nije mrtav supstrat, odnosno samo izvor hranjivih tvari, nego vrlo živ „kemijsko-biološki laboratorij“. Premda biljke najveći dio potrebe za ugljikom zadovoljavaju iz atmosfere (kao CO₂), većina mikroorganizama u tlu ovisi o ugljiku organske tvari tla, jer se njenom razgradnjom oslobađa energija Sunca ugrađena u fotosintezi biljaka te koristi za sve njihove životne aktivnosti.

Premda je zelena gnojidba poljoprivredna praksa više od dvije tisuće godina, kemizacijom poljoprivrede i primjenom sve većih količina mineralnih gnojiva, odnosno sve većom produkcijom hrane, gotovo da je zaboravljena. Budući da je intenzivna poljoprivredna proizvodnja najčešći uzrok gubitku organske tvari tla i pogoršanju njegovih svojstava, primjena organske i zelene gnojidbe važna je mjera u popravci narušene plodnosti, odnosno poboljšanja fizikalno-kemijskih svojstava tla. Degradaciji tla naročito doprinose prekomjerna gnojidba, spaljivanje žetvenih ostataka, neadekvatna obrada, monokultura i uzak plodored i dr.

Najčešće se koriste slijedeće definicije unosa zelene biljne tvari u tlo:

- Zelena gnojidba je praksa obogaćivanja tla zaoravanjem usjeva, bilo uzgajanih na mjestu zaoravanja ili donesenih s drugih parcela,
- Pokrovni usjevi se siju sa svrhom pokrivanja i zaštite tla tijekom zime (zimski) ili ljeti (ljetni) i kao među usjevi (tzv. živi malč) unutar glavnog usjeva,
- Usjevi „hvatači“ (*catch crop*) su brzo rastući usjevi zasijani nakon glavnog usjeva u istoj sezoni, ili između redova usjeva i pokrivaju tlo nekoliko tjedana sprječavajući gubitak hranjivih tvari, posebice ispiranje nitratnog dušika,
- Integrirani sustavi najčešće se siju kao stočna ispaša (npr. miješani usjev zobi, grahorice i dr.),
- Usjevi za stvaranje hlada koriste se samo u toplim krajevima i svojom sjenom štite tlo i biljke tijekom ljeta od pregrijavanja i erozije izazvane jakim kišama i

- Alelopatiski usjevi (npr. raž, sirak, gorušica, sudanska trava i dr.) koji, osim sideracije, sprječavaju rast korova (ili prethodnog usjeva), dakle djeluju herbicidno, ali i nematocidno, insekticidno, fungicidno i dr.

Practiciranje zelene gnojidbe samo u cilju obogaćivanja tla organskom tvari (i dušikom) često je upitno, jer se porast humusa najčešće postiže samo u razdoblju provođenja takve mjere. Jednako to vrijedi i za primjenu stajnjaka i žetvenih ostataka, pa unos organske tvari u tlo mora biti redovna agrotehnička mjera. Naime, sadržaj organske tvari u tlu je karakteristična i stabilna veličina, zavisna od klime i kemijsko-fizikalnih svojstava tla pa se zelenom gnojdbom, odnosno unosom organske tvari u tlo, može u kraćem vremenskom razdoblju znatno povećati biogenost, strukturna svojstva tla i raspoloživa količina hranjivih tvari. Strukturnija tla su zbog dobre prozračnosti i dreniranosti više podložna većoj oksidoredukciji, odnosno u njima je intenzivnije razlaganje organske tvari. Stoga se sve mjere popravke tla koje utječu na intenzivniju oksidoredukciju (npr. kalcizacija, fosfatizacija, sideracija, duboka meliorativna obrada i dr.), pa tako i svaki oblik zelene gnojidbe, moraju posebno razmotriti uvažavajući i ekonomski aspekt. Naime, često je aktivna tvar iz mineralnih gnojiva znatno jeftinija od primjene zelene gnojidbe, premda sideracija ima značaj u povećanju dušika tla i to bez utroška energije, jer leguminozne biljke simbiotski vežu molekularni dušik iz atmosfere. Siderati također pomažu u sprječavanju površinske erozije, poboljšavaju fizikalna svojstva tla (retenciju za vodu i aeraciju), sprječavaju ispiranje hraniva (tzv. *konzervacija hraniva*) i intenziviraju mikrobiološke procese u tlu. Navedeni razlozi dovoljni su da se zelena gnojidba može smatrati korisnom poljoprivrednom praksom, posebice u alternativnim sustavima kao što su ekološka i biodinamska biljna proizvodnja.

Biljne vrste koje se koriste za zelenu gnojdbu trebaju sadržavati veliku količinu lako razgradljivih tvari, najprije dušika i pepela te je poželjno da se proces njihove razgradnje nakon zaoravanja odvija što brže. Međutim, kako se sastav biljaka mijenja tijekom vegetacije pa starije biljke sadrže više slabo razgradljivi lignin i celulozu, a manje pepela i dušika, teže se razlažu i imaju nepovoljniji C : N omjer. Nasuprot njima, kod mlađih biljaka, koje se brzo razlažu, mogući su veći gubici hranjivih tvari (posebice u obliku

amonijaka) pa se u zelenoj gnojidbi prakticira kompromisno rješenje, odnosno biljke se zaoravaju u fazi cvjetanja.

Za zelenu gnojidbu najbolje je uzgajati biljke relativno brzog porasta, s dosta organske tvari i velike apsorpcijske moći korijena što im omogućuje relativno efikasnu transformaciju do bioraspoloživa hraniva. Sve češće se u alternativnim sustavima biljne proizvodnje kao dio integralne kontrole štete (*Integrated pest management*) koriste *nematocidne biljke* (npr. *Pangola digitgrass*, *Digitaria decumbens*, *Transvala digitgrass*, *Tagetes patula*, *Indigofera hirsuta*, *Crotalaria spectabilis* i dr.). Kod izbora usjeva (ili smjese usjeva) za zelenu gnojidbu treba znati da leguminoze sadrže relativno puno dušika uz niži sadržaj ugljikohidrata, dok je kod trava to suprotno. Količina zelene (svježe) mase koja se zaorava je 10 - 20 t ha⁻¹ (ili 2 - 4 t ST ha⁻¹), zatim 0,7 - 3,0 t korijena i stabljika po ha i oko 100 kg N ha⁻¹ kod leguminoza. Zelenu masu prije zaoravanja potrebno je usitniti radi nesmetane obrade i pripreme tla za sjetvu.

Smjesa usjeva za zelenu gnojidbu ima prednost nad „čistim“ usjevom, posebice ako su vremenski uvjeti loši pa jedan od usjeva u smjesi podbaci. Naime, svaka komponenta smjese ima različitu dinamiku vegetaciju što je povoljno za ispašu, a u smjesi leguminoza i trava osigurana je fiksacija dušika uz veću organsku masu. Također, združeni usjevi smanjuju potrebu za rotacijom i omogućavaju alelopatску zaštitu usjeva i dr.

Dakle, zelena gnojidba podrazumijeva unos svježe, lako razgradljive organske tvari u tlo s namjerom obogaćivanja tla hranivima, dok pokrovni usjevi imaju dodatnu funkciju „pokrivača tla“ s namjerom sprječavanja erozije (vodom ili vjetrom) i ispiranja hraniva, prije svega nitrata (*usjevi hvatači*, odnosno *catch crops*), pa će, npr. raž poslije kukuruza spriječiti ispiranje hraniva tijekom zime, ali i rast korova (Tablica 21.).

Pokrovni usjevi mogu biti jednogodišnje, dvogodišnje ili višegodišnje zeljaste biljke, često i više vrsta biljaka združenih sjetvom. Od zimskih pokrovnih usjeva često se koriste različite leguminoze (djeteline, grahorice i dr.), ali to može biti i raž (pa čak i mješavina, raži, ječma i pšenice) ili neka druga žitarica koja dobro podnosi zimske uvjete uzgoja.

Pokrovni usjevi uzgajani ljeti uglavnom imaju namjenu siderata i koriste se u cilju popunjavanja plodoreda uz obogaćivanje tla hranivima, posebice na slabo plodnim tlima, ili kao priprema zemljišta za višegodišnji usjev ili zasnivanje trajnog nasada. Koriste se različite leguminoze, ali i druge biljne vrste kao što su proso, krmni sirak, sudanska trava, rauola, heljda i dr., koje će pomoći u poboljšanju fizikalno-kemijskih svojstava tla i "gušenju" korova.

Tablica 21. Izbor pokrovnog usjeva obzirom na njegovu ulogu

Uloga pokrovnog usjeva	Najbolji izbor
Akumulacija N	crvena djetelina ili grahorica
Uklanjanje N	<u>Jesen:</u> rauola i druge krstašice (npr. uljana repica), zob <u>Zima/proljeće:</u> raž, ozima pšenica
Sprječavanje korova	rauola i druge krstašice, ozima raž, heljda
Supresija nematoda	gorušica, sudanska trava/sirak, rauola (jako ovisno o varijetetu i vrsti nematoda)
Popravak strukture tla	ozima zob, raž i konoplja
Eliminacija zbijenosti tla	lucerna, kokotac (<i>Melilotus spp.</i>) i konoplja
Povećanje org. tvari	<u>Jesen:</u> ozima zob, rauola <u>Ljeto:</u> proso, sirak, sudanska trava
Sprječavanje erozije	ozima raž, ozima pšenica, ljulj

Pod pojmom "živi malč" podrazumijeva se pokrovni usjev unutar godišnjeg ili višegodišnjeg usjeva ili trajnog nasada (među usjev) koji može donositi i financijsku dobit. Živim malčevima suzbija se korov, smanjuje ili sprječava erozija tla, poboljšava plodnost, zadržava voda i utječe na bolji kvaliteta podzemne vode (sprječavanjem ispiranje lakopokretnih iona). Primjerice, živi malč može biti grahorica u kukuruzu, djetelina u "no-till" povrću, različite trave ili leguminoze u voćnjacima i vinogradima i dr.

Za suzbijanje korova koriste se biljke koje imaju naglašena *alelopatička svojstva* (usporavaju ili inhibiraju rast drugih biljaka i/ili korova). Npr. mlada raž zaorana u punom busanju, a prije "no-till" sadnje povrća može učinkovito spriječiti pojavu korova za nekoliko tjedana, odnosno sve do

trenutka kada usjev potpuno "pokriva" tlo. Osobno iskustvo sa sjetvom ozime raži i njeno zaoravanje početkom vlatanja, odnosno prije sadnje rajčice u Istri je izvrsno.

Učinkovitost sideracije i uzgoja pokrovnih usjeva treba procjenjivati, s jedne strane kroz podizanje plodnosti i obogaćivanje tla hranivima, sprječavanje erozije, redukcije korova, zadržavanje hraniva i sprječavanje onečišćenja podzemnih voda, ali i s aspekta ekonomske isplativosti. Naime, kratkoročna korist često može biti niža od uložених sredstava i rada te potrebu za zelenom gnojidbom i sjetvom pokrovnih usjeva treba razmotriti za svaki konkretni slučaj, posebice analizirajući dugoročnu korist (sprječavanje erozije i onečišćenje okoliša, podizanje produktivnosti tla, eliminacija korova i dr.). U ekološkoj proizvodnji hrane, sideracija i sjetva pokrovnih usjeva, zapravo i nema alternativu.

Primjena gnojiva

Oblik gnojiva određuje i način njegove primjene:

- Kruta gnojiva mogu se primijeniti korištenjem raspodjeljivača po cijeloj površini ili u trake, zatim zaorati ili unijeti u tlo kod međuredne kulture te bez unošenja u tlo (omaške) kod prihrane usjeva.
- Tekuća gnojiva mogu se primijeniti po cijeloj površini prskalicama, u trake zajedno sa sjetvom, natapanjem površine otopinom gnojiva (gravitacijski) ili injektiranjem u tlo (u trake). Anhidrirani amonijak je pod normalnim tlakom plin i mora biti injektiran u tlo (kao i sva tekuća gnojiva koja isparavaju) radi sprječavanja gubitaka.

Kruta (konvencionalna) gnojiva raspodjeljuju se velikim brojem različitih, najčešće širokozahvatnih strojeva. Kvaliteta rada raspodjeljivača (u žargonu koristi se izraz *rasipač*) je vrlo važna, a nepravilan rad se najčešće zapaža u tamnozelenim (previše hraniva) ili žutozelenim (premalo hraniva) područjima (trakama) usjeva. Na taj način gubici u prinosu su znatni, kako zbog nedostatka, tako i suviška hraniva u pojedinim dijelovima usjeva. Stoga je mehanički aspekt gnojidbe vrlo važan i mora mu se posvetiti dužna pozornost (izbor stroja, podešavanje, brzina rada, granulacija i sl.). Npr. kod

centrifugalnih raspođjeljivača važna je veličina granula i ujednačenost kemijskog sastava granule kompleksnog gnojiva, a kod miješanih gnojiva i homogenost smjese pojedinačnih gnojiva.

Tekuća gnojiva niskog tlaka (ili potpuno bez tlaka isparavanja, npr. UAN, raspođjeljuju se po parceli vrlo ujednačeno prskalicama, a hraniva se doziraju mnogo preciznije u odnosu na primjenu krutih gnojiva. Međutim, prskalice moraju biti ispravne i dobro kalibrirane.

Anhidrirani amonijak se primjenjuje u jesen po pooranoj parceli (ili ugaru), ponekad i prije sjetve. Koristi se specijalna oprema pod visokim tlakom od nehrđajućeg materijala s aplikatorima za unošenje u tlo, najbolje na dubinu od 15 - 25 cm na slabo kiselim i kiselim tlima kod povoljne vlažnosti da bi se izbjegli gubitci dušika *volatizacijom* (isparavanje amonijaka). Najveći broj metoda unošenja anhidriranog amonijaka u tlo podrazumijeva i njegovu obradu upotrebom "*chisel*" pluga (radna tijela kruta, elastična ili za uklanjanje korova). Izbor stroja (ili njegovo podešavanje) mora odgovarati dubini aplikacije dušičnog gnojiva, brzini rada, kondiciji i tipu tla te mikroreljefu (orografskim svojstvima parcele).

Značaj pojedinih čimbenika ishrane bilja znatno se mijenja tijekom vegetacije, ovisno o vrsti i načinu uzgoja usjeva te su razlike u visini priroda rezultat ekspresije genotipa kroz morfološka, anatomska i biokemijsko-fiziološka svojstva u interakciji s agroekološkim kondicijama. Zbog toga, pojedini usjevi (i kultivari) imaju različite zahtjeve za ukupnom količinom hraniva, posebno dušika potrebnog za ostvarenje najviše mogućeg priroda, uz različitu reakciju ovisno o vremenskim i zemljišnim uvjetima (tzv. sortna specifičnost mineralne ishrane).

Gnojidba je složen problem (agrotehnički, ekofiziološki, agroekološki i agroekonomski) koji je i do sada svojom širinom i dubinom zaokupljao veliki broj istraživača i proizvođača hrane. Na temelju velikog broja eksperimentalnih podataka posve je jasno kako količina hraniva u tlu određuje visinu priroda, pri čemu je odnošenje elemenata žetvom uglavnom manje od onih dodanih gnojivima pa je učinkovitost i rentabilnost gnojidbe često nezadovoljavajuće niska. Zbog toga je potrebno dobro poznavati dinamiku i raspoloživost hraniva u tlu, posebice dušika, ali i primjenjivati gnojiva u skladu s biološkim, ekonomskim i

ekološkim uvjetima. Tablica 22. pokazuje prosječno povećanje priroda pojedinih usjeva u kg po kg aktivne tvari iz mineralnog gnojiva.

Tablica 22. Prosječno povećanje priroda u kg po kg aktivne tvari gnojiva (Gašpar, 1995.)

Element	Pšenica	Kukuruz	Krumpir	Šećerna repa	Sijeno
N	16-20	15-20	90	90	30
P ₂ O ₅	5-7	3-5	46	51	26
K ₂ O	2,5-3,0	3-4	19	29	12

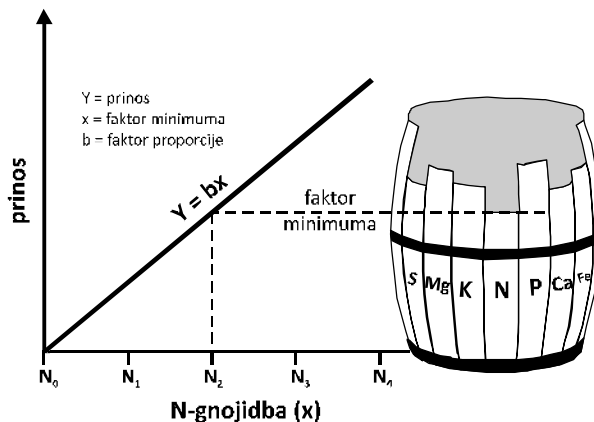
Veoma je važno istaći kako na učinkovitost gnojidbe snažno utječe doza primijenjene aktivne tvari, potreba usjeva, vrijeme i načina unošenja. Naime, povećavanjem doze iznad stvarnih potreba usjeva, efikasnost svih gnojiva, posebice dušičnih, jako pada pa tako kod niske primjene N njegova efikasnost (usvajanje u prvoj godini primjene) može biti i 70 %, a kod luksuzne primjene efikasnost opada na ~30 %. Koristeći se analizom velikog broja eksperimentalnih podataka, može se zaključiti kako je usvajanje hraniva izrazito dinamičke prirode, a uvažavanje te činjenice postiže se učinkovitije iskorištavanje primijenjenih gnojiva po nelinearnoj krivulji usvajanja svih hranjivih elementa.

Prinos

Raspoloživost hraniva i visina priroda

Rast biljaka i tvorba priroda je paralelan proces koji se odvija prema složenim prirodnim zakonitostima i podlozan je djelovanju okolišnih i biljnih čimbenika te je potrebno poznavati zakonitosti koje vladaju unutar usjeva (*agrofitecenoze*), a koje se bitno razlikuju od prirodnih biljnih zajednica (*fitocenoza*). Rast biljaka ili *neto produkcija* odvija se u funkciji vremena i ima oblik *sigmoidne krivulje* (Slika 26.). Premda je vrijeme fizikalna veličina, ono za pojedine biljne vrste ipak ima različito značenje koje ovisi o brzini, odnosno svim čimbenicima rasta.

Od davnina je poznato da povećanjem gnojidbe raste visina priroda, ali je porast sve manji u odnosu na povećanje količine hraniva (*pravilo padajućeg prirasta priroda*). Naime, nasuprot dodavanju sve većih količina gnojiva, dolazi do sve manjeg povećanja priroda pa je važno unaprijed i pouzdano znati kako će neki čimbenik utjecati na povećanje priroda. Upravo stoga postoji veliki broj različitih "zakona" ili "pravila" čija je suština ipak više statističkog, a ne univerzalnog značaja.



Slika 25. Liebigov "zakon" minimuma

Proučavajući djelovanje vanjskih čimbenika na tvorbu priroda, *Liebig* je 1855. godine postavio *zakon minimuma* prema kojem je visina priroda

ograničena čimbenikom u minimumu. *Liebigov zakon minimuma* često se predstavlja kao bačva s dužicama različite visine (Slika 25.) pa je čimbenik u minimumu najkraća dužica koja određuje gornju granicu priroda. Ovaj "zakon" dobro objašnjava porast uroda, ali ima i više slabosti jer promatra tvorbu priroda linearno i neovisno od djelovanja svih drugih čimbenika visine priroda. Stoga je već 1895. doživio značajnu transformaciju koja je poznata pod imenom *Liebscherov zakon optimuma*. Zakon optimuma kaže da čimbenik u minimumu to više djeluje što su ostali čimbenici prinosa bliži optimumu. Sukladno toj postavci, čimbenik ograničenja će relativno više smanjiti urod na plodnom u odnosu na manje plodno tlo.

Na temelju ogromnog eksperimentalnog iskustva, poznato je da se krivulja rasta prinosa povija na kraju zbog djelovanja više biotskih i abiotskih čimbenika. Na tim postavkama temelje se suvremeni pravila uzgoja biljaka čija primjena rezultira višim prinosisima i boljom kakvoćom hrane. Općenito, plodnost nekog tla može se prikazati djelovanjem sljedećih čimbenika:

$$f \left| \begin{array}{c} \text{fizikalni} \\ \text{čimbenici} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{anorganski} \\ \text{kemijski} \\ \text{čimbenici} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{organski} \\ \text{biološki} \\ \text{čimbenici} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{vodni} \\ \text{režim} \\ \text{tla} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{c} \text{klima x} \\ \text{rotacija x} \\ \text{gospodarenje} \end{array} \right|$$

Pod fizikalnim čimbenicima tla podrazumijevaju se njegova tekstura, poroznost, sklonost prema eroziji itd.; pod anorganskim kemijskim čimbenicima pH-vrijednost, sadržaj makro i mikroelemenata itd.; pod organsko-biološkim čimbenicima sadržaj humusa, zemljišna fauna, mikroorganizmi, intenzitet disanja tla itd.; pod čimbenicima vodnog režima retencija, infiltracija, konduktivitet, razina podzemne vode itd., a moraju se uzeti u obzir klima, rotacija usjeva i općenito način gospodarenja tlom.

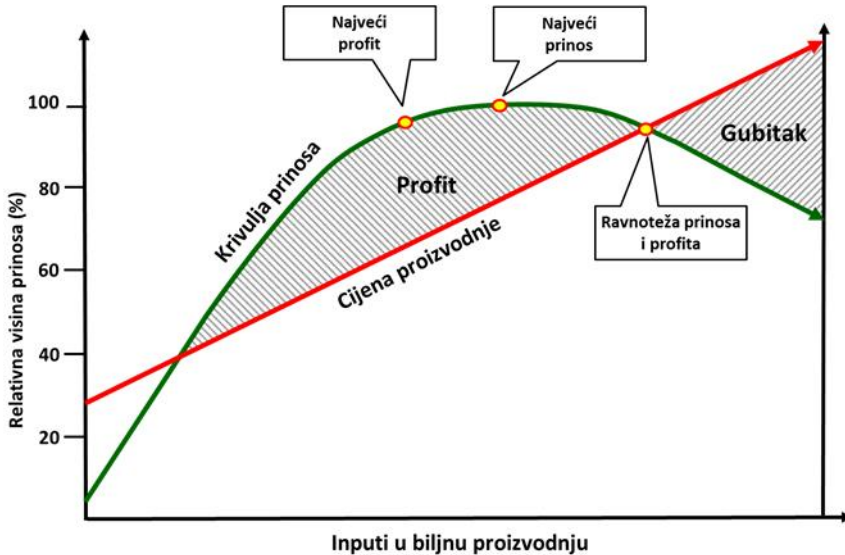
Ekonomski pristup u procjeni inputa

Ekonomska učinkovitost biljne proizvodnje najjednostavnije se može prikazati kao:

$$\text{Profit} = \frac{\text{Cijena (obrada, gnojidba, zaštita, sjetva...)}}{\text{Cijena proizvoda}}$$

Cilj optimizacije inputa je postizanje najvećeg ekonomskog učinka, ovisno o cijeni svake pojedine operacije i njenog utjecaja na vrijednosti prinosa (visina i kakvoća) kao i veličinu fiksnih troškova proizvodnje. Vrijednost proizvodnje definirana je kao funkcija visine prinosa i visine inputa (Slika

26.). Krivulja investicije, odnosno cijena biljne proizvodnje raste linearno, krivulja prinosa raste po zakrivljenoj funkciji i iznad optimalne visine pada i tako snižava profit (*neto dobit; čista dobit; profit*).



Slika 26. Odnos porasta prinosa, visine ulaganja i profita

Utjecaj biotskih čimbenika na fotosintezu i visinu prinosa

Koncentracija klorofila (zelena boja lišća) malo kad je uzrok smanjenom intenzitetu fotosinteze te se rijetko može utvrditi njena značajna i pozitivna korelacija s *neto produkcijom*, odnosno prirastom suhe tvari, izuzev u uvjetima niske osvjetljenosti (npr. gust usjev). Međutim, slaba opskrbljenost nekim biogenim elementima (Fe, Mg, N i dr.) izaziva pojavu *kloroze* i pad intenziteta fotosinteze, osobito kad je koncentracija pigmenta relativno niska (npr. u jesen).

Intenzitet fotosinteze usjeva proporcionalan je veličini lisne površine samo do određene razine, odnosno do pojave zasjenjivanja donjeg lišća. Za procjenu asimilacijske površine najčešće se koristi *LAI* pokazatelj (*leaf area index* = indeks lisne površine) koji predstavlja ukupnu površinu lista po jedinici površine (m^2 lista po m^2 tla). LAI je kod ratarskih usjeva najčešće 4 - 8. Međutim, optimalni indeks lisnatosti mijenja se tijekom vegetacije pa

se, npr. kod pšenice, visoki prinosi postižu samo kad je LAI u cvjetanju 6 - 10. U slučaju da je LAI veći od optimalnog (LAI >5), fotosinteza donjeg lišća usjeva može pasti ispod tzv. *kompensacijske točke* (negativni neto prirast zbog povećanog intenziteta disanja koji je tada viši od intenziteta fotosinteze). Takve situacije su normalne ujutro i uvečer, ali ako se događaju i preko dana, prinos će biti niži. Također, u gustom, zasjenjenom usjevu, mikroklimatski uvjeti pogoduju pojavi bolesti i štetnika, usjev je neotporan na sušu i ima veće potrebe za mineralnim elementima ishrane.

Pored indeksa lisnatosti često se upotrebljavaju pokazatelji *LAD* (*leaf area density* = površina lišća u jedinici volumena), *LAR* (*leaf area ratio* = omjer ukupne površine lista jedne biljke i njene suhe tvari) i *SLA* (*specific leaf area* = specifična lisna površina). *SLA* predstavlja omjer lisne površine i njene svježe ili suhe mase pa taj parametar ukazuje na anatomiju lišća, odnosno kultivari s nižom vrijednosti *SLA* obično imaju veći intenzitet fotosinteze zbog veće količine *mezofila* (središnjeg tkiva lista s najvećom koncentracijom klorofila).

Duljina fotosintetske aktivnosti lišća ili *LAD* (*leaf area duration*) često je u najvećoj korelaciji s visinom prinosa prema ostalim parametrima lisne površine. Postojanost i trajnost asimilacijske površine nasljedno je svojstvo, a ukazuje na sintezu i obnavljanje proteina, kloroplastnih pigmenata, hormona itd. Međutim, duljina fotosintetske aktivnosti lišća nije jednaka u svim etapama razvitka kao i na svim pozicijama lišća. Naime, položaj lišća u prostoru, posebice donjeg, i indeks lisnatosti određuju svjetlosni režim usjeva, a istraživanja su pokazala da kultivari uspravnijeg lišća (*erektofilni*) bolje podnose veću gustoću usjeva i često imaju veći intenzitet i učinkovitost fotosinteze uz postizanje većeg poljoprivrednog prinosa. Biljke će najviše svjetlosti apsorbirati kad je lišće pod kutom 30 - 60° jer će tada, zbog dnevne promjene kuta Sunčeve svjetlosti, dio listova uvijek biti osvijetljen pod kutom od ~90°. Kod visokih usjeva, npr. kukuruza, povoljnije je da gornje lišće ima uspravniji (*erektofilan*), a donje više položen (*horizontalan*) smještaj.

Mlađe lišće je fotosintetski aktivnije od starijeg, ali najveći dio fotosintata koristi za vlastiti rast, dok starije lišće postupno gubi fotosintetsku sposobnost pa je najaktivnije fiziološki zrelo lišće (~ $\frac{2}{3}$ najveće površine

lista). Međutim i drugi zeleni organi doprinose ukupnoj fotosintetskoj produkciji, tako na klas pšenice otpada ~30 % (s osjem i više), koliko i na najviši list (*zastavičar*). Kod kukuruza najznačajniji su listovi odmah iznad i ispod klipa, kod suncokreta vršni listovi u fenofazi nalijeivanja zrna itd.

Dnevni ritam fotosinteze obično pokazuje maksimum sredinom dana, ali kod visoke osvjetljenosti i temperature zbog zatvaranja puči česta su dva maksimuma, jedan veći prijepodne i drugi manji predvečer. Godišnji ritam fotosinteze usko je vezan s promjenom godišnjih doba, premda u tropskim područjima većina biljaka pokazuje jasnu sezonsku dinamiku rasta.

Utjecaj abiotičkih čimbenika na fotosintezu i tvorbu prinosa

Svjetlost utječe na na fotosintezu *intenzitetom* (jačina osvjetljenosti) i *kvalitetom* (spektralni sastav; valna duljina). Povećanjem intenziteta osvjetljenja stopa fotosinteze se isprva linearno povećava, zatim dolazi do postupnog smanjivanja i konačno poprima konstantnu vrijednost (pri zasićenju fotosintetskog aparata svjetlošću). Prema potrebi za svjetlom biljke se dijele na *heliofite* (ne trpe zasjenjivanje) i *skiofite* (biljke sjene) u koje pripada većina korovskih vrsta.

Porastom intenziteta osvjetljenosti raste i potreba za CO₂ i to kod *heliofita* gotovo linearno, a *skiofite* brzo dolaze u područje zasićenosti svjetlom. Ratarske biljne vrste za normalan rast i razvitak zahtijevaju znatno veće intenzitete osvjetljenosti, svakako iznad *kompensacijske točke*. Dnevni intenziteti sunčevog osvjetljenja (vedar dan i čista atmosfera) dostižu čak 2.220 μmol m⁻² s⁻¹ (~120.000 lux) pa biljke za fotosintezu najvećim dijelom koriste *difuznu* (raspršenu) svjetlost unutar usjeva intenziteta (5.000 - 10.000 lux).

Mlado lišće dobro podnosi visok, kao i nizak intenzitet svjetlosti, ali razvitkom gubi tu sposobnost što se manifestira otpadanjem lišća kad se biljka uzgojena u sjeni (npr. u prostoriji) prenese na osunčano mjesto. Prilagodba na promjenu osvjetljenosti stoga je veoma važna kod *presadnica* i *lončanica*.

Spektralni sastav svjetlosti značajno utječe na fotosintezu, a posebno je važan pri uzgoju biljaka u zatvorenim prostorima (staklenici, plastenici,

hidropni, aeropni). Promjena Sunčevog spektra vezana je za doba dana, godišnje doba i atmosfere prilike. Pri niskim položajima Sunca svjetlost prolazi kroz deblji sloj atmosfere koja jače rasijava kraće valne duljine (plava svjetlost) pa na Zemlju dopijeva više crvenog dijela spektra. Zbog toga je kod nasada (voćnjaci, vinogradi) važan i smjer redova. najbolje je kad su redovi u pravcu sjever-jug zbog podjednake osvjetljenosti obje strane biljaka. Budući da pravac redova u usjevu utječe na spektralni sastav, pogrešno se misli da to nije važno. Naprotiv, kod visokih usjeva, u redovima koji odstupaju znato od pravca sjever-jug, obje strane biljaka izložene su različitoj kakvoći svjetlosti, a poznato je da crveni dijelovi spektra utječu na pojačanu sintezu *škroba* i *estera*, a plavi na veći sadržaj *bjelančevina* i *slobodnih aminokiselina*.

Pri niskoj osvjetljenosti biljke za potrebe fotosinteze iskoriste i do 70 % CO₂ oslobođenog u procesu svog disanja. Također, veća koncentracija CO₂ pospješuje fotosintezu sve do koncentracije od 2 % CO₂ što je i praktično iskoristivo u staklenicima, ali se zasićenost fotosinteze primjećuje najčešće pri punoj nižoj koncentraciji ugljičnog dioksida, ovisno o intenzitetu svjetlosti. Budući se koncentracija CO₂ mijenja unutar usjeva, ovisno o intenzitetu njegove asimilacije, pa je tako danju neposredno iznad usjeva niža prosječno za 12 % u odnosu na atmosferu, a unutar usjeva i mnogo niža, posebno kad nema strujanja zraka (*konvekcija*). Ta činjenica lako dovodi biljke u kompenzacijsku točku, posebice manje efikasnog tipa fotosinteze (tzv. C-3 tip) kome pripada većina poljoprivrednih biljaka, pa je prirast suhe tvari često jako umanjen. Puno manji broj biljaka posjeduje C-4 tip fotosinteze (~3 % svih kopnenih biljnih vrsta). Od poljoprivrednih vrsta C-4 tip fotosinteze imaju kukuruz, sirak, proso, kupus itd., ali i veći broj korova (npr. štir, loboda, šaševi itd.) posjeduje C-4 tip fotosinteze te su veliki konkurenti usjevima.

Proračuni pokazuju da kroz 250 godina sav CO₂ na Zemlji prođe kroz proces fotosinteze, a bez mikroorganizama, razgrađivača organske tvari, sav ugljik atmosfere bio bi potrošen za 40 godina. Količina CO₂ koja se oslobodi zemljišnim disanjem na obrađenom tlu iznosi 80 - 900 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, ovisno o uvjetima koji vladaju u tlu (temperatura, vlaga, pH, količina organske tvari itd.). Jedan dio oslobođenog CO₂ potječe od disanja korijenja

biljaka ($\sim\frac{1}{3}$), manji dio od disanja životinja, a najveći dio emitiraju mikroorganizmi.

Izgaranjem fosilnih goriva u atmosferu dospijeva godišnje 25 milijardi tona CO_2 , pa se predviđa da će u narednih 30-ak godina koncentracija CO_2 porasti na $420 \mu\text{L L}^{-1}$ što će izazvati prosječni rast temperature na Zemlji za $\sim 1^\circ\text{C}$, a na polarnim kapama čak za $\sim 3^\circ\text{C}$ uz velike probleme zbog porasta visine mora i jače promjene klime. Povećanje koncentracije CO_2 u atmosferi izaziva i tzv. *efekt staklenika* (Slika 18.), što utječe na ravnotežu (*homeostazu*) čitave biosfere uključujući i biociklus mora.

Utjecaj temperature je vrlo složen, jer djeluje različito na dijelove procesa fotosinteze koji se odvijaju na svjetlu i u tami. Zbog porasta temperature, a uz dobru raspoloživost CO_2 i dovoljnu osvjetljenost, fotosinteza raste sve do granice inaktivacije enzimatskog sustava temperaturom koja je veća od 40°C . Naravno, to jako ovisi o biljnoj vrsti i opskrbljenosti biljaka vodom, kao i duljini prilagodbe na nepovoljne uvjete. Optimalna temperatura biljaka umjerenog klimata je $\sim 30^\circ\text{C}$, arktika i antarktika $\sim 15^\circ\text{C}$, a pustinjskih biljaka čak $>45^\circ\text{C}$. S obzirom da je *neto fotosinteza* (prirast organske tvari) jednaka *bruto fotosintezi* (ukupna fotosinteza) umanjenoj za disanje, porastom temperature jako raste disanje što također znatno smanjuje *neto produkciju*.

Biljna produkcija, ovisno o usjevu i tipu fotosinteze, jako reagira na dnevno-noćni ritam temperatura, jer visoke noćne temperature zbog pojačanog disanja jače smanjuju prirast organske tvari. Također, niske dnevne temperature znatno smanjuju intenzitet fotosinteze zbog utjecaja na reakcije tamnog dijela fotosinteze, ali i zbog slabijeg premještanja fotosintata u druge dijelove biljke.

S poljoprivrednog aspekta manje je značajan biološki (ukupan) prinos prema dijelu koji otpada na poljoprivredni prinos. Omjer ta dva dijela biomase definira se kao *žetveni indeks* na koji snažno utječe gnojidba (posebno dušikom), ali i raspoloživost vode, svojstva kultivara itd. Npr. žetveni indeks kukuruza porastao je od svega $\sim 10\%$ (stare sorte) na $40 - 50\%$ kod novih hibrida. Između visine biološkog i poljoprivrednog prinosa postoji pozitivna korelacija samo do izvjesne granice iznad koje se

smanjuje žetveni indeks. Stoga, dobra energetska bilanca usjeva zahtijeva pokrivenost tla vegetacijom što dulji period, kako bi se asimilacijska površina što prije formirala, a pravilan raspored biljaka (sklop) omogućio dobru osvjetljenost svih listova.

Kapacitet fotosinteze u čvrstoj je korelaciji s opskrbljenošću biljaka elementima ishrane, posebice dušikom, jer fotosintetski enzimi sadrže najveći dio dušika u lišću. Stoga biljke koje imaju dovoljnu količinu dušika na raspolaganju iz tla imaju višu koncentraciju N u lišću i veći iznos neto fotosinteze nego biljke koje rastu na manje plodnim tlima. Prilagodba biljaka visokoj bioraspoloživosti N doprinosi visokoj fotosintetskoj stopi na plodnim tlima s brzim obrtom dušika. Također, biljke s visokim fotosintetskim kapacitetom imaju visoku stomatalnu vodljivost (mali otpor puči) što im omogućuje brzo usvajanje CO₂ uz visoki intenzitet transpiracije.

Potreba u gnojidbi i visina prinosa

Uzgoj usjeva uvijek je bio i uvijek će biti rizičan, podjednako zbog promjenjivih vremenskih, ali i tržišnih uvjeta, pa si poljoprivredni proizvođači ne mogu priuštiti neučinkovitu ili pogrešnu gnojidbu. Pogreške u gnojidbi mogu biti različite i mnogobrojne, od ispod optimalnih do previsokih doza hraniva, u izboru gnojiva (formulacija, vrsta i cijena), trenutku gnojidbe (obzirom na potrebe i stanje usjeva) i pogrešnom načinu primjene (npr. izbor raspodjeljivača i/ili aplikatora, pogrešna dubina aplikacije i dr.). Zbog toga, ako se zanemare tržišni uvjeti, poljoprivredni proizvođač može donijeti ispravnu odluku uz prihvatljiv rizik, samo kad raspolaže gnojidbenom preporukom na temelju kemijske analize tla i/ili biljaka. Budući da kemijska analiza tla čini zanemarivi trošak u biljnoj proizvodnji, svega ~2 % na ukupno ulaganje, razumno je gnojidbu provoditi temeljem objektivnih činjenica i smanjiti rizik na najmanju moguću veličinu.

Rizik pogrešne procijene potrebe u gnojidbi na temelju kemijske analize tla je između 20 i 35 %, ovisno od primijenjene metodologije, agroekoloških uvjeta i broja uključenih indikatora plodnosti tla. To znači, da u prosjeku svake treće do pete godine visina prinosa neće korespondirati s

gnojidbenom preporukom. Na visinu rizika, osim znatnijeg odstupanja od prosječnih klimatskih vrijednosti, uključujući i lokalne vremenske anomalije (velika količina oborina, poplave, mraz, suša, tuča i dr.), znatan utjecaj ima metodologija utvrđivanja potrebe u gnojidbi. Npr. broj indikatora plodnosti, izbor analitičke metode, način uzorkovanja tla, kao i izbor laboratorije (opremljenost, stručnost i iskustvo).

Ekonomski gledano, obzirom da se od svake investicije i uloženog rada očekuje adekvatan profit, dozu gnojiva treba povećavati sve dok je rast prinosa rentabilan (Slika 26.). Plodost tla je najvažniji kriterij za određivanje intenziteta gnojidbe. Naime, nerazumno je kod visoke raspoloživosti hraniva u tlu primjenjivati visoke doze hraniva jer investicija u gnojidbu raste, a profit opada (Slika 26.). Uz to, kod previsoki doza aktivne tvari (tzv. *lüksuzna gnojidba*), prinos će nerijetko biti niži, njegova kakvoća lošija, a usjev neotporan na napad bolesti i štetočina, strna žita sklona poljeganju, žetveni indeks proširen (manji urod u odnosu na žetvene ostatke), dulja vegetacija itd.

Dakle, u biljnoj proizvodnji djeluju prirodne i ekonomske zakonitosti koje se moraju poznavati i uvažavati s ciljem ostvarivanja najvećeg mogućeg profita. Zbog toga, intenzitet gnojidbe treba podrediti fizikalno-kemijskoj analizi, odnosno plodnosti tla (Tablica 23.). Također, sukladno *Liebigovom zakonu*, uzalud je povećavati dozu dušika gnojidbom kad je niska raspoloživost drugih elemenata ishrane, npr. fosfora i kalija, ili pak nema dovoljno vode u tlu. S druge strane, povećanjem gnojidbe iznad optimalne doze porast prinosa je sve manji i sve manje isplativ. Razlog za to je složenost tvorbe prinosa, utjecaja velikog broja čimbenika (i njihovih međudjelovanja) *biotske* (vrsta, kultivar, nejednaka produktivnost fotosintetskog aparata, različita tolerantnost na nepovoljne uvjete rasta itd.) i *abiotske naravi* (klimatski i zemljišni uvjeti).

Dobra gnojidbena preporuka podrazumijeva kvalitetno, stručno, savjesno i nepristrano uzorkovanje tla, adekvatan izbor analitičkih metoda i njihovu točnu interpretaciju, dopunske podatke o svim aspektima proizvodnje, dobro definiranu strategiju gnojidbe, veliko i multidisciplinarno znanje kreatora preporuke, kao i njegovo iskustvo. Stoga je potrebno izradu gnojidbenih preporuku podrediti relevantnim podacima, provjerenim

principima, znanju i iskustvu, kako laboratorije koja kreira preporuku, tako i iskustvu i znanju korisnika, poljoprivrednih proizvođača. Temeljna načela dobre gnojdbene preporuke, prema suvremenom konceptu gnojdbene, mogu se vrlo jednostavno i razumljivo formulirati: *Primjena potrebnog hraniva i njegove adekvatne doze u pravo vrijeme na pravo mjesto i uz pravu cijenu.*

Tablica 23. Opskrbljenosti tla i povećanje prinosa gnojidbom

Opskrbljenost tla	Usvajanje hraniva iz tla i gnojiva		Očekivani porast prinosa
Vrlo visoka	Tlo		<10 %
Visoka	Tlo	Gnojivo*	10 - 30 %
Optimalna	Tlo	Gnojivo	30 - 50 %
Niska	Tlo	Gnojivo	50 - 80 %
Vrlo niska	Tlo	Gnojivo	>80 %

Gnojivo = Startna gnojidba (i za održavanje plodnosti tla)*

Utjecaj plodosmjene na visinu prinosa

Intenzitet plodosmjene (*ophodnja* ili *rotacija*) je broj usjeva uzgajanih u određenom vremenskom intervalu, a raznolikost plodosmjene se odnosi na broj uzgajanih različitih biljnih vrsta, odnosno kultura. Za razliku od plodosmjene, plodored (*poljosmjena*) označava sustavnu vremensku i prostornu izmjenu usjeva, a uravnoteženi plodored je temeljni preduvjet za biološki aktivno tlo, zdrav usjev i visok prinos. Intenzitet plodosmjene može biti u rasponu tri usjeva u dvije godine, četiri u tri godine itd., što u našem podneblju, ako isključimo ekonomske razloge, najčešće ovisi o količini i godišnjem rasporedu oborina. Širokolisni usjevi osjetljiviji su od uskolisnih na uzak plodored.

Često se postavlja pitanje „*koji je plodored najbolji?*“, premda je puno važnije pitanje „*kako najbolje zaštititi usjeve od korova, bolesti i štetnika i optimizirati uzgoj usjeva uz manje ulaganje u agrotehniku?*“.

Sustav uzgoja usjeva (obrada, gnojidba, plodosmjena, sjetva, zaštita, žetva i dr.) je veoma važan jer se borba protiv korova, štetočina i bolesti vodi na

različite načine, pa *klasična obrada tla* (tzv. *čista obrada* ili *clean till*) može eliminirati neke patogene, štetočine i korove, ali i umanjiti značaj intenziteta i raznolikosti plodosmjene. Pretjerana obrada tla može smanjiti zadržavanje (*retenciju*) vode u tlu, a često može dovesti do stvaranje pokorice na tlima loše strukture i zbijanja zbog višestrukog *gaženja*, posebice vlažnog tla. U sustavima s *reduciranom obradom*, ili pak bez obrade (*no-till*), plodored postaje ključna strategija nadzora nad korovima i štetočinama. Naravno, korova i štetnika će uvijek biti i ne postoji takav slijed usjeva i/ili obrada tla koji će ih posve eliminirati.

Rotacija usjeva s više raznolikosti može znatno smanjiti gospodarski rizik i utjecati na veću produktivnost tla te je odluka o plodosmjeni, a posebice plodoredu, vrlo zahtijevna i kompleksna jer je najčešće kompromis između gospodarskih, poljoprivrednih i okolišnih komponenti uzgoja usjeva:

I. Ekonomska:

- (1) Cijena proizvodnje svakog usjeva se mijenja iz godine u godinu,
- (2) Tržišni potencijal proizvoda često je neizvjestan i
- (3) Razina rizika može biti neprihvatljiva.

II. Agronomska:

- (1) Očekivani prinos:
 - a) Predusjev,
 - b) Tlo (kemijsko-fizikalno-biološka ograničenja) i
 - c) Klima i vremenski uvjeti tijekom vegetacije.
- (2) Tip i razina biljne zaštite:
 - a) Predusjev i ostatci pesticida,
 - b) Vrsta usjeva i
 - c) Raspoloživa mehanizacija i pesticidi.
- (3) Tip uzgoja:
 - a) Potrebna oprema,
 - b) Sjetva/sadnja,
 - c) Aplikacija pesticida,
 - d) Primjena gnojiva i
 - e) Žetva.
- (4) Iskustvo i potrebno znanje proizvođača za uzgoj usjeva.

III. Ekološka (utjecaj na okoliš):

- (1) Utjecaj usjeva na buduću produktivnost zemljišta i
- (2) Nadzor nad utjecajem biljne proizvodnje na okoliš.

Korektna plodosmjena utječe na porast prinosa i omogućuje veće prihode pri čemu se više kultura može uzgajati profitabilno, ali želja za povećanjem raznolikosti i intenziteta plodosmjene mora biti uravnotežena, odnosno ukupno profitabilna. Dobra plodosmjena općenito zahtijeva uzgoj više različitih kultura (*diversifikacija, raznolikost*), ali osim vrste uzgajanog usjeva treba voditi računa o smjeni ozimih i jarih usjeva, onih kraće i dulje vegetacije, uskolisnih (trave) i širokolisnih, korjenastih, mahunarki, većih ili manjih potreba za vodom i hranivima, vrsti i količini žetvenih ostataka predusjeva, konfliktu (preklapanju) sjetve i žetve (berbe) i dr. Također, pokrovni usjevi (*zimski pokrovni usjevi, zelena gnojidba ili sideracija* ljeti, "živi malčevi" (*među usjevi*), postrni usjevi, sjetva krmnog bilja iza glavnog usjeva i usjevi hvatači za sprječavanje ispiranja hraniva iz tla bez vegetacije, mogu pomoći na više načina.

Sekundarni usjevi koriste vodu (i hraniva), što u zimskim uvjetima isušuje suvišnu vlagu pa se tlo u proljeće brže zagrijava uz mogućnost ranije sjetve i boljeg nicanja jarih usjeva, prorahljuju tlo, sprečavaju zbijanje i povećavaju vodno-zračni kapacitet tla te omogućuju bolje ukorjenjivanje usjeva. Također, važno je uzeti u obzir kako zaoravanje zelene biomase povećava raspoloživost hraniva (posebice dušika) kao i sadržaj organske tvari te poboljšavaju strukturu tla pa su prinosi stabilniji i vrlo često osjetno viši.

Plodosmjena usjeva je veoma važna i s aspekta boljeg iskorištavanja zemljišnih resursa (duljine tla pod vegetacijom, efikasnije korištenje vode i hraniva i dr.), regulacije pojave korova i upotrebe herbicida, smanjenja tržišnog rizika zbog uzgoja malog broja kultura, povećanja prinosa itd. Npr., prinos pšenice u dobrom plodoredu i bez štete od bolesti koja je izvjesna u uskom plodoredu, može biti već za 10 - 20 % i dr.

Stabilnost produktivnosti u duljem vremenskom razdoblju važan je čimbenik profitabilnosti i zdravlja okoliša i ključni je element održive poljoprivrede koja se temelji na *diversifikaciji*, odnosno biološkoj raznolikosti, čime se potiče ekosustav koji tada može *sinergijskim učinkom* smanjiti potrebu primjene *agrokemikalija* (gnojiva i pesticidi). Dugogodišnja istraživanja jasno pokazuju da 4-godišnja plodosmjena, uz povremenu primjenu stajnjaka, znatno smanjuje potrebu za dušikom i pesticidima pri čemu su prinosi u više različitih proizvodnih sustava bili

slični, ili najčešće veći od *konvencionalnog sustava uzgoja*. Također, kad su korovi učinkovito suzbijeni u svim sustavima, onečišćenje okoliša (posebice vode) je do dva reda veličine manje u širokom plodoredu i uz primjenu organskog gnoja u odnosu na konvencionalni sustav uzgoja.

Poljoprivredni proizvođač može imati znatan utjecaj na pojavu korova primjenom herbicida i kulture (tzv. *taktika velikog čekića*), ali najveći utjecaj na razvoj i populaciju korova ima primjena specifičnog sustava ratarske proizvodnje. Naime, primjena herbicida *inherentna* (prirodna; svojstvena) je pojava *tolerantnosti* i/ili *otpornosti korova*, pitanje je samo koliko vremena treba da se korovi adaptiraju na pojedini herbicid. S druge strane, *neherbicidalne taktike* mogu jednako biti uspješne u borbi protiv korova. One uključuju *no-till*, malčiranje cjelokupnih žetvenih ostataka (*High residue farming* ili *HRF*), uporabu certificiranog sjemena, veće norme sjetve, plansku gnojidbu i izbor gnojiva, uzgoj kultivara konkurentnih korovima, drugačiji sklop i gustoću usjeva (veći broj biljaka po jedinici površine, uže redove sjetve, intenzivnu plodosmjenu i njenu plansku raznolikost).

Praksa *odmaranja tla* ili *ugar* također je jedna od mjera protiv korova i bolesti. Iskustvo pokazuje da tzv. *kemijski ugar* nije tako učinkovit u uništavanju korova, bolesti i insekata kao *crni ugar*, odnosno *odmor tla*, a rotacija usjeva mora biti tako podešena da spriječi samonicanje prethodne kulture koja je u narednom usjevu zapravo korov.

Niti jedna od nabrojanih mjera neće sama riješiti problem korova, ali u različitim kombinacijama moguće je učinkovit nadzor nad njihovom pojavom i populacijom. Važno je naglasiti da se smanjivanje pojave korova neće dogoditi odmah nakon promjene sustava uzgoja, ali u duljem vremenskom razdoblju pritisak na korove najčešće rezultira smanjenim njihovog broja i populacije. Tu taktiku borbe protiv korova primjenjuje *sustav integriranog upravljanja korovima* (*Integrated weed management* ili *IWM*) koji se naziva i tzv. *taktika malog čekića*.

Obrada tla općenito potiče pojavu korova. Međutim, praksa bez obrade tla ostavlja sjeme korova na površini tla gdje može lako proklijati i povećati početnu populaciju korova, ali površina tla u *no-till* sustavu uzgoja svakako

nije sigurno mjesto za dulji opstanak sjemena korova i njihova brojnost postupno opada. U biljnoj proizvodnji, u sustavima bez i reducirane obrade, na uništenje korova djeluju i *alelokemikalije* (međusoban utjecaj živih organizama jednih na druge pomoću kemijskih izlučevina ili produkata razgradnje) iz ostataka usjeva na površini tla što pospješuje smanjivanje zakorovljenosti.

Tablica 24. Proračun stupnja intenziteta i raznolikosti plodosmjene (Vladimir Vukadinović)

Usjev	Prosječni datum sjetve i žetve		Broj dana vegetacije	Konflikt sjetva/žetva	Tip usjeva
	Sjetva	Žetva			
Pšenica ozima	28.10.2014.	08.07.2015.	253	0	Ozimi
Kukuruz	24.04.2016.	15.10.2016.	175	0	Jari
Ječam jari	28.02.2017.	22.06.2017.	114	0	Jari
Uljana repica	01.09.2017.	19.06.2018.	291	0	Ozimi
Raž	29.10.2018.	22.03.2019.	144	0	Pokrovni
Kukuruz	24.04.2019.	15.10.2019.	175	0	Jari
Šećerna repa	26.03.2020.	06.10.2020.	195	0	Jari
Intenzitet 1.36 (dobar) Diverzitet 3.84 (izvrstan)	<ul style="list-style-type: none"> • 2170 dana ukupno • 1346 dana vegetacije • 825 dana bez vegetacije • 5 god. + 11 mj. + 8 d. 		Konflikti sjetva/žetva = 0		

Prihvatanje koncepta raznolikosti plodosmjene je svakako korektna odluka, premda je primjena veoma složena. Kao pomoć za planiranje optimalne plodosmjene u SAD se često koristi "*pravilo palca*" za odabir redoslijeda u rotaciji usjeva:

- Uzgajati treba samo kulture koje su pogodne za konkretno tlo i klimatske uvjete,
- Potrebno je razumjeti i uvažiti tržišne uvjete radi plasmana proizvoda,
- Kako bi se smanjio problem štetočina, istu kulturu ne treba uzgajati uzastopno na istoj parceli pa treba izabrati rotaciju koja minimizira probleme štetočina,

- Što više žetvenih ostataka treba uključiti u rotaciju zbog pohrane ugljika (humusa) i
- Potrebno je korektno procijeniti trošak proizvodnje i visinu očekivanog prinosa.

Kvantifikacija intenziteta i raznolikosti plodosmjene, zbog veoma velikog broja čimbenika, različitog je značaja i vrlo složenih međusobnih odnosa. Stoga se donošenje dobre odluke, koja će rezultirati većim profitom, može postići korištenjem računalnih modela i aplikacija. U Tablici 24. je zoran primjer utvrđivanja stupnja intenziteta i raznolikosti plodosmjene posebnom Excel aplikacijom modificiranom za naše agroekološke uvjete.

Visina i kakvoća prinosa

Glavni izazov moderne poljoprivrede je kako pomiriti produktivnost (visina prinosa + isplativost) i održivost proizvodnih sustava uz visoku kakvoću hrane. Naime, visina prinosa kao i prehrambena kakvoća hrane veoma su složena svojstva jer ovise o velikom broju biotskih (genetska svojstva biljne vrste i kultivara) i abiotskih faktora (agroekološki uvjeti, npr. raspoloživost vode i hraniva, kemijsko-fizikalna svojstva tla, klima, agrotehnika, odnosno način uzgoja) i njihove složene interakcije. Visok prinos i kakvoća uroda rijetko kad idu zajedno, pa je proizvođač prisiljen odrediti strategiju za maksimizaciju pojedinih poželjnih svojstava, a ne samo razmišljati o optimizaciji proizvodnje. Također, visokoprinosni sustavi proizvodnje češće su izloženi riziku od štetočina i bolesti pa je potrebno razlikovati *najveći mogući prinos* (*potencijalni ili teoretski prinos*) koji se postiže u idealnim uvjetima i *operativni prinos* u konkretnim agroekološkim i terenskim uvjetima.

Definicije prinosa

Sociolozi često definiraju tri razine prinosa:

- *Biološki prinos* ili *bruto prinos* je prinos dobiven bez gubitaka tijekom ili odmah nakon žetve;

- Ubrani prinos ili požnjeveni prinos je biološki prinos umanjen za gubitke nastale u žetvi (potrebna količina sjemena za sljedeću sezonu može se uključiti u gubitke berbe) i
- Ekonomski prinos predstavlja količinu koja preostaje nakon gubitaka koji nastaju u žetvi, čišćenju i sušenju. Gubici nastali skladištenjem obično nisu uključeni u definicije ekonomskog prinosa, iako oni mogu biti značajni za proizvođača.

Agronomi, također najčešće definiraju tri razine prinosa:

- Potencijalni ili teoretski prinos je maksimalni prinos koji se može postići u određenoj agroekološkoj zoni s određenim kultivarom (sortom ili hibridom). Visina prinosa je određena intenzitetom (i kvalitetom) sunčeve radijacije (svjetlo i temperatura), koncentracijom CO₂ u atmosferi (usjevu ili zaštićenom prostoru), raspoloživom količinom vode i hraniva te biološkim (genetskim i fenotipskim) svojstvima usjeva;
- Dostižan ili ostvarljiv prinos uzima u obzir ograničavajuće čimbenike kao što je nedostatak ili suvišak hraniva i vodni stres i
- Stvarni ili poljoprivredni prinos uzima u obzir ograničavajuće čimbenike poput korova, bolesti, štetočina i zagađivača. Ovo je prinos koji ovisi o njezi (agrotehnici) usjeva.

Ekonomisti i fitopatolozi obično definiraju pet razina prinosa:

- Potencijalni prinos je potpuna ekspresija određenog genotipa usjeva u konkretnoj agroekološkoj zoni (u pogledu energije sunčevog zračenja);
- Dostižan prinos je onaj koji je dobiven koristeći sve dostupne tehnologije kako bi se smanjili svi mogući biotski i abiotski stresovi pod eksperimentalnim uvjetima;
- Ekonomski prinos je onaj prinos koji pruža najveću financijsku dobit temeljem ulaganja obzirom na sprječavanje ograničenja u proizvodnji;
- Stvarni prinos je onaj koji je ostvaren zbog djelomičnog, odnosno isplativog korištenja dostupnih tehnologija i
- Primitivni prinos postiže se bez primjene moderne poljoprivredne tehnologije proizvodnje.

Utjecaj kakvoće hrane na zdravlje ljudi još uvijek je nejasan i stoga često podložan različitim spekulacijama te zahtijeva daljnja i objektivna

istraživanja. Procjenu učinka mnogih sastojaka hrane na zdravlje ljudi često jako komplicira činjenica da jedan te isti kemijski spoj (npr., *fitinska kiselina*, „dijetalna“ vlakna i dr.) smanjuje resorpciju minerala iz hrane, a u maloj količini ima antikancerogeno djelovanje (npr., sprječava pojavu raka debelog crijeva).

Većina znanstvenika slaže se da je kakvoća uroda složena funkcija hranjivih tvari, njihove koncentracije (gustoće), kemijskog oblika, odsustvo patogena, mikotoksina, kemijske kontaminacije (toksične razine minerala ili fitokemikalija), organoleptičke kakvoće (okus, miris, aroma, ukus, stabilnost pri skladištenju i dr.). *Prehrambena i senzorska kakvoća* uglavnom ovise o kemijskom sastavu hrane pa bolju kakvoću određuju pojedine tvari koje ona sadrži. S jedne strane to je veća koncentracija *esencijalnih minerala, ugljikohidrata (šećera), amino kiselina, lipida* (masti ili ulja), *organskih kiselina, aroma, vitamina i bioaktivnih spojeva* (zdravstveni faktori), a s druge strane odsustvo ili minimalna koncentracija teških metala, nitrata, oksalata i tzv. *antinutrijenata*. Pored prinosa i prehrambene kakvoće hrane, veoma je važna i priprema jela (uključujući kuhanje, smrzavanje i dr.). Također, osim navedenog, kakvoća hrane može imati i neizravne efekte, npr. na okoliš. *Stoga, ne postoji jedinstveni stav o kakvoći hrane, ne postoji jedinstvena, a još manje znanstvena metodologija za utvrđivanje kakvoće hrane, niti bilo tko može imati monopol na njeno utvrđivanje.*

Održivo gospodarenje zemljištem

Tlo ima jedinstvenu i presudnu ulogu u održavanju života na Zemlji. Ono je:

- Uvjetno obnovljiv prirodni resurs;
- Reaktor, transformator i integrator procesa iz drugih prirodnih izvora (sunčevo zračenje, atmosfera, površinska i podzemna voda, biološki resursi itd.);
- Medij interakcije sfera (litosfera, atmosfera, biosfera);
- Medij produkcije biomase za ljudsku i stočnu hranu, industrijsku sirovinu i alternativnu energiju;
- Skladište je topline, vode, biljnih hraniva, a u nekim slučajevima i otpada iz različitih izvora;

- Pufer velikog kapaciteta koji može prevenirati ili ublažiti nepovoljne ekološke utjecaje;
- Prirodni filter koji može spriječiti onečišćenja podzemnih voda;
- Značajan rezervoar varijabilnost gena;
- Važan element bioraznolikosti i
- Konzervator i nositelj prirodne i ljudske baštine.

Iz tako opisanih funkcija tla, jasna je njegova jedinstvena i nezamjenjiva uloga pa je prioritet u biljnoj proizvodnji očuvati tlo s ciljem daljnje dostatnosti u proizvodnji hrane.

Održiva biljna proizvodnja integrira tri glavna cilja, a to su zdravlje okoliša, ekonomska profitabilnost i socijalna dobrobit cjelokupnog društva, od proizvođača pa sve do potrošača. Očuvanje prirodnih i ljudskih resursa ima ključni i dugoročni značaj, jer održivost počiva na načelu da se moraju zadovoljiti današnje potrebe u hrani bez ugrožavanja budućih generacija. Upravljanje ljudskim resursima podrazumijeva društvenu odgovornost, npr., poboljšanje radnih i životnih uvjeta poljoprivrednih proizvođača, zadovoljavanje potrebe seoskih zajednica, te brigu za zdravlje i sigurnost potrošača, kako danas, tako i u budućnosti.

Prijelaz na stvarno održivu poljoprivredu je kompleksan i dugotrajan proces koji obično zahtijeva niz malih, realnih koraka. Stoga je temelj tranzicije prema održivom korištenju zemljišta volja svakog sudionika u proizvodnji hrane, uključujući poljoprivredne proizvođače, političare znanstvenike, trgovce i potrošače, da se napravi sljedeći korak.

Održivo gospodarenje zemljištem jedno je od najvažnijih kriterija koji neposredno i/ili posredno utječu na kakvoću života. Međutim, svijest društva o potrebi održavanja i povećanja kakvoće tla najčešće nije u suglasju s njegovom multifunkcionalnom i nezamjenjivom ulogom, a postupno se izgubila razvitkom društva od primitivnih do suvremenih i urbanih društvenih zajednica.

Svjetska populacija raste po stopi od ~1,6 % godišnje, a u najmanje razvijenim zemljama s najvećim potrebama za hranom ta je stopa čak do 3 %. Istovremeno su *prirodni resurs*, kao što su zemljište i voda u opadanju zbog *urbanizacije* i *degradacije*, kako količinski tako i po kakvoći,. Naime,

potreba za što više hrane čest je uzrok antropogene degradacije poljoprivrednog zemljišta (gubitak organske tvari, zaslanjivanje, zakišeljavanje, erozija vodom i vjetrom, fizička, kemijska i biološka degradacija i dr.) i na taj veliki izazov sadašnjice potrebno je znati odgovoriti, pravovremeno i učinkovito.

Korištenjem zemljišta u poljoprivrednoj proizvodnji pokušava se zadovoljiti više, često proturječnih ciljeva, pa najbolji uvjeti za rast biljaka nisu i najbolji za sprječavanje onečišćenja okoliša (organska i mineralna gnojiva, zaštitna sredstva i dr.), gubitka plodnosti, pojave erozije (agrotehnika, uređenje zemljišta i dr.), degradacije tla itd. Budući da konvencionalna, posebice intenzivna poljoprivreda, ima sve odlike industrijske proizvodnje (primjena mehanizacije, kemijskih prirodnih i sintetskih preparata kao što su gnojiva, pesticidi, aditivi, proizvodnja na velikim površinama i dr.), česti su negativni uzgredni efekti kao što su prekomjerno onečišćenje i *devastacija prirodnog okoliša*. To opravdano izaziva sve veće nezadovoljstvo potrošača uz njihov gubitak povjerenja u kakvoću i zdravstvenu ispravnost hrane. Posljedica je sve veća potražnja *ekološki (organski) proizvedene hrane* uz sve jači nadzor u konvencionalnoj proizvodnji, jer potrošači imaju pravo na sigurnu i kvalitetnu hranu (EC, br.178/2002., Zakon o hrani, NN 46/2007.).

Dobra poljoprivredna praksa

Pridržavanje prakse koji poljoprivrednu djelatnost usklađuju s ekološkim ali i ekonomskim načelima, odnosno način korištenja zemljišta kojim se najbolje mogu ostvariti ciljevi gospodarske i ekološke održivosti, naziva se *dobra poljoprivredna praksa* (*Good Agricultural Practice* ili *GAP*), naročito zbog proklamiranih ciljeva:

- a) Prihvatljivo ekološko opterećenje okoliša,
- b) Očuvanje i podizanje plodnosti tla prirodnim putem i
- c) Čuvanje i poticanje biološke raznolikosti.

Načela dobre poljoprivredne prakse preoblikovana su i označavaju kao integrirana poljoprivredna proizvodnja čiji je dio i gnojidba. Važno je naglasiti da integrirana gnojidba mora biti ekološki prihvatljiva i ujedno

ekonomski isplativa. Oba zahtjeva moraju biti ispunjena jer je profitabilnost zapravo najvažniji zahtjev održivosti, koji se vrlo često zanemaruje.

Practiciranje prakse integrirane biljne proizvodnje podrazumijeva primjenu doza gnojiva koje zadovoljavaju potrebe biljaka (usjeva, povrća, nasada), stanju plodnosti tla, isplativosti uloženog rada i sredstava, ali vodi računa o vremenskim uvjetima, zaštiti okoliša i visini *ekonomskog prinosa*. Budući da je *integrirana biljna proizvodnja* razuman kompromis konvencionalne i ekološke, u takvom sustavu uzgoja primjenjuju se agrotehničke mjera obzirom na ekonomičnost proizvodnje uz prihvatljivo ekološko opterećenje okoliša. Zbog toga se sustav integrirane biljne proizvodnje češće naziva održivom poljoprivrednom proizvodnjom.

Kakvoća poljoprivrednog zemljišta i održiva poljoprivredna proizvodnja su temelj dostatne količine hrane za prehranu sve brojnijeg stanovništva Zemlje. U tom smislu zdravlje tla je neophodno za dobrobit i produktivnost, kako poljoprivrednih, tako i prirodnih ekoloških sustava, a *održivo korištenje zemljišnih resursa* važno je danas, kao i u budućnosti. Budući da je *zdravlje tla* njegovo bitno svojstvo koje se ne može izravno mjeriti, niti se mogu u kratkom ljudskom vijeku utvrditi značajne promjene njegove produktivnosti, društvo i pojedinci moraju naučiti kako zemljišne resurse mudro i odgovorno koristiti u proizvodnji hrane, tako i za druge namjene.

U prošlosti, mnogi od argumenata o održivosti poljoprivrednih sustava odnosili su se na povrat hranjivih tvari u tlo. Međutim, povećanjem agronomskog i ekološkog pritiska na zemljišne resurse, postaje jasno kako niti jedan poljoprivredni sustav neće biti održiv na dugi rok ako ne uzima u obzir ciklus hraniva, vodu i korištenje energije. Naime, povećanje prinosa općenito zahtijeva korištenje više energije i drugih resursa, premda u tome pomaže učinkovitija gnojidba, navodnjavanje, agrotehnika i dr.

Pretjerana eksploatacija tla najčešće ide na štetu njegove plodnosti i potkopava sposobnost biosfere da održi potrebnu razinu proizvodnju hrane, ali i osigura kontinuirani protok drugih dobara i usluga neophodnih za dugotrajni ljudski opstanak, uključujući i održavanje vodenih slatkovodnih resursa, regulaciju klime i kvalitete zraka te pad zaraznih bolesti. Stoga se na globalnoj razini, a u interesu uravnoteženja proizvodnje

hrane i produktivnosti poljoprivrednog zemljišta, predlaže ukupno ograničenje obradivih površina na maksimalno 15 %, a trenutno se koristi ~12 %.

Održivo upravljanje zemljištem (*Sustainable Land Management* ili *SLM*) je temelj održive poljoprivrede i strateška je komponenta održivog razvoja u globalnim razmjerima za ublažavanje siromaštva u mnogim nerazvijenim zemljama. Trenutno, samo nekoliko zemalja u svijetu još uvijek imaju rezerve zemljišnih resursa potrebnih za očekivano povećanje svoje populacije. U većini slučajeva, proizvodnja se povećava intenziviranjem površina pod kultivacijom. Nadalje, u većini zemalja u razvoju, ljudi se još uvijek pretežito bave *primarnom poljoprivredom* (proizvodnja nedorađene hrane), bilnogojstvom, stočarstvom, šumarstvom i ribarstvom te je njihov život, ali i mogućnosti za ekonomski razvoj, izravno povezan s kakvoćom zemljišta i njegovih resursa. Zbog toga, održivo upravljanje zemljištem pokušava uskladiti, često proturječne ciljeve, jači gospodarski i društveni razvitak uz zadržavanje i povećanje svih, posebice ekoloških funkcija zemljišnih resursa. Uglavnom se smatra kako se oba cilja mogu postići istovremeno ako se zemljišni resursi koriste na odgovarajući način u čemu pomaže *SLM monitoring*.

Ključno pitanje SLM upravljanja zemljišnim resursima je „*Zašto korisnici zemljišta primjenjuju neprimjerenu ili štetnu praksu?*“. Naime, poljoprivredni proizvođači su u većini slučajeva svjesni degradacije tla, ali nisu u stanju promijeniti praksu njegovog korištenja zbog političkih, kao i ekonomskih okolnosti. Npr., odsustvo stabilnih tržišnih cijena, nesigurno i često promjenjivo zemljišno pravo, zlouporaba subvencija i poticaja itd., ograničava mogućnost prakticiranja održivog gospodarenja zemljištem.

U *biofizikalnoj analizi vrednovanja zemljišta* i *procjene zemljišne pogodnosti* postoje dva glavna smjera: *kvalitativna* i *kvantitativna procjena*. Općenito govoreći, sustav vrednovanja zemljišta je kvalitativan kada su svojstva zemljišta definirana kategorijama (npr. *bonitetne klase*), a smatra se kvantitativnim kada su vrijednosti svojstava zemljišta mjerljiva, odnosno kombinacija su numeričkih i matematičkih iskaza, ili su to stupnjevani indeksi. *Kvalitativno vrednovanje zemljišta* je jednostavno jer opisno ocjenjuje prikladnost zemljišta za pojedine namjene uz njegovo

grupiranje u mali broj kategorija (*bonitetnih klasa*), uglavnom na subjektivan način. Primjena kvalitativnih sustava procjene zemljišne pogodnosti ili *bonitiranje* u velikoj mjeri ovisi o iskustvu i intuitivnoj prosudbi te su to pravi *empirijski* (iskustveni) sustavi.

Žetveni ostaci

Sve veće nerazumno korištenje *biomase* kao *biogoriva* (ili za proizvodnju bioplina, etanola i dr.) može imati nesagledive posljedice na plodnost tla. Iscrpljivanjem fosilnih goriva, posebice nafte i plina, biomasa postaje sve važniji izvor energije jer žetveni ostaci imaju znatnu kalorijsku moć $\sim 3 \times 10^6 \text{ kcal t}^{-1}$ ili $18,6 \times 10^9 \text{ J}$, što je 50 % vrijednosti ugljena ili 33 % nafte. Biomasi se često koristi za stočnu hranu, proizvodnju vlakana, kao industrijsku sirovinu u mnogim oblastima ili kao zelenu gnojidbu te je ona veoma dragocjen, ali i vrlo ograničen resurs. Naravno, biomasa se može proizvesti uzgojem brzorastućih kopnenih ili morskih biljaka, kao nusproizvod obrade drveta, korištenjem urbanog smeća ili plantažnim uzgojem usjeva, uključujući i brzorastuće trajnice.

Žetveni ostaci najveći su dio ukupne godišnje proizvodnje biomase (50 - 75 %), njihova suha tvar sadrži 15 - 60 % celuloze, 10 - 30 % hemiceluloze, 5 - 30 % lignina, 2 - 15 % proteina, do 10 % topljivih tvari kao što su šećeri, amino kiseline, amino šećeri i organske kiseline ili 40 - 50 % ugljika. Stoga žetveni ostaci predstavljaju najvažniji izvor organske tvari u tlu jer imaju značajan utjecaj na biološka, kemijska i fizikalna svojstva svih poljoprivrednih tala te se ne smiju nipošto smatrati otpadom. Žetveni ostaci (zaorani konvencionalnom obradom ili ostavljeni na površini tla u *no-till* i *reduciranoj obradi*) jako smanjuju mogućnost erozije, povećavaju sposobnost zadržavanja vode u tlu, poboljšavaju infiltraciju vode, dreniranost i prozračnost tla, dugoročno povećavaju sadržaj humusa, održavaju ciklus hraniva u tlu, smanjuju gubitak biljnih hraniva ispiranjem i/ili sapiranjem, povećavaju biološku aktivnost tla, smanjuju opasnost od poplava, poboljšavaju filtraciju vode (kakvoću pitke vode) i onečišćenje tekućih voda i dr.

Gospodarenje žetvenim ostatcima često prati dvojba. Naime, mnoga istraživanja jasno pokazuju da žetveni ostaci imaju istovjetnu hranidbenu

vrijednost kao stajnjak. Stoga, znanost zastupa obvezno zaoravanje žetvenih ostataka ili ostavljanje na površini kao malč, nikako njihovo spaljivanje. Premda zaoravanje žetvenih ostataka može predstavljati tehnički problem, jer usitnjavanje i zaoravanje velike biološke mase stvara poteškoće (npr. priprema tla za sjetvu pšenice poslije berbe kukuruza), puno je veća šteta zbog njihovog spaljivanja, koja je inače zabranjena od 2011. god. u RH (Pravilnik o dobrim poljoprivrednim i okolišnim uvjetima i uvjetima višestruke sukladnosti; N.N. 89/11).

Mineralizacija velikih količina svježe organske tvari zahtijeva dodatnu N-gnojidbu za sprječavanje tzv. *dušičnog manjka* (tzv. *dušična depresija*), posebice kad je sjetva unutar 6 tjedana od prethodne žetve, odnosno zaoravanja žetvenih ostataka. S druge strane, žetveni ostaci su kao izvor mineralnih hraniva od slabijeg interesa (Tablica 25.) jer sadrže puno celuloze, uz malu količinu N, P, K i ostalih biogenih elemenata, a njihovo korištenje za proizvodnju energije (toplane, elektrane i dr.) proizvođačima znatno popravlja profit, posebice kad je cijena hrane niska.

Premda žetveni ostaci sadrže veliku količinu energije, nju je dugoročno profitabilnije iskoristiti zaoravanjem na parceli, jer hranjive tvari koje sadrže, ma kako ih malo bilo, nalaze se na mjestu primjene i nije potreban nikakav transport. Osim toga, zemljišna mikroflora je pretežito *heterotrofna* i ne može živjeti bez organske tvari. Budući da razlaganje i transformaciju organske tvari u tlu obavljaju mikroorganizmi (bakterije i gljive) pri čemu bakterije preferiraju razgradnju jednostavnijih organskih spojeva, npr. korijenske izlučevine i svježe biljne ostatke, dok gljive radije razlažu lignin i druge kompleksnije spojeve, npr. vlaknaste biljne ostatke, lignin i humus tla.

Kontrola plodnosti na tlima istočne Hrvatske koja se provodi od 2003. god. do danas na Osječko-baranjskoj županiji i proizvodnom području sve tri hrvatske šećerane, pokazala je prosječan sadržaj od 53 tone ugljika po ha za slavonsko-baranjsko agroekološko područje. Uz očekivanu stopu njene razgradnje od ~2 %, godišnji gubitak *organskog ugljika* (OC) je procijenjen na 1,06 t C ha⁻¹. Tako velika izgubljena količina OC ne može biti nadoknađeno niti ukupnom masom žetvenih ostataka pšenice, ali može zaoravanjem žetvenih ostataka soje, pa je u tom slučaju bilanca ugljika

pozitivna. Zbog toga je razumijevanje transformacije žetvenih ostataka u procesu mineralizacije, kao i tvorba humusa (*humifikacija*), ključ u rasvjetljavanju *biogeokemijskog ciklusa ugljika*. Naime, dinamika i smjer transformacije organske tvari u tlu utječe na količinu, strukturu i svojstva sintetiziranih humusnih tvari, posebice kad se zna da je iz poljoprivrednih tala, u odnosu prema prirodnim ekosustavima (nativna tla), do sada izgubljeno prosječno 30 - 50 % ugljika.

Tablica 25. Prosječan sadržaj N, P₂O₅ i K₂O u žetvenim ostacima

Žetveni ostatci	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg t ⁻¹		
Djetelina	25,0	8,0	30,0
Grašak stočni	25,0	8,0	25,0
Djetelinsko-travna smjesa	22,5	7,0	27,0
Lucerna	20,0	7,0	30,0
Grah	13,5	6,0	22,0
Soja	12,0	3,1	5,0
Suncokret	12,0	3,0	25,0
Rauola (siderat)	10,5	5,0	10,0
Uljana repica	8,0	2,5	11,0
Kukuruz	7,5	3,0	15,0
Kukuruz sjemenski	7,0	2,7	18,0
Pšenica ozima	5,0	2,0	10,0
Zob jara	4,5	2,5	18,0
Triticale	4,5	2,0	10,0
Šećerna repa	4,5	1,6	8,0
Zob ozima	4,0	3,0	20,0
Ječam ozimi	4,0	1,8	12,0
Ječam jari	3,7	1,7	10,0
Raž	3,5	1,7	8,0
Krumpir	3,5	1,0	3,0
Pšenica jara	3,0	1,7	9,0

Redovito odnošenje ili spaljivanje žetvenih ostataka jako povećava rizik od erozije na nagnutim terenima i lakšim tlima (npr. na praporu i pijesku), remeti ciklus hraniva u tlu, utječe na pogoršavanje strukture i porast

volumne gustoće tla, pad sadržaja humusa te retencijske i filtracijske sposobnosti tla za vodu. Također, izrazito pada mikrobiološka aktivnost u tlu, odnosno pogoršava se njegova biogenosti, snižava se kationski izmjenjivačkog kapaciteta i konačno pada prinos.

Precizno poljodjelstvo

Precizno poljodjelstvo (Precision Agriculture) temelji se na promatranju i mjerenju radi adekvatnog odgovora na varijaciju usjeva unutar proizvodne parcele. Varijabilnost usjeva uvijek ima prostornu kao i vremensku komponentu, što se puno lakše uočava uz primjenu geostatističke-komputorske analize. Stoga se precizna poljoprivreda oslanja na *sustav podupiranja odluka (Decision Support System ili DSS)* kojim se optimiziraju i nadziru različiti proizvodni procesi. DSS nije univerzalan jer pristupa upravljanju različitim proizvodnim procesima, ali se pretežito oslanja na *fitogeomorfološki pristup*, odnosno *topologiju poljoprivrednog prostora* (topografske, agrokemijske, satelitske i druge karte, GPS, senzore za identifikaciju svojstava tla i prinosa i dr.). Na taj način moguće je precizno *geopozicionirati* (definirati položaj u prostoru) i detektirati prostornu i vremensku varijabilnost proizvodne parcele, npr. vlažnost tla, koncentraciju humusa, raspoloživost elemenata ishrane, pH, EC i dr. Zbog toga je geopozicioniranje temelj za definiranje strategije, odnosno izradu *tehnoloških karata* koje su podloga za donošenje odluke o vremenu i načinu izvođenja pojedinih agrotehničkih zahvata.

Precizno poljodjelstvo, također, omogućuje primjenu *monitoringa uroda* (kombajni opremljeni s GPS-om i mogućnosti utvrđivanja visine uroda, radar za predviđanje prinosa šećerne repe i sl.) i *tehnologije promjenjive stope (Variable Rate Technology ili VRT)*. U tu grupu spadaju sijačice, raspodjeljivači gnojiva (Slika 27. i 28.), prskalice itd., koji u stvarnom vremenu, uz pomoć različitih senzora (npr. boje, gustoće i etape razvitka usjeva, prisustva i vrste korova, itd.), ili satelitskih snimaka te NDVI karata (*Normalised Difference Vegetation Index*) primjenjuju različiti dozu gnojiva, herbicida i dr. Takva suvremena agrotehnika veoma efikasno snižava troškove biljne proizvodnje, toliko da se investicija često isplati u prvoj godini primjene.



Slika 27. Jara N-sensor



Slika 28. Lokalizirana primjena pesticida

Zelena vegetacija apsorbira vidljivo svjetlo (*fotosintetski aktivnu radijaciju*), ali ujedno jedan dio raspršuje, odnosno reflektira. Razlika između apsorbirane i reflektirane svjetlosti jedinstven je za tip i razvijenost vegetacije i označava se kao *NDVI indeks* koji pokazuje stanje i gustoću vegetacije, odnosno ukazuje na fotosintetski kapacitet usjeva na pojedinoj parceli. Utvrđivanje NDVI indeksa moguće je na temelju satelitskih snimaka, preciznije na temelju aero snimaka, a još preciznije (rezolucija je ~2 cm) iz niskoletjećih dronova (*dron; bespilotna letjelica*) čija je cijena prihvatljiva za svakog srednjeg ili velikog poljoprivrednog proizvođača (Slika 29. i 30.). Dronovi mogu biti opskrbljeni kamerama i različitim sensorima za utvrđivanje raspoloživosti vode, hraniva, pojavu bolesti, štetnika, korova i dr. Takvim pregledom usjeva moguće je zapaziti probleme u biljnoj proizvodnji i do dva tjedna ranije, u odnosu na vizualni pregled usjeva.



Slika 30. Zrakoplovni dron (eBee)



Slika 30. Višerotorski dron

Utvrđivanjem gustoće usjeva uz pomoć listnog indeksa (LAI; površina lišća m² po m² površine tla) daje veoma važne podatke o usjevu, mikroklimi, ali i štetnicima te njihovim međusobnim interakcijama. Kombinacija utvrđivanja *NDVI* i različitih oruđa, npr. za folijarnu primjenu dušika, omogućuje vrlo efikasnu N-prihranu i izvrsnu procjenu biomase usjeva, odnosno pouzdano predviđanje visine prinosa.

GPS uređaji namijenjeni gnojidbi već omogućuju primjenu gnojiva bez „preskakanja“ i „preklapanja“ (što je moguće i noću, ili po magli), kao i optimalno kretanje traktora uz najmanju potrošnju goriva pri obradi parcela različite veličine i konfiguracije.

Stručni savjeti za postizanje visokog i kvalitetnog prinosa

U svakom djelokrugu ljudske djelatnosti brojne su pogreške, zablude i mitovi, pa niti biljna proizvodnja nije iznimka. Subjektivne pogreške nastaju zbog nedovoljnog stručnog znanja poljoprivrednog proizvođača, izostanka ekonomskog pristupa, lošeg planiranja proizvodnje i procjene tržišta itd., a objektivne zbog neorganiziranosti tržišta, slabe podrške struke, društva, nedostatka kapitala, loše infrastrukture itd. Proizvođač mora biti svjestan rizika proizvodnje pod „otvorenim nebom“ te razmišljati i proizvoditi ekonomično uz potpuno uvažavanje struke. To znači da se niti jednu agrotehničku mjeru ne smije provoditi „napamet“ kao dobar „recept“ na temelju pretpostavki ili loših savjeta. Pogreške mogu ponekad biti bezazlene pa ih odgovoran proizvođač ubuduće izbjegava, ali neke mogu nanijeti veliku štetu, odnosno biti vrlo „skupe“ i uništiti višegodišnji trud ili čak perspektivu.

Nažalost, poljoprivredni proizvođači često vjeruju u nešto što se ne temelji na objektivnim činjenicama niti je potvrđeno istraživanjima, osobito u konkretnim agroekološkim uvjetima. Stoga ne treba uzimati „zdravo za gotovo“ opće smjernice, pravila i savjete koji su vrlo česti u biljnoj proizvodnji, a nisu utemeljeni na poznavanju lokalnih biljnih, zemljišnih i klimatskih uvjeta proizvodnje već se oslanjaju na pogrešne pretpostavke, zablude i mitove. Treba uvijek imati na umu kako je pretpostavka na

temelju nepoznavanja, ili nedovoljnog broja činjenica, „*majka svih pogrešaka*“.

U poznavanje temeljnih činjenica svakako se ubraja potencijalna plodnost tla, potreba vode i neophodnih hraniva, adekvatna obrada, izbor kultivara i pravovremena sjetva, potreba zaštite usjeva od bolesti i štetočina itd., ali i ekonomičnost, kao i učinkovitost cjelokupne agrotehnike kako bi proizvodnja bila profitabilna i donosila dobitak.

Znanstveno-stručni temelji agrotehnike u biljnoj proizvodnji vrlo su opsežni i nadasve multidisciplinarni te ih nije ukratko niti jednostavno prikazati. Budući da primjena svake agrotehničke mjere mora biti logična, potrebna, odgovarajuće, pravovremena, učinkovita i profitabilna, čest je privid kontradikcije u donošenju najbolje odluke. Naime, svaki proizvođač mora gotovo svakodnevno preispitati svoje odluke na način „što, kad, kako i po kojoj cijeni“ mora poduzeti da bi ostvario dobit i osigurao egzistenciju. Kreirajući računalne programe cijeli svoj radni vijek za potrebe utvrđivanja analize rasta i razvitka usjeva i optimizacije gnojidbe, prvi autor ove knjige je odavno shvatio kako se za izradu pouzdane gnojidbene preporuke moraju koristiti pravila za interpretaciju kemijske analize tla i svih neophodnih dopunskih informacija o tlu, biljci, agrotehnici i dr. Pravila su vremenom proširivana, osuvremenjena i prilagođavana, obzirom na sve veće iskustvo i danas već ogromnu bazu podataka o trenutnim agroekološkim i ekonomskim uvjetima u biljnoj proizvodnji. Pošto se isti pristup uspješno može primijeniti u cjelokupnoj biljnoj proizvodnji, stručni savjeti su u daljem tekstu izloženi kao kratko obrazložena pravila, naravno opisno, a ne formalno kompjutorskim jezikom kako je to u programima za analizu rasta i razvitka bilja, odnosno utvrđivanje potrebe u gnojidbi, popravkama tla, optimizaciji plodosmjene itd.

U daljem tekstu opisani su primjeri gnojidbe ozime pšenice (ozimih žita), šećerne repe i kukuruza, usjeva koji zauzima najviše obradivih površina u RH. Velike razlike u tehnologiji uzgoja, koje su rezultat agroloških i ekofizioloških posebnosti tih usjeva, dostatne su za prikaz najvećeg broja čimbenika koje treba poznavati i uvažavati kod utvrđivanja potrebe za gnojidbom svih drugih usjeva. Također, obuhvaćena su znanstvena i proizvodna iskustva zemalja s visokorazvijenom ratarskom proizvodnjom.

Ozima žita

Rast i razvitak ozimih žita najviše je pod utjecajem temperature, svjetla i količine oborina. Ako ta tri vanjska čimbenika znatnije odstupaju od očekivanih vrijednosti, njihov štetan učinak ne može se u značajnoj mjeri kompenzirati uporabom gnojiva. Ipak, u određenoj mjeri, primjena dušika može utjecati, npr. na gustoću usjeva, odnosno povećavanje broja vlati (*nabusavanje*) i to tek kad vegetacija zbog zatopljavanja „krene“. Zbog toga učinkovita N-prihrana mora biti provedena sukladno *kondiciji* (trenutnom stanju) ozimih žita, odnosno stadiju razvića, raspoloživosti dušika u tlu i mogućnosti njegovog usvajanja. Pretjerana N-prihrana može povećati jaču pojavu bolesti i pojavu suviše velikog broja *neproduktivnih vlata* (bez klasa) zbog pregustog usjeva.

U osnovnoj gnojidbi ozimih žita, mudro je primijeniti manji dio potrebnog dušika za ostvarenje visokog prinosa, posebice ako se daje u vidu uree koju treba odmah zaorati. Naime, gubici amonijskog dušika isparavanjem (*volatizacija*) po toplom vremenu i na neutralnim ili karbonatnim tlima mogu biti veoma visoki, nakon 10 dana dosižu do 50 %. Dušik primijenjen u jesen smanjuje rizik njegovog nedostatka u vremenskim okolnostima kad prihranu dušikom nije moguće obaviti na vrijeme, uglavnom zbog visoke vlažnosti tla.

Točne količine, pa i vrijeme primjene P i K gnojiva, nisu za žita osobito važni, pa tako niti prinos pšenice neće najčešće reagirati na PK prihranu, bez obzira da li tlo sadrži malo ili dovoljno fosfora i kalija. Dakle, kad je utvrđen manjak P i K treba ih unijeti u tlo osnovnom obradom tako da se nalaze izmiješani s tlom u zoni razvitka najveće mase korijene. Naime, primjena fosfora i kalija u prihrani ozimih žita često može imati štetne posljedice zbog slabog prodiranja korijena u dublje, slabije opskrbljene slojeve tla. To će se tek kasnije, s pojavom nedostatke vode, odraziti na pad prinosa, a moguće je i polijeganje usjeva kod jačih oborina i vjetra zbog slabog ukorjenjivanja. Stoga je mudro gnojidbu prilagoditi rotaciji (*plodosmjerni*), pa se nešto više P i K može dati prije sjetve prethodnog usjeva, osobito ako on zahtijeva povećanu količinu P i K (npr. šećerna repa, kukuruz itd.). Kad postoji opasnost od kemijske *imobilizacije* hraniva, posebice fosfora (slabo humozna jako kisela i karbonatna tla), treba razmisliti o mjerama popravke

zemljišta. Budući da je na kiselim tlima fosfor *imobiliziran* u formi *aluminijevih i željeznih fosfata* (trajno nepristupačan P), podizanje pH vrijednosti kalcizacijom, ili primjena organskog gnojiva, rezultira većom učinkovitosti P-gnojivke. Također, unos organske tvari u tlo (organska gnojivka, sideracija, zaoravanje svih žetvenih ostataka i dr.) uklanjaju iz tla teške metale vežući ih na sebe (tzv. *humat efekt*), pa je učinkovitost mineralnog P-gnojiva znatno veća.

Otpornost ozimih žita na niske temperature, kao i dobra hidratacija tkiva u slučaju nedostatka vode, vezana je uz dovoljnu opskrbljenost biljaka kalijem te se K-gnojivkom mora osigurati njegova dovoljna raspoloživost. Budući je *kaljenje* (stjecanje otpornosti na niske temperature) složen fiziološko-biokemijski proces koji rezultira staničnim promjenama koji se odvija samo tijekom period mirovanja, ozima žita se aklimatiziraju na hladnoću postupnim snižavanjem temperature kroz više dana, a zakaljena ozima pšenica može izdržati niske temperature, čak do -20°C .

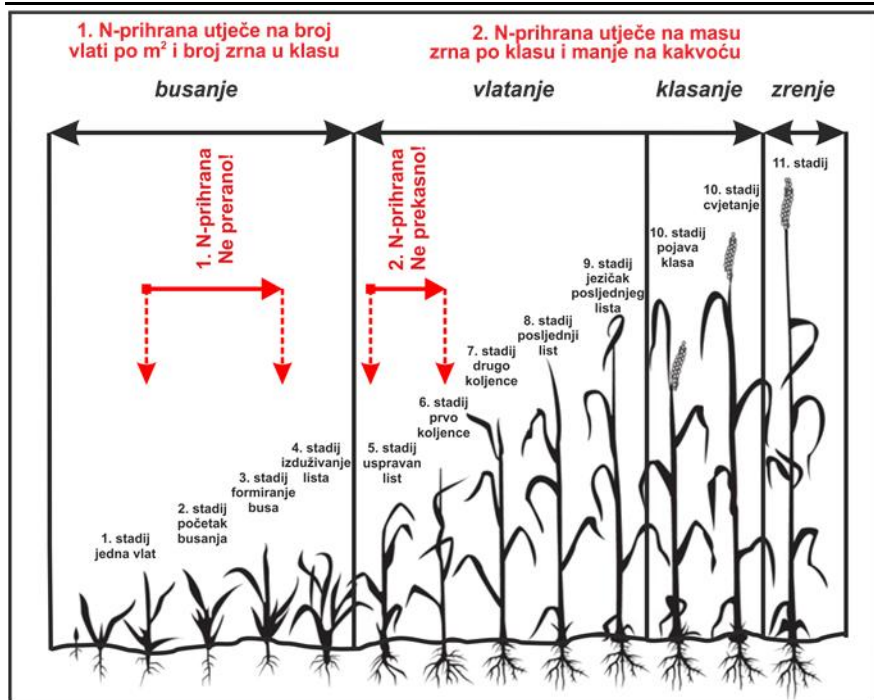
Više kalija treba primijeniti na teškim i hladnim tlima jer glina, posebice tzv. *K-fiksirajuće ilitne i vermikulitne gline* čvrsto vežu kalij koji biljke ne mogu usvojiti. Budući da količina fiksiranog kalija na takvim tlima može biti golema (veća od $50 \text{ t K}_2\text{O ha}^{-1}$), ne treba se zanositi idejom kako se visok kapacitet fiksacije za kalij može anulirati primjenom melioracijskih doza. Također, suvišak kalcija i/ili magnezija na alkalnim i jako karbonatnim tlima značajno smanjuje raspoloživost kalija pa ga treba nešto više primijeniti.

Ozima žita sve do proljetnog kretanja vegetacije akumuliraju najviše tzv. *plastične tvari*, odnosno rezervna hraniva koje se lako transformiraju u građevne jedinice organske tvari. Naravno, *kapacitet za akumulaciju (sink)* najviše ovisi o veličini biljaka za vrijeme *kriptovegetacije* (mirovanje) i temperaturi. Pšenica akumulira hraniva, prije svega nitrata, kada je temperatura jednaka ili viša od 0°C . Kod temperatura bliskih tzv. *indikativnoj temperaturi* (za pšenicu to je 0°C), usvajanje dušika je najvećim dijelom iz vodene faze tla, dok je usvajanje fosfora i kalija veoma ograničeno zbog njihovog čvrstog vezivanja u tlu. Zbog fiksacije, pri niskim temperaturama i niske životne aktivnosti (*metabolizam*) biljaka, usvajanje P i K zimi je nedovoljno pa ih treba zaorati prije sjetve do dubine najvećeg rasprostiranja korijenskog sustava. Suprotno fosforu i kaliju, dušik u tlu ne

može stvarati trajne rezerve. Njegov sadržaj je vrlo varijabilan po dubini profila i vremenu, mineralizacije organske tvari gotovo da i nema tijekom zime, pa se dušik mora dodavati u više navrata.

Kad je rast ozimih žita, u bilo kojem stadiju razvića (*etapa organogeneze*), ograničen vanjskim čimbenikom, npr. slabom opskrbom hranivima, vodom, svjetlom ili temperaturom, prinos zrna će uvijek biti niži i tu se vrlo malo može promijeniti pojačanom N-prihranom ili primjenom P i K. Pogreške u praktičnoj primjeni adekvatne N-prihrane događaju se uglavnom zbog loše procjene raspoloživosti hraniva u tlu, te zbog prerane ili suviše kasne N-prihrane. U našoj poljoprivrednoj praksi najčešće se vrijeme prihrane dušikom prilagođava vremenskim uvjetima pa se primjenjuje prerano po smrznutom tlu ili snježnom pokrivaču kad su biljke u mirovanju i ne mogu usvajati hraniva, niti vodu.

Točno vrijeme N-prihrane mora biti usklađeno sa stanjem (*kondicijom*) usjeva i *organogenezom* (stupnjem razvitka), što se lako može utvrditi *fenološkim opažanjima* u polju (Slika 31.). Budući da je tijekom zime jako usporena mineralizacija organske tvari, ozima žita usvajaju dušik zahvaljujući gnojidbi, stupnju plodnosti tla, neiskorištenom dijelu (*rezidualnih*) hraniva prethodnim usjevom (posebice kad je podbacio njegov prinos iz bilo kojeg razloga). Samo mala količina dušika bit će raspoloživa ozimoj pšenici iz procesa mineralizacije, najviše do 40 kg N/ha (ječmu još manje) i to tek od početka klasanja do voštane zrioba, pa su uz *reutilizaciju* N (promeštanje N iz starijeg lišća u mlađe aktivnije) to najvažniji razlozi zašto treća (tzv. *korektivna N-prihrana*) rijetko kad utječe na visinu prinosa i povećanje koncentracije N u zrnu, zapravo samo na porast tzv. *sirovih proteina*. Taj moment svakako treba pomno razmotriti zbog primjene *Kodeksa o otkupu žitarica i uljarica* koji je na snazi od početka 2015. god. kad je $\frac{2}{3}$ otkupljene pšenice svrstano u 3. klasu i plaćeno po najnižoj cijeni. Pri tome treba znati da je izbor kvalitetnije sorti sigurnije i bolje rješenje za proizvodnju kvalitetnijih pšenica od N-prihrane u klasanju.



Slika 31. Vrijeme N-prihrane ozimih žita

Procjena raspoloživosti dušika prije N-prihrane najtočnije se obavlja uz pomoć N_{min} metode kojom se neposredno prije *kretanja vegetacije* (kraj tzv. *kriptovegetacije*) i neposredno prije početka vlatanja, odnosno nakon proljetne ravnodnevnice (*ekvinocij*) u posljednjoj dekadi ožujka utvrdi raspoloživa količina oba oblika mineralnog dušika ($N-NO_3$ i $N-NH_4$) u zoni do koje je dospio korijen. Dubina uzorkovanja za N-prihranu pomoću N_{min} metode u busanju je 0-60 cm, a pred početak vlatanja 60-90 cm. Pšenica neće i ne može vlatati prije proljetne ravnodnevice, jer je do tada dan kraći od potrebne, inicijalne duljine pa se druga prihrana „tempira“ neposredno prije početka vlatanja. Zbog brzog porasta strnih žita u početku vlatanja, naglo raste i potreba za hranivima, posebice dušikom, pa je svakako zakašnjenje druge N-prihrane vezano uz pad prinosa.

Savjeti za gnojidbu ozimih žita

- Za postizanje visokih prinosa potrebna je povoljna mineralna ishrana od 1. - 4. etape organogeneze (Slika 31.), mada ozima pšenica usvoji tijekom zime samo 5 - 10 % ukupno potrebnog N. Tako mala količina dušika ipak ima presudan fiziološki značaj, jer istraživanja i iskustvo pokazuju da visina prinosa ozimih žita najviše zavise od kapaciteta *sink-a*, odnosno broja zrna u klasu (~90 %). Budući da je N_{min} metoda za utvrđivanje potrebe pšenice usklađena s ekofiziološkim aspektom gnojidbe pšenice, preporuča se kako bi se izbjegle sve nedoumice oko vremena i količine dušika u prihrani, ne samo ozime pšenice, već i svih strnih žita, kao i drugih ozimih usjeva.
- Potrebnu koncentraciju raspoloživog dušika zimi u tlu treba postići primjenom nitratnih ili amonijsko-nitratnih gnojiva (npr. kalcijev nitrat, KAN, AN i dr.).
- Ureu treba striktno izbjegavati u prvoj N-prihrani (najbolje i u drugoj) zbog štetnog djelovanja na mlade biljke s niskom razinom metabolizma. Naime, i kad je temperatura povoljna za intenzivniji metabolizam, biljke su suviše male da bi *amidni* i/ili *amonijski* N mogle odmah ugraditi u organsku tvar. Za ugradnju N-NH₄ u organsku tvar neophodan je visok intenzitet metabolizma i temperatura tla >5°C.
- Primjena UAN-a u ranim etapama organogeneze ima još pogubnije djelovanje od uree, jer zbog visoke osmotske vrijednosti tog gnojiva (čak i vrlo razrijeđenog) dolazi i do opekotina lišća, kao i visoke koncentracije amonijskog oblika N (50 % amidni iz uree, 25 % je amonijski, a samo 25 % nitratni oblik N). Preporuke, pa čak i proizvođača UAN-a, koje savjetuju da se to gnojivo primjenjuje u prihrani pšenice posve je pogrešno i štetno. Ako već namjeravate N-prihranu pšenice obaviti UAN-om, neka to bude samo druga prihrana s koncentracijom UAN-a najviše do 10 %, a najbolje 4 %. Samo izuzetno su vremenski uvjeti pogodni za primjenu uree ili UAN-a u prvoj prihrani ozimih žita, pa je takva praksa izrazito rizična, najčešće i štetna.
- Previsoka koncentracija N-NO₃ u tlu također može biti štetna jer porast koncentracije iona u vodenoj fazi tla izaziva rast osmotskog tlaka (*solni udar*) te uz nizak intenzitet metabolizma korijena (niske temperature)

onemogućeno je usvajanje vode i hraniva (tzv. *fiziološka suša*), a kod viših temperatura dovodi do produženja vegetacije uz nisku produktivnost transpiracije, odnosno povećane potrebe ozimih žita za vodom. Pojava *fiziološke suše* (nemogućnost usvajanja vode zimi) manifestira se blijedozelenom bojom usjeva, ali to nipošto ne znači da u tlu nedostaje dušik.

- Suvišna količina dušika snažno utječe na porast nadzemnog dijela, a vrlo malo korijena, pa se proširuje omjer korijena prema izdanku i biljke su plitko ukorijenjene. U hladnim, posebice glinovitim, humoznim i slabo aeriranim tlima nitrati umanjuju štetne redukcijske procese što je važno za aktivnost mikroorganizama i snabdjevanje biljaka dušikom i drugim elementima uz otklanjanje uvjeta za pojavu denitrifikacije.
- Najveća količina hraniva usvoji se od početka vlatanja do početka klasanja (5. do 10. etapa organogeneze, Slika 31.). Vlastita istraživanja u istočnoj Hrvatskoj (više sorti i više godina) pokazuju da se u tom periodu usvoji ~50 % N, ~60 % P i ~70 % K od prosječno iznesenih 200 kg N, 27 kg P (62 kg P₂O₅), 141 kg K (170 kg K₂O), 35 kg Ca i 21 kg Mg uz prosječan prinos zrna od 7,83 t/ha. Pojavom četvrtog lista zametnut je klas i određen konačan broj klasića, a do početka vlatanja (5. etapa organogeneze) pšenica je od ukupne količine hraniva usvojila tek 10 % dušika, 8 % fosfora i 13 % kalija.
- Visok sadržaj dušika u busanju (4,5 - 5,5 %) predstavlja neophodnu rezervu za proljetno izduživanje ozimih žita (*filodistenzija*). Tada naglo raste potreba za dušikom što je i pravi trenutak za drugu prihranu. Kod kasnijih rokova sjetve prisutna je opasnost od pada prinosa zbog nedovoljne duljine zimskog mirovanja (*kriptovegetacija*) jer je bio prekratak meristemski razvitak inicijalnih komponenti prinosa (izduživanje i segmentacija vrha rasta u 3. i 4. etapi organogeneze; tzv. *formiranje primordija*) koje određuju građu, odnosno broj klasića na klasu i začetaka cvjetića u klasiću.
- Dobra ishranjenost dušikom u vlatanju sprječava kasniju sterilnost klasića i povećava broj plodnih cvjetića (prosječno ih je 2 - 3, rijetko više po klasiću). Komponente klasa samo su djelomično genetski (sortno) određene pa je time dobra ishranjenost ozimih žita dušikom još značajnija. U daljem tijeku vegetacije, na temperaturi 5 - 10°C, počinje

istežanje 1. i 2. *internodija* (vlat između dva koljenca), a kad se temperatura ustali iznad 10°C dolazi do pojave i *distenzije* (izduživanja) preostalih internodija (3, 4. i 5.).

- Nakon oplodnje dozrijevanje pšenice odvija se poglavito na račun rezervi hraniva (tzv. *reutilizacija*) uz njihovo premještanje (*alokacija*) iz fotosintetski neaktivnih dijelova biljke (starog lista) u klas.
- Kritičan period tvorbe prinosa je prijelaz iz kriptovegetacije u proljetni porast. Taj trenutak odgovara porastu intenziteta metabolizma (životne aktivnosti) i lako se zapaža, pa se N-prihrana pšenice mora se uskladiti s tom činjenicom i raspoloživosti dušika iz tla. Zbog toga N-prihrane ozimih žita treba obaviti u momentu kada započinje meristemska aktivnost umnožavanja vegetacijskih organa (prva N-prihrana u busanju) i kod zametanja komponenti klasa (druga N-prihrana u početku vlatanja).
- Prva prihrana je važna u svim okolnostima jer se u 2. i 3. etapi razvitka (treći, četvrti list) izdužuje i segmentira budući klas. Ona utječe na koncentraciju klorofila u listu (boja usjeva), intenzivniju fotosintezu i brži rast biljaka u vlatanju. Prvu prihranu ne treba obaviti prerano (kad su ozima žita u mirovanju, odnosno po smrznutom tlu i hladnom vremenu), već u trenutku *proljetnog kretanja vegetacije*. Mudro je jedan dio N primijeniti u jesen u vidu uree ili UAN pod osnovnu obradu (na lakšim i plitkim tlima treba primijeniti 25 do 30% ukupne potrebe dušika, a na težim 30 do 50%), jer vremenske prilike zimi i u rano proljeće nerijetko utječu na mogućnost prve N-prihrane.
- Prvu N-prihranu ozimih žita treba zbog opasnosti od polijeganja i pojave bolesti ograničiti na najviše 55 kg N/ha.
- Preuranjena prva N-prihrana ozimih žita neprihvatljiva je iz ekonomskih i ekoloških razloga i to zbog vrlo brzog gubitka nitratnog dušika iz zone korijena ispiranjem (s površine tla sapiranjem). Treba naglasiti da se N-NO_3 gubi iz vlažnog tla i kad nema kiše ili se ne topi snijeg (*difuzijom* se nitrati prosječno premještaju u dubinu tla 10 cm mjesečno). *Ispiranje* i/ili *površinsko sapiranje nitrata* onečišćuje podzemne vode i vodene tokove.
- Druga prihrana obavlja se u momentu zametanja klasića (4. etapa razvitka, neposredno prije početka vlatanja). Taj trenutak određuje se

isključivo na temelju razvitka usjeva pšenice (bez obzira na *kalendar radova*). Dakle, drugu prihranu treba obaviti kad se zametak klasa primjetno odvoji od čvora busanja (~2 cm), nipošto kasnije.

- Kad nije poznata raspoloživost dušika (nema rezultata N_{\min} metode) dobro je primijeniti ukupno u obje dušične prihrane po 1,0 kg N/ha za svakih 100 kg očekivanog prinosa, ali samo do 6,5 t/ha zrna, a 1,25 kg N/ha iznad očekivanih 6,5 t zrna/ha. Npr., za očekivani prinos pšenice od 6,5 t/ha zrna potrebno je 65 kg N/ha, a za očekivani prinos 8,8 t/ha potrebno je $88 \times 1,25 = 110$ kg N/ha u obje N-prihrane.
- Treća prihrana u klasanju (prije oplodnje; 10. etapa) ima malo značenje za visinu prinosa, ali utječe na porast hektolitarske mase i veću koncentraciju dušika u zrnu (pretežno se akumuliraju niskomolekularni, neproteinski oblici dušika).
- Prednost folijarne N-prihrane ozimih žita je brz dotok dušika u metabolizam biljaka, mogućnost kombinacije sa sredstvima za zaštitu i biljnim hormonima (npr. sredstvima za skraćivanje internodija, odnosno visine biljaka), a usvajanje iz otopine je praktično neovisno o vlažnosti tla.
- Nedostaci folijarne N-prihrane su visoka cijena tekućeg gnojiva te zbog niske koncentracije potreba višestruke primjene zbog opasnosti pojave ožeglina kod korištenja otopine visoke koncentracije.
- Prihrana fosforom i kalijem se ne preporuča zbog njihovog neznatnog premještanja u dubinu, pa korijen ostaje na površini, što smanjuje otpornost na polijeganje i sposobnost korištenja vode iz dubljih slojeva. Stoga striktno izbjegavajte prihranu kompleksnim gnojivima (npr. formulacije 20 : 10 : 10, 15 : 15 : 15 i dr., posebice kad sav dušik sadrže u N-NH₄ obliku).

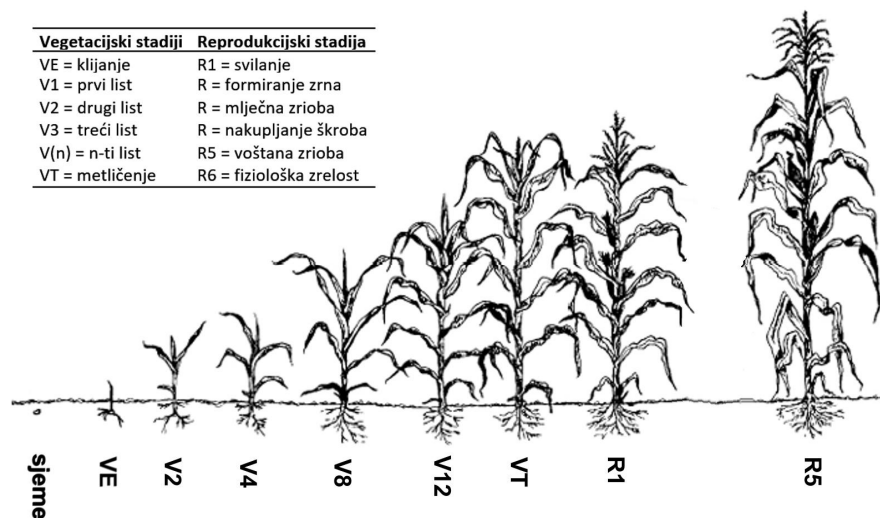
Kukuruz

Kukuruz najbolje uspijeva na dubokim, ocjeditim i prozračnim tlima, slabokisele do neutralne reakcije (pH 6 - 7), što je vrlo značajno i za mikrobiološku transformaciju hraniva iz organskih rezervi u tlu. Njegov korijen prodire 90 - 150 cm dubine pa mu je potrebno osigurati prozračna tla dubine soluma veće od 50 cm, jer je kukuruz nisko tolerantan na

nedostatak kisika. Budući je kukuruz suptropskog podrijetla, njegova fiziologija (C4 tip fotosinteze) adaptirana je na toplije uvjete pa dobro podnosi temperature do 35°C i to uz potrebu manje vode po jedinici formirane suhe tvari, odnosno ~350 kg vode po 1 kg. Npr., pšenici je potrebno ~500 kg vode kg⁻¹ ST, lucerni ~825, šećernoj repi ~450, a šećernoj trsci svega ~250 kg vode po kg proizvedene suhe tvari. Prosječni žetveni indeks kukuruza je 53 : 47 [zrno/(kukuruzovina + oklasak)], odnosno na 10 t suhog zrna po ha dolazi još ~8,9 t kukuruzovine pa je ukupna biomasa 18.900 kg ST ha⁻¹, a to je potreba od ~660 mm oborina god⁻¹. Budući da je godišnji prosjek oborina za Osijek 702 mm god⁻¹ (zadnjih 6 god.), to se čini dostatno za vrhunsku proizvodnju kukuruza na području ist. Hrvatske. Međutim, u tri uzastopne godine od 2010. do 2012. god., palo je 1038 mm, 422 mm i 599 mm, što je izuzetno velika varijabilnost, pa je jasno kako godišnji vremenski uvjeti utječu na cjelokupnu biljnu proizvodnju, a ne samo kukuruza.

Savjeti za gnojidbu kukuruza

- Za realnu procjenu ciljne visine prinosa treba uzeti višegodišnji prosjek prinosa vodeći računa o intenzitetu gnojidbe u prethodnim godinama (i bilanci hraniva kad su P i K dodavani na zalihu), agrotehnici, anomalijama u rastu i razvitku kukuruza (npr. suša, suvišak vlage, bolesti i dr.), očekivanoj cijeni zrna itd.
- Kukuruz postiže veći prinos u plodoredu nego li u monokulturi, posebice s leguminozama, a od pojave kukuruzne zlatice (*Diabrotica virgifera*) monokultura kukuruza gotovo je napuštena. Premda se mnogi nedostaci monokulturnog uzgoja kukuruza mogu ukloniti primjenom dušičnih gnojiva, ipak nije moguće u potpunosti ukloniti razlike prema uzgoju kukuruza u plodoredu.
- Kukuruz u vegetativnim stadijima (do oprašivanja, Slika 32.) usvoji više od 50 % dušika i fosfora te 80 % kalija pa je neophodna dobra raspoloživost i dovoljna količina tih hraniva već u početku, ali i tijekom čitave vegetacije.



Slika 32. Razvojni stadiji kukuruza

- Premda u samom početku vegetacije kukuruz zahtijeva malu količinu hraniva, u zoni korijena je neophodna visoka koncentracija hraniva od početka vegetacije jer je korijenov sustav početkom vegetacije slabije razvijen, a često je i tlo hladnije što često usporava rani porast.
- Primjena dušičnih gnojiva je učinkovitija što je vremenski bliža fiziološkim potrebama kukuruza. Stoga se na težim tlima do 50 % dušika dodaje u jesen pod osnovnu obradu, a na lakšim, veći dio treba dodati predsjetveno i startno uz prihranu u trake radi boljeg usvajanja.
- Na većini tala nema velikih opasnosti od gubitka fosfora i kalija te je povoljnija jesenska primjena P i K gnojiva (pod osnovnu obradu), jer se time oni raspodjeljuju u zoni kasnijeg najvećeg rasprostiranja korijena.
- Izuzetak su laka, pjeskovita tla gdje je moguće ispiranje kalija iz zone korijenovog sustava te je na takvim tlima bolje veći dio fosfora i kalija primijeniti pred sjetvu, ili na vrlo lakim tlima, ukupnu količinu P i K primijeniti predsjetveno.
- Različiti načini i količine primjene gnojiva na plodnim tlima uglavnom ne rezultiraju značajnim razlikama u visini prinosa kukuruza.
- Na tlima slabo opskrbljenim hranivima, kao i na tlima s jakom fiksacijom fosfora (jako kisela i karbonatna tla), najbolje rezultate daje

primjena gnojiva u trake (zbog sužavanja odnosa gnojiva prema tlu), a posebice ako su doze gnojiva niske. Pri polaganju gnojiva neposredno uz sjeme, optimalne pojedinačne količine aktivne tvari tri glavna hraniva (NPK) su 12 - 15 kg ha⁻¹ (npr. 100 kg ha⁻¹ 15 : 15 : 15), što uz normalnu vlažnost tla neće djelovati štetno na klijavost sjemena (*solni udar*). U suhom tlu i ovako niska doza gnojiva može značajno smanjiti klijavost i oštetiti tek iskljale biljke.

- Predsjetvenu, startnu gnojidbu te N-prihranu kukuruza dobro je odrediti temeljem rezultata N_{min} metode za jare usjeve. Utvrđivanje raspoloživog dušika N_{min} metodom za jarine obavlja se neposredno prije sjetve do dubine od 60 cm.
- Najpovoljnija dušična gnojiva za predsjetvenu, startnu i prihranu su ona koja sadrže amonijski i nitratni oblik, KAN i AN, a za osnovnu gnojidbu urea, anhidrirani amonijak i UAN. UAN je najučinkovitiji kad se njime poprskaju žetveni ostaci neposredno prije zaoravanja. Anhidrirani amonijak mora biti injektiran na dubinu 10 - 15 cm kod povoljnog stanja vlažnosti radi sprječavanja gubitka dušika *volatizacijom* (na neutralnim i karbonatnim tlima). Iz istog razloga ureu i UAN je dobro odmah zaorati nakon raspodjele zaorati, posebice kad su temperature više, a najkasnije nakon 3 dana kad temperature nisu visoke. AN i KAN su gnojiva iz kojih se dušik potencijalno može izgubiti ispiranjem kod suviška padalina ili *denitrifikacijom* u kiselim uvjetima.
- Kukuruz je naročito osjetljiv na nedostatak cinka, a kod većeg sadržaja fosfora u tlu usvajanje cinka je smanjeno uz akumulaciju većih količina željeza. Nedostatak Zn čest je na neutralnim i karbonatnim tlima (visok pH), ali i ekstremno kiselim.

Šećerna repa

Mineralna ishrana šećerne repe, osobito NPK gnojidba, ima prvorazredni značaj u povećanju prinosa korijena i njegove tehnološke kakvoće. Budući da velika varijabilnost zemljišnih, biljnih i klimatskih čimbenika, na koje šećerna repa osjetljivo reagira, vrlo često ne osiguravaju optimalne uvjete uzgoja, njih moramo korigirati agrotehnikom, prije svega obradom tla i gnojidbom.

Tvorba organske tvari po jedinici površine je među najvišim, jer šećerna repa akumulira veliku količinu hraniva (npr. za 65 t ha⁻¹ korijena: ~220 N; ~80 P₂O₅ i ~300 K₂O kg ha⁻¹).

Poznato je da se visok prinos i dobra tehnološka (preradbeno) kakvoća korijena u većini slučajeva isključuju. To nije pravilo već najčešće posljedica odnosa i količine biorasploživih hraniva koje tlo nudi biljci, a ona ih usvaja promjenjivim intenzitetom, kad su joj potrebni, ali i kad nisu.

Gnojidbi šećerne repe dušikom poklanja se najveća pozornost jer jedinica aktivne tvari N djeluje znatno više u odnosu na fosfor i kalij (~2x za P, odnosno ~3x za K).

Omjer dušika i kalija u gnojidbi šećerne repe posebno je značajan jer povećanjem doze dušika raste usvajanje kalija, ali i natrija uz pad tehnološke kvalitete korijena. U uvjetima veće raspoloživosti dušika (pojačana N-gnojidba u jesen, predstjetveno, startno ili u prihrani; N-mineralizacija organske tvari tla; zaostali ili rezidualni N; obilna organska gnojiva; velika masa žetvenih ostatak; mahunarke kao predkultura i sl.) negativan učinak viška N može se spriječiti samo povećanom K-gnojidbom ili pak uzgojem šećerne repe na tlima dobro opskrbljenim kalijem.

U tlu je nemoguće osigurati mineralne zalihe dušika (N-NO₃ i N-NH₄) koje biljka pretežito usvaja (moguće je usvajanje i nisko molekularnih oblika N, ali je ta količina mala i stoga zanemariva), pa uz veliku vremensku i prostornu varijabilnost dušika, često ga ima premalo ili previše raspoloživog, najčešće kad ga repa više ne treba.

Procjena potencijala N-mineralizirajuće sposobnosti tla nije dovoljno pouzdana pa se iznos rate mineralizacije često simulira matematičko-komputorskim modelima što u kombinaciji s *N_{min} metodom* (predstjetveno jedan uzorak tla do dubine 60 cm na svakih ~25 ha), kojom se utvrđuje ukupni, lako usvojivi mineralni dušik, daje mogućnost pouzdane procjene raspoloživog N. Uz prosječni sadržaj humusa u tlu od 2 %, prosječnu godišnju stopu N-mineralizacije 1 % (do 30 cm dubine), u agroekološkim uvjetima istočne Hrvatske mineralizira se ~67,5 N kg ha⁻¹ god⁻¹.

Dobro je znati i primijeniti u gnojidbi šećerne repe

- Startna N-gnojidba šećerne repe odgovorna je za visok prinos i dobru kvalitetu korijena šećerne repe!
- Šećerna repa preferira *nitratni oblik N*, ali će usvojiti jednako dobro *amonijski oblik* koji mora zbog njegove toksičnosti odmah ugraditi u organsku tvar, trošeći pritom već nakupljeni šećer.
- Amonijski dušik koči sintezu saharoze pa je jasno zašto su topljivi dušični spojevi (*α -amino N*) i digestija u negativnoj korelaciji.
- Primjenu uree, UAN-a ili anhidriranog amonijaka treba ograničiti na predsjetveno razdoblje dok je temperatura tla na 15 cm dubine najviše 10°C, a u startu i prihrani isključivo koristiti KAN ili AN.
- Visoka kakvoća korijena šećerne repe postiže se kada je šest tjedana prije vađenja iscrpljen sav raspoloživi dušik iz gnojiva te je mineralizacija organske tvari tla dostatna za završetak vegetacije bez pojave obnove lista (*retrovegetacija*).
- Dušik se za gnojidbu šećerne repe primjenjuje manjim dijelom u jesen i to samo u amonijskom ili amidnom obliku, u količini koja isključivo ovisi o pedofizikalnim svojstvima tla, odnosno riziku od gubitaka ispiranjem na lakšim, pjeskovitim i praškastim tlima.
- Precizan N-management unutar svakog usjeva u rotaciji šećerne repe sprječava prekomjernu akumulaciju dušika u tlu. Plodosmjena (rotacija usjeva na istoj parceli) za šećernu repu treba biti najmanje četveropoljna.
- Na visinu prinosa korijena šećerne repe jako i pozitivno utječe humus i pH-vrijednost tla. Naime, geostatističkom analizom indikatora plodnosti na području istočne Hrvatske utvrđeno je kako se visoki prinosi korijena šećerne repe ne mogu očekivati kod niske koncentracije humusa (<1,8 %) i niskog pH_{KCl} <5,5).
- Na lakim i karbonatnim tlima, posebice za vrijeme suše, vrlo čest je nedostatak bora i mangana koji se tada moraju primijeniti folijarno (najbolje do početka lipnja) s 2,0 - 2,5 kg B ha⁻¹, odnosno 10 - 20 kg Mn ha⁻¹. B i Mn mogu se primijeniti preventivno u osnovnoj gnojidbi, najbolje temeljem kemijske analize tla.
- Gnojidbu šećerne repe mora se uskladiti s njenim potrebama i agroekološkim uvjetima, jer suviše (*luksuzne*) doze dušika nerazmjerno povećavaju količinu lišća i glava prema korijenu, što uz neminovni pad digestije i tehnološke kakvoće ne opravdava takvu

gnojidbu, bez obzira na veći prinos biološkog šećera. Naime, povećano ulaganje u N-gnojidbu, skuplje vađenje, veća cijena prijevoza korijena s nižom koncentracijom šećera, smanjena sposobnost čuvanja do prerade (sklonost bolestima, pojačano disanje korijena), lošija fizikalna svojstva korijena (sklonost lomu, loše rezanje) i potreba za više energije u preradi uz nižu efikasnost ekstrakcije, čine takav postupak neekonomičnim.

- Gnojidba fosforom veoma je važna za prinos šećerne repe, ali ne utječe bitno na tehnološku kakvoću repe te je treba primijeniti sukladno kemijskoj analizi tla.
- Adekvatna gnojidba kalijem povoljno utječe na tehnološku kakvoću korijena šećerne repe, umanjuje štetan učinak dušika i jača otpornost na sušu šećerne repe. Stoga šećerna repa zahtijeva puno kalija koja je na teškim i njime slabo opskrbljenim veća i od potrebe dušika, pa je kemijska analiza tla temelj profitabilne gnojidbe šećerne repe uz visok prinos i dobru tehnološku kakvoću korijena.

Treba izbjegavati u gnojidbi šećerne repe

- Izostavljanje osnovne gnojidbe ili njihova predstjetvena primjena loša je praksa, uglavnom vezana uz mit kako će hranjivi elementi podjednako djelovati ako se primjene do sjetve. Prije nego li preskočite osnovnu gnojidbu, znajte da se:
 - fosfor i kalij vrlo se malo premještaju po dubini tla (~2 cm god⁻¹) pa će plitko uneseni u tlo utjecati na sporiji rast korijena u dubinu za hranivima što kasnije u vegetaciji, zbog slabog usvajanja vode, čini veliku štetu šećernoj repi (glave repe visoko iznad tla, nizak *turgor* lišća, odnosno *spavanje repe*), jer plitak korijen onemogućava dovoljno usvajanje vode i hraniva iz dubljih slojeva tla.
 - primjena, posebice predstjetvena, NPK u vidu formulacije mineralnog gnojiva 15 : 15 : 15 (ili slične formulacije s približno istim omjerom glavnih hraniva), osim što čini štetu zbog plitkog unosa hraniva, ima i nepogodan omjer hraniva uz najčešće suviše malu doza K.
- Osnovna gnojidba šećerne repe treba sadržavati i jedan dio ukupne potrebe dušika (najbolje amidni ili amonijski oblik (npr. 5 : 15 : 30; 6 : 18 : 36; 7 : 20 : 30, MAP + KCl i sl.), ali na lakšim, pjeskovitim i praškastim tlima u jesen ne treba dati više od 30 % ukupno potrebne doze N, dok se na ilovastim i ilovasto glinastim tlima može primijeniti i do 50 %.

- Kombinacija gnojidbe u jesen MAP-om (12 : 52 : 0) ili DAP-om (18 : 46 : 0) zajedno s kalijevom soli (60 % KCl) i ureom omogućuje izbalansiranu NPK gnojidbu, točno prema kemijskoj analizi tla.
- Primjena amonijskog (npr. amonsulfata $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ili amidnog N-gnojiva (urea ili UAN) u prihrani šećerne repe najčešće ima veoma štetne posljedice, odnosno smanjuje prinos korijena, povećava masu lišća s glavama i snižava tehnološku kvalitetu korijena.
- Siromašna tla fosforom i kalijem treba izbjegavati za uzgoj šećerne repe, ali kad je njena cijena repe povoljna, iznimno se mogu NPK hraniva primijeniti zajedno sa sjetvom u trake, najbolje ispod sjemena, na dubinu 7,5 do 12,5 cm ili najmanje 5 cm od sjetvenog reda. Na taj način sužuje se omjer gnojiva prema tlu te se u zoni primjene (traci) postiže veća koncentracija hraniva i njihova veća efikasnost (zbog smanjene retrogradacije P-gnojiva, zasićenja K-fiksirajuće sposobnosti glinastih tala u zoni korijena i jačeg poticajnog (tzv. *priming*) efekta na *rizosfernu mikrofloru*).
- Tla s malo humusa (<1,8 %) i jako ili ekstremno kisela ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$) nisu pogodna za sjetvu šećerne repe bez prethodne *kalcizacije* i *humizacije* (organske gnojidbe).

Najčešće zablude i pogreške u gnojidbi

Teško je pobrojati sve zablude i mitove u gnojidbi, kao i svim drugim aspektima biljne proizvodnje, jer su često posljedica nasljeđa, odnosno arhaične tradicionalne biljne proizvodnje u suvremenoj industrijskoj eri poljoprivrede. Jedna dio pogrešaka svakako su posljedica neznanja, nedovoljno stručne, pa i nedostupne literature koja vrlo često nekritički (bez provjere u konkretnim agroekološkim uvjetima) prenosi strana iskustava, veoma često pogrešne i zastarjele činjenice. Tekstovi na poljoprivrednim portalima općenito su naglašeno promotivni agresivno reklamirajući neproverjene agrokemikalije (gnojiva, pesticide, hormone itd.), a vrlo često i senzacionalistički jer obećavaju visok profit i prinose uz mala ili niža ulaganja i sl. Naročito se agresivnom reklamom ističu proizvođači nekonvencionalnih gnojiva, npr. *ubrziavača rasta* i posrednih gnojiva koja aktiviraju rezerve tla, podižu učinkovitost biljne proizvodnje. Na žalost proizvođača, to djeluje samo u kratkom vremenu, jer vrlo brzo

dolazi do iscrpljivanja, pa i degradacije tla. Njima uz bok su proizvođači zaštitnih sredstava koji obećavaju sigurnu i dugotrajnu zaštitu, a kad se to ne dogodi uvijek postoji krivac, najčešće proizvođač koji se nije držao uputa, vremenske prilike ili neprilike, rezistentnost patogena i štetočina itd. Također, proizvođači moraju biti svjesni kako se učinkovitom zaštitom biljaka od bolesti i štetnika može samo očuvati, ali ne i povećati prinos.

1) *Gnojiva, mineralna i organska su biljna hrana.*

- a) Mišljenje je pogrešno jer gnojiva nisu biljna hrana. Biljke su *autotrofni organizmi* i svoju hranu, odnosno šećere, same sintetiziraju u procesu fotosinteze, a u složenom prometu (metabolizam) tvari i energije transformiraju šećere u sve druge oblike hrane i građevne jedinice žive tvari.
- b) Gnojiva su opće poznata kao "biljna hrana" pa to stvara zabunu, jer poboljšavaju rast biljaka. Bez adekvatne gnojidbe, zapravo kompletne agrotehnike, nema visokih i stabilnih prinosa, potrebne kakvoće proizvoda, niti profitabilnosti pa se gnojidba opravdano smatra najvažnijom agrotehničkom mjerom u biljnoj produkciji, ali svakako nisu biljna hrana.

2) *Analiza tla je gubitak vremena.*

- a) Bez adekvatne gnojidbe, zapravo kompletne agrotehnike, nema visokih i stabilnih prinosa, potrebne kakvoće proizvoda, niti profitabilnosti pa se gnojidba opravdano smatra najvažnijom agrotehničkom mjerom u biljnoj produkciji. Zbog toga, kao i ekonomskih i ekoloških razloga određivanje doze gnojiva, njegove vrste, vremena primjene i načina gnojidbe mora se temeljiti na znanstveno-stručnim spoznajama o raspoloživosti i odnosima hraniva u tlu, fiziološkim potrebama biljke, ekonomičnosti proizvodnje te intenzitetu i smjeru utjecaja pojedinog agroekološkog činitelja.
- b) Značaj kemijske analize tla ilustrira podatak da je u istočnoj Hrvatskoj od ~25.000 uzoraka tla 55 % imalo nedovoljno fosfora, 38 % nedovoljno kalija, 16 % nedovoljno humusa (manje od 1,5 %), a 50 % uzoraka tla bilo je jako do ekstremno kiselo ($pH_{KCl} < 5,5$).

- c) Potrebno je naglasiti da svi agrokemijski laboratoriji nisu isti, kvalitetom i/ili cijenom. Razlozi za to su višestruki jer neke laboratorije preporuke za gnojidbu i popravke tla temelje na davno zastarjeloj i netočnoj Pedološkoj karti RH, nereprezentativnim uzorcima tla, brzim kvalitativnim ili nestandardnim metodama analize tla, nemajuiskusne analitičare i stručnjake itd. Stoga su preporuke takvih laboratorija najčešće pogrešne, često štetne i ne odražavaju stvarno stanje raspoloživosti hraniva. Važno je naglasiti kako netočna analiza tla može naštetiti, ponekad i više od gnojidbe bez analize.
- 3) *Ako je prošla godina bila rodna i u narednoj treba primijeniti istu agrotehniku.*
- a) Vremenski uvjeti, a time i svi ostali (zemljišni, biljni, ekonomski i dr.) nikada nisu jednaki. Svi oni kompleksno utječu na uzgoj biljaka pa niti gnojidba ne može biti svake godine identična.
- b) Možete li se sjetiti kad je posljednji put bila „normalna“ godina?
- 4) *Moguće je izostavljenu osnovnu gnojidbu uspješno zamijeniti startnom bez pada visine prinosa.*
- a) Iskustvo, kao i poljski pokusi, jasno pokazuje da „preskakanje“ osnovne gnojidbe, uključujući i izostavljanje dijela dušika u jesen, najčešće utječe na pad prinosa.
- b) Zime u kontinentalnoj Hrvatskoj znaju biti duge i vrlo hladne, s puno oborina, pa je vrlo teško kvalitetno i na vrijeme prihraniti ozime usjeve dušikom. Zbog toga, jedan dio dušika (ovisno o teksturnoj klasi) u amidnom obliku (urea, UAN) treba biti primijenjen pod osnovnu obradu.
- c) Naknadno unošenje fosfora i kalija u prihrani ozimih usjeva kompleksnim gnojivom (npr. prihrana s 15 : 15 : 15), kao i njegova startna primjena, vrlo često nema efekta, a ponekad djeluje štetno. Naime, P i K uneseni plitko brzo se nađu izvan zone korijena, jer se neznatno premještaju, pa korijen ne prorasta dublje u potrazi za hranom i vodom (zimi i u proljeće uglavnom ima dovoljno vode u površinskom sloju). Kasnije, kad zasuši, plitak korijen nije u mogućnosti snabdijevati biljke s dovoljno vode i hraniva.

- d) Fosfor i kalij, jednako kao i dušik, moguće je primijeniti i u proljeće zajedno sa sjetvom i to polaganjem u trake (najmanje 5 cm od sjemena). Takva primjena, zbog suženog omjera gnojiva prema tlu (tzv. *lokalizirana gnojidba*), zapravo je najefikasniji način primjene P i K, ali samo na siromašnim ili vrlo lakim tlima.
- 5) *Oštećenje lista kod primjene otopine uree, UAN-a ili drugih tekućih gnojiva je kratkotrajno i prolazi bez šteta.*
- a) Ožegotine na listu nastale nakon folijarne prihrane nisu posljedica toksičnog djelovanja, već visoke osmotske vrijednosti folijarnog spreja, odnosno u pitanju je previsoka koncentracija otopine folijarnog spreja koja brzo "izvlači" vodu iz nježnog tkiva lista. Posljedica je *plazmoliza* (biljne stanice su smežurane), narušena je ionska bilanca u protoplazmi te dolazi do pojave ožegotina, a nakon toga i odumiranja lišća (*nekroza*).
- b) Podaci o najvećoj dopuštenoj koncentraciji aktivne tvari u primjeni tekućih gnojiva često su kontradiktorni i zbunjuju poljoprivredne proizvođače. Npr., urea se od dušičnih gnojiva najčešće koristi kao folijarni sprej jer je najekonomičniji izvor dušika, a malo je vjerojatno da će izazvati ožegline lista ako koncentracija nije previsoka. Istraživanja pokazuju da je najefikasnija koncentracija uree 4 % za strne žitarice (za ostale usjeve to je znatno niže). Da bi se smanjio rizik od ožeglina na lišću, ureu treba primijeniti u ranim jutarnjim satima (kad je hladnije) i po suhom vremenu.
- 6) *Sve što usjevu treba sadržava NPK gnojivo.*
- a) Biljke zahtijevaju samo 14 *esencijalnih* (neophodnih za život) elemenata (17 kad uračunamo ugljik, kisik i vodik iz atmosfere, odnosno vode).
- b) Nemoguće je znati bez kemijske analize kojih elementa u tlu nema dovoljno za očekivani prinos, koje gnojivo izabrati, koju dozu, u koje vrijeme i na koji način treba gnojivo primijeniti?
- c) Pojedine vrste i kultivari imaju specifične zahtjeve obzirom na pojedine elemente ishrane, količinu i vrijeme primjene, a suvišna primjena (tzv. *luksuzna gnojidba*) je „bačen“ (N) ili pak samo „zamrznut“ novac (P i K, do sljedeće vegetacije).

- d) Nedostatna (podoptimalna) primjena gnojiva rezultirat će malim prinomom, a suvišna (luksuzna), posebice dušikom, djelovat će štetno na okoliš uz visoku cijenu proizvodnje.

7) *Mineralna gnojiva su jedina prava opcija.*

- a) Alternativne opcije gnojidbe (organska, organsko-mineralna, zelena i dr.) mogu biti dobar način smanjivanja troškova proizvodnje.
- b) Organska gnojiva su vrlo dobar izvor hranjivih tvari, najčešće su znatno jeftinija od mineralnih, a mogu se primjenjivati kao osnovni izvor hraniva ili nadopuna mineralnoj gnojidbi.
- c) Organska gnojiva, zelena gnojidba (*sideracija*), među usjevi (*živi malč*) i pokrovni usjevi, pored obogaćivanja tla hranjivim tvarima, vrlo su učinkovit način poboljšanja strukture tla, povećavaju zadržavanje vode u tlu i sprječavaju rast korova. Siderati i među usjevi mogu imati i *alelopatička svojstva* (sprječavaju rast korova ili prethodnog iznova niklog usjeva, djeluju nematocidno i dr.)

8) *Vodotopljiva mineralna gnojiva su učinkovitija prema citrat topivima.*

- a) Brzo djelujuća gnojiva su uglavnom vodotopljive soli. Njihovim otapanjem u tlu omogućeno je brzo usvajanje te rast i koncentracija iona u tkivima biljaka, a visoka koncentracija staničnog soka, posebno u uvjetima suše (visoke temperature i druge vrste stresa) umanjuje sposobnost biljaka da djeluju prirodno i učinkovito. Npr., viša koncentracija soli u biljkama zahtijeva i povećava potrebu biljaka za vodom što u periodu suše može biti ozbiljan problem.
- b) Visoka koncentracija soli u suhom tlu (nedovoljna vlažnost) „izvlači“ vodu iz biljaka (po principu *reverzne osmoze*) i izaziva tzv. *solni udar* ili *solni stres*. Pojava je česta kod primjene startnih gnojiva preblizu sjemenu ili mladim biljkama, posebice u sušnim uvjetima.

9) *pH reakcija tla ne utječe bitno na primjenu gnojiva.*

- a) pH tla je njegovo izuzetno značajno svojstvo jer jako utječe na raspoloživost svih hranjivih tvari u tlu pa i onih iz gnojiva, a

intenzitet utjecaja je različit, ovisno o njihovim kemijskim svojstvima.

- b) Učinkovitost gnojidbe može biti značajno promijenjena (negativno ili pozitivno) pod utjecajem pH tla, uključujući podjednako primjenu mineralnih i organskih gnojiva.

10) Mineralna gnojiva zakišeljavaju tlo.

- a) Tvrdnja je uglavnom točna, premda neka gnojiva povećavaju alkalnost tla (npr. *Tomasov fosfat*, *Čilska salitra* i dr.). Većina mineralnih gnojiva je iz grupe *fiziološki kiselih*, odnosno neki elementi tih gnojiva se usvajaju brže (ili brže ispiru) pa u tlu zaostaje njegova kisela komponenta (npr. *kloridi* i *sulfati*). Međutim, većina tala sposobna je efikasno onemogućiti promjenu pH reakcije kod unošenja fiziološki kiselih ili lužnatih gnojiva. To svojstvo se naziva *puferna moć tla*, a procjenjuje se njegovim *pufernim kapacitetom*.
- b) Zakišeljavanje tla može izazvati i *industrijska polucija*, posebice *kisele kiše* u širem području energetskih postrojenja, reducirana obrada ili *no-till* (bez obrade), zbijanje i zadržavanje vode u tlu, kao i dugotrajna primjena fiziološki kiselih gnojiva.
- c) Redovitom kemijskom analizom tla, mjerama *kalcizacije*, pojava *zakišeljavanja* ili *zaalkaljivanja* tla može se izbjeći promjenom ili izborom mineralnog gnojiva.

11) Gips i fosfogips izvrsna su zamjena za karbokalk i druge vapnene materijale.

- a) Ova je tvrdnja prihvatljiva, ali samo za neutraliziranje suviška aluminijske kiseline u kiselim tlima ili natrija u alkalnim tlima.
- b) *Fosfogips* je industrijski nisko radioaktivan otpad iz proizvodnje mineralnih gnojiva koji se generira ~1,6 t po toni sirovog fosfata (npr. Petrokemija iz Kutine ga odlaže približno 300.000 t godišnje na odlagalište u Lonjskom polju). Zbog njegove niske radioaktivnosti dopušteno ga je koristiti kao poboljšivač tla (sadrži radioaktivne nuklide U, Ra i dr., kao i toksične F, Cd i dr.).
- c) Uklanjanje suviška natrija iz tla moguće je provesti melioracijskim dozama gipsa što je česta mjera popravke natričnih tala (*solonjeca*). Naime, primjenom gipsa dolazi do zamjene dva iona

Na⁺ na adsorpcijskom kompleksu tla za jedan Ca²⁺ pa se ioni natrija lako vodom ispiru iz tla.

- d) *Gips* (CaSO₄·H₂O) se rabi kao sulfatno sredstvo za kalcizaciju bez podizanja pH-vrijednosti, za neutralizaciju alkalnosti tla izazvanu suviškom natrija (posebice Na₂CO₃), poboljšavanje strukture alkalnih tala (povećava aeraciju i retenciju vode) jer uklanja natrij i zamjenjuje ga s kalcijem na adsorpcijskom kompleksu. Koristi se i kao umjereni zakiseljavač tla.
- e) Primjenu gipsa dobro je kombinirati s organskom ili zelenom gnojidbom uz obvezno zaoravanje žetvenih ostataka radi popravke strukture i poroznosti alkalnih tala čime se pospješuje bolje ispiranje natrija. Duboka obrada uz primjenu gipsa često može izazvati još jaču disperziju (raspršivanje) agregata tla, stoga je način obrade dobro testirati na manjoj površini.
- f) Vapno (kalcijev karbonat i karbokalk) ni u kom slučaju ne treba primjenjivati za uklanjanje natrija iz alkalnih tala jer mu je topljivost veoma niska iznad pH 7 (~100 puta manja u odnosu na gips) te vapneni materijali još više podižu ionako visoku pH-vrijednost tla.

12) Svi oblici dušika jednako djeluju na biljke.

- a) Biljka usvaja izvrsno oba oblika mineralnog dušika (kationski NH₄⁺ i anionski NO₃⁻). Budući da ~80 % svih usvojenih iona čine amonijski i nitratni dušik, oni snažno utječu na metabolizam biljaka.
- b) Amonijski dušik (N-NH₄) se nakon usvajanja mora odmah ugraditi u organsku tvar biljaka, što je vrlo problematično pri niskim temperaturama i ranom porastu, dok se nitratni dušik (N-NO₃) može akumulirati u biljkama i ugrađivati po potrebi uz prethodnu transformaciju do amonijskog dušika.
- c) Jače usvajanje jednog od dva oblika dušika utječe na promjenu pH biljnih stanica (ionsku ravnotežu), a to je povezano s mogućnošću i brzinom usvajanja gotovo svih ostalih elemenata ishrane.

13) Sve vrste N-gnojiva pogodne su za prihranu.

- a) Primjena čistog amonijskog ili amidnog oblika dušika (npr. urea i UAN) za prihranu ozimih usjeva opravdana je samo nakon proljetnog kretanja vegetacije, dakle kod visoke razine metabolizma (razvijena asimilacijska površina i temperature

5 - 10°C), odnosno kad su ostvarene pretpostavke za brzu ugradnju reduciranih oblika (amonijskog) dušika u organsku tvar. Nagomilavanje amonijskog dušika u biljkama prije početka vlatanja ozimih usjeva izaziva zastoj u rastu. Stoga treba, posebice u prvoj prihrani pšenice, striktno izbjegavati primjenu uree i UAN-a.

- b) Za N-prihranu ozimih usjeva treba koristiti isključivo nitratna ili amonijsko-nitratna dušična gnojiva. Primjena kompleksnih gnojiva omaške (po površini tla) se ne preporuča jer se fosfor i kalij sporo premještaju u zonu korijena i nemaju očekivani učinak, a mogu izazvati i štetu ako kasnije nastanu sušni uvjeti.

14) Prvu prihranu ozimih usjeva dobro je obaviti što ranije.

- a) Rana N-prihrana, po snijegu ili smrznutom tlu ili dok je masa biljaka mala, posve je neučinkovita pa i često štetna, kako po okoliš, tako i za biljke. Naime, suha tvar ozimih žita rijetko prelazi u fazi busanja 300 kg ha^{-1} suhe tvari što uz 5 % N čini samo 15 kg ha^{-1} N u usjevu pšenice. Dakle, kad je kapacitet akumulacije dušika suviše mali, najveći njegov dio se ispere, završi u podzemnim vodama i ne bude iskorišten. Ako N-gnojivo sadrži amonijski ili amidni oblik dušika, biljka ga mora ugraditi u organsku tvar što nije moguće na niskim temperaturama.
- b) Prva prihrana je važna za sva ozima žita i u svim slučajevima (treći i četvrti list) jer se u II. i III. etapi razvitka izdužuje i segmentira budući klas. Ona utječe na koncentraciju klorofila u listu (boja usjeva), intenzivniju fotosintezu i na brži rast biljaka u vlatanju.
- c) Druga prihrana obavlja se u trenutku zametanja klasića (IV. etapa razvitka) koja pada početkom vlatanja (približno početkom travnja u istočnoj Hrvatskoj). Taj trenutak određuje se isključivo na temelju stanja razvitka usjeva, bez obzira na kalendar, odnosno kad se zametak klasa primjetno odvoji od čvora busanja (~2 cm).
- d) Treća prihrana u klasanju, ili pred oplodnju ima malo značenje za visinu priroda, ali često utječe na porast hektolitarske mase i veći sadržaj dušika u zrnu. Međutim, mnogobrojna istraživanja su pokazala da treća prihrana nema utjecaja na kakvoću zrna jer se u zrnu pretežno akumuliraju *niskomolekularni* (neproteinski) oblici dušika. Za treću prihranu ozimih žita često se koristi naziv „*korektivna prihrana*“ jer upućuje na mjeru popravke ili dopune N-

prihrane. Međutim, treba znati da je cijena takvog zahvata često veća od koristi, odnosno „loš“ usjev neće isplativo reagirati.

- e) N_{\min} metoda usklađena je s ekofiziološkim aspektom gnojide ozimih usjeva i treba je primjenjivati kako bi se izbjegle sve nedoumice oko vremena i količine dušika u prihrani.

15) *Dušik dodan za sprječavanje tzv. dušične depresije ubrzava razgradnju svježe zaorane organske mase, ali snižava sadržaj humusa u tlu.*

- a) Žetveni se ostaci, stajnjak ili siderati, nakon zaoravanja u tlima dobre biogenosti brzo razlažu što utječe na povećanje mikrobiološke populacije različitih mikroorganizama i mezofaune (povećavaju biogenost), a primjena manjih količina dušika za podešavanje povoljnog C/N omjera ne predstavlja posebnu poteškoću. Jedan dio djelomično razloženih žetvenih ostataka uz pomoć mikroorganizama iznova gradi humus i taj se proces naziva *humifikacija*. Samo 20 - 30 % ugljika iz žetvenih ostataka se ugradi u tzv. stabilni humus čiji je C/N omjer približno 10 : 1, dok se dušik humificira s koeficijentom od ~50 %. Ostali dio ugljika vraća se u atmosferu što se manifestira kao „*disanje tla*“.
- b) Dugogodišnja istraživanja pokazuju da dušik primijenjen za mineralizaciju organske tvari ne utječe na razgradnju humusa, ali ubrzava razgradnju svježe organske tvari čiji je omjer C/N vrlo širok (npr. kod pšenične slame omjer C/N je 100 : 1). Svježe zaorana organska tvar sadrži puno energije potrebne mikroorganizmima, ali malo dušika te njegova primjena pomaže brzom razvitku broja mikroorganizama čime se sprječava tzv. „*dušična depresija*“, odnosno manjak dušika u ranoj fazi porasta usjeva.
- c) Kada je slaba raspoloživost N, P i K, prinosi su niži te je manja i masa žetvenih ostataka što rezultira manjim nakupljanjem humusa. Dakle, mineralna gnojiva imaju vrlo važnu ulogu u *ciklusu organske tvari tla* jer povećavaju njenu tvorbu što povoljno utječe na koncentraciju humusa u tlu.

16) *Kalcij se u tlu i biljkama ponaša poput drugih kationa.*

- a) Kalcij je u fiziološkom pogledu jedinstven element jer učvršćuje stanične membrane u biljci, a premješta se samo *ascendentno*

(prema gore) u transpiracijskoj struji vode. Kad biljke usvajaju malo vode, ili je transpiracija onemogućena (npr. visoka vlažnost u plateniku), kretanje kalcija u biljci je onemogućeno.

- b) Uloga kalcija i u tlu je neobično važna. U neutralnim tlima kalcij čini ~80 % svih kationa vezanih na koloide tla (humus i glinu) što snažno utječe na pH i strukturu tla, a time i na bioraspoloživost svih drugih elemenata biljne ishrane, kao i učinak gnojidbe.

17) Visok pH tla može se uspješno sniziti do potrebne razine.

- a) Tvrdnja je posve netočna jer je snižavanje pH tla vrlo skup agrotehnički zahvat, često upitne isplativosti. Naime, visok sadržaj kalcijevog karbonata (CaCO_3) najodgovorniji je za visoku pH vrijednost tla. Neutralizacija tako velike količine kalcija zahtijeva ekvivalentnu količinu kiseline. Npr., kod 5 % CaCO_3 u tlu ono ga sadrži u sloju do 30 cm približno 225 t ha^{-1} ili 90 t ha^{-1} čistog Ca pa je za neutralizaciju tako ogromne količine karbonata potrebna ekvivalentna količina octene kiseline, odnosno $\sim 3.000 \text{ t ha}^{-1}$ 10 % octene kiseline (uz uništenje svih živih bića u tlu i potrebu velike količine vode za ispiranje suviška kiseline).
- b) Za efikasno zakišeljavanje tla, npr. kod sadnje borovnice, koristi se uspješno drvena piljevina, borove iglice i druge vrste organske tvari, ali je to pogodno samo za trajne nasade jer se time unose u tlo i velike količine dugoročno štetnih tvari za druge biljke.
- c) Snižavanje pH tla moguće je izvesti unošenjem sumpora ili gipsa u tlo te različitih mineralnih kiselina, naravno uz vrlo upitnu isplativost takvog postupka. Potrebno je naglasiti kako redovita organska gnojidba, zelena gnojidba, primjena treseta, malčiranje površine tla i reducirana obrada postupno smanjuju pH tla, ali samo za vrijeme provođenja takve prakse.

18) Način i intenzitet navodnjavanja ne utječe bitno na usvajanje hraniva.

- a) Zapravo, praksa navodnjavanja izravno utječe na usvajanje hraniva iz tla.
- b) Kod premalo vlage u tlu usvajanje hraniva opada zbog slabe aktivnosti korijena, ali i zbog slabog dotoka hraniva do korijena (kretanjem vode kroz pore tla ili difuzijom).

- c) Kad je u tlu previše vode, korijen nema na raspolaganju dovoljno kisika za svoju aktivnost, pH pada, a hraniva mogu biti isprana iz zone korijena, pa i izgubljena ako se nađu u podzemnoj vodi.

19) *Žuto (klorotično) i nekrotično (odumrlo) lišće ukazuje na slabu ishranjenost biljaka.*

- a) Razlozi pojave *kloroze* (žućenja lišća) mogu biti raznoliki, od neoptimalne temperature, različitih bolesti lista ili korijena (npr. *Pythium*, *Alternaria*, *Xanthomonas* itd.), neadekvatne primjene zaštitnih sredstava ili hormona (npr. *Cicocel* i *Flore*), ali i nedostatka pojedinih neophodnih elemenata ishrane, npr. dušika, kalija, željeza, magnezija i dr.
- b) Suvišak nekih elemenata ishrane također može biti razlog kloroze, npr. klora, bora i dr.

20) Kukuruz je ljubičast kad je proljeće „hladno“.

- a) Optimalna pH reakcija tla za kukuruz je 6 - 7, što je povoljno i za mineralizaciju organskih rezervi tla. U kiselim uvjetima, uz suvišak vode u tlu i "hladnije proljeće", često dolazi do problema usvajanja fosfora u ranom porastu kukuruza. Preduvjeti pojave ljubičaste boje uz usporen porast kukuruza su sljedeći:
- i) kiselo ili ekstremno kiselo tlo,
 - ii) tlo zasićeno vodom pa je:
 - (a) kiselost tla još niža (reduktivniji uvjeti),
 - (b) raste konc. slobodnih iona Al^{3+} (i Fe^{2+}) koji "blokiraju fosfate",
 - (c) korijen nema dovoljno kisika (*anaerobioza*), što uvjetuje:
 - (d) blokadu usvajanja fosfora, kao i drugih hraniva,
 - (e) porast sinteze ljubičastog antocijana, ali ne i klorofila i
 - (f) kukuruz je ljubičast, a zastoj u njegovu porastu evidentan.
- b) Najbolje rješenje, odnosno *kontrola štete* je kultivacija kukuruza (proračivanje i prosušivanje površinskog sloja) uz primjenu KAN-a (koji sadrži $N-NO_3$ i $CaCO_3$) „*pod kultivator*“ i bez intervencije s kompleksnim NPK gnojivima (npr. 15 : 15 : 15) jer će plitak unos P i K kasnije zaustaviti porast korijena u dubinu i izložiti kukuruz

utjecaju suše. Nakon kultivacije i sušenja površinskog sloja tla ubrzo će doći do nestanka simptoma deficita P i to čim korijen *probije redukcijsku zonu* koja je posljedica zasićenja (*saturacije*) tla vodom, *tabana pluga*, *argiluvičnog horizonta* (vodonepropustan sloj tla) ili visoke razine podzemne vode. Ipak, zastoj u vegetaciji svakako će umanjiti prinos.

21) Fosforna i kalijeva gnojiva se ne ispiru iz tla.

- c) Ova zablude je povezana s činjenicom da je tako u većini *mineralnih tala*. Međutim, u organskim (jako humoznim) i izrazito pjeskovitim tlima, s malo gline, fosfor i kalij će biti lako ispran.
- d) Premještanje fosfata u većini tala bit će samo nekoliko mm, bez obzira je li fosforno gnojivo primijenjeno kao kruto ili tekuće.

22) Kalijev klorid je za biljke lošiji izbor od kalijevog sulfata.

- a) Kod primjene kalija u osnovnoj gnojidbi (preporuka), ili znatno prije sjetve, odnosno sadnje, nema razlike između kalijevih soli (klorida, sulfata i nitrata).
- b) Kalij, sumpor i klor su neophodni elementi, ali biljke zahtijevaju veliku količinu K, znatno manju S, a neznatnu Cl te se gnojidbom kalijevim kloridom u tlo unosi velika količina klora. Međutim, kloridni ion (Cl⁻) u normalnim količinama nije štetan za biljke, životinje ili mikroorganizme, ali čini štetu u suvišku.
- c) Normalna koncentracija klora u većini tala ne prelazi 50 ppm (50 mg kg⁻¹) jer se ponaša vrlo slično nitratnom dušiku, odnosno ne veže se u tlu i lako se ispire. Stoga na ocjeditim tlima ne treba očekivati štete kod biljaka koje su osjetljive na njegov suvišak, npr. krumpir, duhan, grah, krastavci, dinje, luk, salata, voće (badem, marelica, vinova loza, breskve) itd. Koncentracije Cl⁻ u tlu veće od 500 ppm, smanjit će prinos i kakvoću proizvoda, a moguće su samo kod primjene izuzetno visokih doza KCl-a i to na nepropusnim, slabo dreniranim ili zbijenim tlima.
- d) Kalijev sulfat (K₂SO₄ sadrži 50 % K₂O i 18 % S) znatno je skuplji u odnosu na kalijev klorid (KCl sadrži 60 % K₂O) i opravdano ga je koristiti samo kod K-doza većih od 250 kg ha⁻¹ potrebnih za visok urod krumpira namijenjenog proizvodnji čipsa, ali i duhana zbog boljeg izgaranja.

23) *Izuzetno učinkovita gnojiva mogu riješiti velik broj problema.*

- a) Kad su cijene konvencionalnih gnojiva visoke, mediji su puni reklama o iznimno učinkovitim folijarnim, bakterijskim, enkapsuliranim, supergranularnim, booster i inim vrstama „čudotvornih“ gnojiva koja primijenjena u maloj dozi rješavaju sve probleme biljne proizvodnje.
- b) Međutim, *perpetuum mobile* nije moguć jer se kosi sa zakonima termodinamike. Dakle, nemojte naivno očekivati da se s malo energije ili tvari (naravno i novca) može znatno i na dulji rok osigurati dovoljno hrane biljkama.

24) *Upotreba zeolita (ili drugih tvari za povećavanje hidrofилnosti tla) sprječava sušu.*

- a) Primjena *zeolita* je posve neefikasan i ekonomski neisplativ način sprječavanja štete od suše jer zeoliti vežu prosječno 55 g vode na 100 g (45 - 75), a to je svega 165 kg vode u 300 kg zeolita ili ekvivalent od 0,165 mm oborina. Znatno efikasnije je smanjiti rizik od suše povećanjem organske tvari u tlu primjenom različitih agrotehničkih mjera (organska i zelena gnojidba, zaoravanje svih žetvenih ostataka, širi plodored i dr.). Naime, humus na svoju masu veže 2,6 - 6,0 puta veću količinu vode.
- b) Porast koncentracije humusa za samo 0,5 % (npr. s 2,0 na 2,5 %), što je moguće postići i dugoročno održati, povećava količinu humusa u oraničnom sloju tla (30 cm) za 15.000 kg ha⁻¹ (od 90.000 na 115.000 kg ha⁻¹) te omogućava 45.000 kg ha⁻¹ više zadržane vode u tlu. Ta količina vode ekvivalentna je 45 mm oborina po hektaru, što je približno jedan obrok navodnjavanja. Povećanje koncentracije humusa s 2 na 3 % odgovara zadržavanju 90 mm oborina ha⁻¹, što bi značajno umanjilo negativne efekte i „jake“ suše.

25) *Usjev pod stresom treba prihraniti.*

- a) Prihrana usjeva koji imaju na raspolaganju dovoljno hraniva može dovesti do dodatnog stresa. Dakle, kad nema simptoma manjka elemenata ishrane, ili kad folijarna analiza pokazuje dobru ishranjenost, usjev ne treba prihranjivati jer stres može biti

posljedica nedostatka vode, niske ili visoke temperature, neadekvatne zaštite, suviše vode ili zbijenog tla i dr.

- b) Pogrešno je folijarno prihranjivati biljke pod stresom koji je izazvan sušom, izuzev ako folijarna analiza ne pokaže manjak hraniva. Naime, u sušnim uvjetima biljke u pravilu sadrže dovoljno neophodnih elemenata, a do zastoja u rastu i razvitku dolazi uglavnom zbog nedostatka vode. Dakle rješenje je navodnjavanje kad nema dovoljno oborina.
- c) Energiju koju će biljke pod stresom potrošiti na usvajanje hranjivih tvari potrebno je usmjeriti na kompenziranje štete od štetočina ili bolesti koje „napadaju“ oslabljene biljke.

26) *Trajni nasadi zahtijevaju duboko unošenje gnojiva.*

- a) Velika većina stabala najveći dio hraniva usvoji iz površinskog sloja tla, odnosno iz prvih 20-ak cm, gdje ima dovoljno kisika i vode za potrebe korijena.
- b) Unošenje gnojiva u trajnom nasadu na dubinu veću od 30 do 40 cm ima mali učinak na njegovu ishranu.

27) *Mineralna gnojiva su štetna za naše zdravlje i okoliš.*

- a) U posljednja dva desetljeća jako se proširio „kult zavedenih ljudi“ koji sebe nazivaju ekološki poljoprivrednici i propovijedaju čudnu doktrinu utemeljenu pretežito na pseudoznanosti, emocijama, praznovjerju i mitovima, uz tek nekoliko poluistina kako bi se njihovo mišljenje činilo ispravno i uvjerljivo, a njihova hrana bila skuplja. Uz to, sve manje ljudi se bavi poljoprivredom pa velika većina koja vrlo malo zna o proizvodnji hrane te poluistine, dezinformacije i mitove lako prihvaća kao istinite.
- b) Mit o „*zdravoj hrani*“ uglavnom se temelji na dogmi da su mineralna gnojiva otrov za tlo i biljke jer uništavaju korisne organizme u tlu, npr. gujavice i mikroorganizme, da su tako gnojivi usjevi neotporni na štetočine i bolesti, da gnojiva stimuliraju rast korova te konačno štete zdravlju stoke i ljudi koji jedu tako proizvedenu hranu jer izazivaju rak i druge opake bolesti. U stvarnosti, biljke grade organsku tvar iz kemijskih elemenata koji su jednaki i prirodni, bez obzira potječu li iz mineralnog ili organskog gnoja, žetvenih ostataka, komposta ili iz minerala tla. Npr. dušik iz

uree ili KAN-a potječe iz atmosfere (koju i mi udišemo), kao i onaj u stajskom gnoju, i posve je prirodan i istovjetan onom iz stajskog gnoja. Priroda je izvor svih neophodnih elemenata biljne ishrane, bez obzira jesu li unesena u tlo organskim ili mineralnim gnojivima.

- c) Mineralna gnojiva su također prirodnog podrijetla. Npr. dušik potječe iz atmosfere (sintetska urea se ne razlikuje od prirodne koju proizvodi životinjsko ili ljudske tijelo), fosforna gnojiva su podrijetlom iz fosfatnih stijena, a kalij potječe iz morskih sedimenata. Dakle, priroda gradi biljna hraniva, a industrija ih transformira u oblik koje biljke mogu usvojiti jer to ne mogu same učiniti, barem ne dovoljno brzo i u količini koja bi omogućila očekivani prinos.
- d) Ni najsuptilnije kemijske analize ne mogu dokazati razliku u sastavu i kakvoći hrane proizvedene na ekološki ili konvencionalan način. Također, neadekvatna primjena organskog gnoja može imati jednake, čak i veće štetne efekte od primjene mineralnih gnojiva jer se mineralizacija često odvija izvan vremena najveće potrebe biljaka, pa nitrati završe u vodi za piće, rijekama i jezerima. Također, stajski gnoj sadrži patogene klice koje u vodi za piće izazivaju po život opasne bolesti.
- e) Gnojidba organskim gnojivima stoga je ograničena EU *Nitratnom direktivom* (EU 91/676/EEC) što često u ekološkoj biljnoj proizvodnji zbog nedostatne ishrane rezultira hranom niže nutritivne vrijednosti. Dakle, odgovorna primjena, kako mineralnih tako i organskih gnojiva, ne predstavlja ozbiljnu pretnju očuvanju i zaštiti okoliša.
- f) Suština organske (ekološke) proizvodnje hrane je samo u marketingu, a ne u znanosti ili zdravlju ljudi. U takvoj proizvodnji ne postoji ništa loše niti pak krivo i ima puno ljudi koji žele konzumirati tako proizvedenu hranu, a mogu si ju priuštiti.
- 28) *Hranjive tvari u svim gnojivima su iste te je stoga dovoljna primjena samo organskog gnoja.*
- a) Organskog gnoja nema niti približno dovoljno za cjelokupne potrebe čovječanstva u hrani, a kad bi ga i bilo, zbog postizanja nižih prinosa bili bi potrebni milijuni hektara dodatnih poljoprivrednih površina, kojih na Zemlji nema. Npr., prinosi

žitarica su u ekološkoj proizvodnji svega $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ u odnosu na konvencionalnu i to uz znatno višu cijenu proizvoda.

- b) Organska gnojiva sadrže nisku koncentraciju elemenata ishrane i ne pružaju uravnoteženu ishranu biljaka jer njihov sastav jako varira ovisno o vrsti i načinu uzgoja stoke, a i njegova učinkovitost je vrlo promjenjiva obzirom na agroekološke uvjete, način čuvanja i primjene. Npr. značajni gubici dušika događaju se pri spremanju i fermentaciji organskog gnoja, a amonijski dušik se lako i brzo gubi isparavanjem već u čuvanju, a nitrati ispiranjem nakon izvoženja na parcelu. Općenito, samo oko $\frac{1}{4}$ cjelokupne količine dušika u stajnjaku bude iskorištena usjevom, a u višegodišnjoj primjeni, zbog produžnog efekta najviše do 50 %.
- c) Stajnjak izvezen na parcelu treba odmah raspodijeliti i zaorati jer gubici dušika vrlo brzo rastu. Npr., koeficijent djelotvornosti dušika iz stajnjaka je u prvoj godini primjene ~0,50 (50 % iskorištenja) ako se zaore u roku od dva dana nakon izvoženja na parcelu. Kad se zaore stajnjak zaore nakon 2 - 4 dana, djelotvornost je 0,35, a samo 0,20 nakon 7 dana ili *malčiranja* (primjena stajnjaka po površini bez zaoravanja).
- d) Istraživanja pokazuju da organsko gnojivo ima podjednak učinak kao mineralno, ali tek kad sadrži najmanje 5 % jednog od tri glavna hraniva. Takva koncentracija hraniva u organskim gnojivima moguća je samo kad se gnoj „obogati“ mineralnim gnojivima.
- e) Sastav mineralnih gnojiva je poznat, koncentracija elemenata mnogostruko viša, a njihova učinkovitost puno manje ovisi od agroekoloških uvjeta proizvodnje.

29) *Organska gnojiva povećavaju sadržaj humusa u tlu, a mineralna ga smanjuju.*

- a) Premda je rašireno mišljenje kako samo organska gnojiva povećavaju sadržaj humusa, obje vrste gnojiva mogu doprinijeti nakupljanju organske tvari u tlu, ali i ne moraju. Međutim, intenzivna upotreba samo mineralnih gnojiva, uz odnošenje žetvenih ostataka (npr. za potrebe stočarstva ili proizvodnje bioenergije) ili njihovo spaljivanje nakon žetve, rezultira najčešće padom koncentracije humusa u tlu.
- b) U tlima pod prirodnim biocenozama intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen, što rezultira stabilnim

sadržajem humusa. Međutim, poljoprivredna proizvodnja, posebice obrada, neizbježno intenzivira procese mineralizacije te otuda sklonost svih poljoprivrednih tala smanjivanju sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari ovisan je o sustavu gospodarenja, odnosno sustavu korištenja nekog tla.

- c) Organska tvar izrazito utječe na čitav niz vrlo značajnih fizičkih i kemijskih svojstava tla kao što su struktura, kapacitet za vodu, sorpcija iona, sadržaj neophodnih elemenata (N, P, S itd.). Ona je i osnovni izvor energije za životnu aktivnost mikroorganizama tla.
- d) Ne postoje znanstveni dokazi o superiornosti organskog ili anorganskog izvora biljnih hraniva. Zapravo, dugoročni poljski pokusi iz cijelog svijeta pokazuju kako je moguće postići održiv način proizvodnje hrane korištenjem organskih i/ili mineralnih gnojiva. Budući je tendencija cijena mineralnih gnojiva neprestani rast, organska gnojiva postaju vrjednija nego ikad prije.

30) *Primjena mineralnih gnojiva, posebice dušika stabilizira klimatske prilike.*

- a) Često se navodi se kako intenzivna primjena uree i drugi N-gnojiva utječe na brži rast usjeva i njihov veći prinos, a one tada usvajaju više ugljičnog dioksida iz zraka. Nakon žetve i odnošenja merkantilnog uroda ostaje veća masa žetvenih ostataka koji nakon zaoravanja grade humus (*humifikacija*).
- b) Zapravo, intenzivna gnojidba, posebice dušikom, barem na prostoru istočne Hrvatske, ne podiže sadržaj humusa u tlu već suprotno, on opada do određene granice. Vjerojatan razlog leži u porastu „apetita“ mikroorganizama tla koji imaju izobilje hrane s dovoljno dušika, a kad razgrade svježe unesenu organsku tvar počinju razgrađivati i teško razgrađivi humus. Padom sadržaja humusa pogoršava se struktura tla i njegova sposobnost zadržavanja vode i zraka što povećava potrebu za navodnjavanjem i sve većim ekološkim opterećenjem zbog migracije dušika u podzemne vode i vodotoke.
- c) Razlog pada sadržaja humusa u tlu zapaža se često i uz redovitu primjenu organskog gnoja pa ima dosta mišljenja da je za dio problema odgovorna i moderna tehnologija. Naime, tlo se često pogrešno smatra lako obnovljivim resursom, što ono svakako nije,

pa se zbog povećanja prinosa i veće zarade intenzivira agrotehnika. Npr., česta i duboka obrada „otvara“ tlo što utječe na intenziviranje oksidacijskih procesa; pojačana gnojidba pospješuje brži rast i sintezu veće količine organske tvari koja „otvara“ apetit mikroorganizmima; žetveni ostaci, pa i kompletan biološki prinos, koristi se za proizvodnju bioenergije i odnosi se s polja, itd. Dakle, suvremena praksa korištenja tla neminovno rezultira padom sadržaja humusa.

31) *Hranu je moguće proizvoditi i bez primjene pesticida.*

- a) Bez upotrebe insekticida i fungicida većina voća i povrća će pretrpjeti gubitke od 50 - 90 % zbog nekontrolirane pojave bolesti i štete od insekata.
- b) U organskoj (ekološkoj) proizvodnji usjeva, voća i povrća koriste se odobreni insekticidi i fungicidi za taj tip proizvodnje koji nisu sintetski, ali su također toksični. To su anorganske tvari (kao što su bakar i sumpor), mikrobi i biljni ekstrakti koji nisu učinkoviti kao sintetske kemikalije.
- c) Bez herbicida suzbijanje korova bi se moralo obavljati njihovim fizičkim uklanjanjem (kultivacija, okopavanje, plijevljenje i sl.), dakle uz puno više radne snage. Premda se često misli kako organska hrana nije prskana, to nažalost u komercijalnom uzgoju nije moguće što dokazuje i iznenađujuće velik popis dopuštenih pesticida u organskoj proizvodnji hrane.
- d) Ekološki proizvedena hrana ne razlikuje se bitno od one koja je proizvedena konvencionalno, posebice ako se pesticidi primjenjuju odgovorno. Nutricionistički gledano, organska hrana je više kao brand ili luksuz. Uredu je ako si možete priuštiti višu cijenu i želite jesti takvu hranu, ali ona uopće nije lijek.
- e) Prema USDA (*United States Department of Agriculture*), organska hrana razlikuje se od konvencionalno proizvedene samo u načinu proizvodnje.

32) *Obrada tla nije neophodna.*

- a) Obrada tla je važna agrotehnička mjera koja ima niz fizikalnih, kemijskih i bioloških učinaka na tlo. Pojednostavljeno gledano, obrada tla je mehanička manipulacija tlom kako bi se poboljšala trenutna struktura, osigurala bolja retencije vode, omogućilo unošenje gnojiva i njegova ravnomjerna raspodjela u rizosferi, uklonili korovi, omogućila sjetva i dobro prijanjanje sjemena uz tlo (tzv. posteljica) itd.
- b) Općenito, ako je veličina agregata tla zadovoljavajuća, obrada tla će se sastojati samo u uklanjanju korova i zaoravanje žetvenih ostataka. Nažalost, njega usjeva (kultivacija, žetva i dr.) obično uzrokuje narušavanje strukture tla pa je obrada tla jedini način njenog oporavka. Kad je tlo suviše mokro ili previše suho, potrebna snaga suviše je velika, tlo se zbija ili je grude tla nemoguće usitniti, pa je bolje obradu odgoditi.
- c) Obrada tla najviše ovisi o njegovoj strukturi i željenim promjenama u veličini agregata. U tlima grube strukture, obrada će se povećati ukupan porozitet i osigurati bolju retenciju vode, ali i količinu zraka u tlu, dok će u tlima koje čine sitniji agregati dovoljno biti ukloniti korove, homogenizirati gnojivo u oraničnom sloju, osigurati dobre uvjete za sjetvu, dakle primijeniti minimalnu obradu ili neke usjeve sijati bez obrade (*no-till*). Neka tla zahtijevaju produbljivanje zone korijena kako bi se uklonio taban pluga (tzv. *hardpan*), poboljšala drenaža, omogućilo bolje ukorjenjivanje biljaka i poboljšala ishrana, zadržala veća zaliha zimske vlage, „podigao“ na površinu sloj s a više gline i/ili humusa i sl.
- d) Najbolja poljoprivredna praksa najčešće podrazumijeva najmanju moguću obradu uz znatnu uštedu energije, odnosno onu koja osigurava dobar rast usjeva i profitabilnu biljnu proizvodnju.

Napredak i posljedice moderne agrikulture

Do prije nekoliko desetljeća poljoprivredni prinosi su bili niski i relativno stabilni. Ovisili su isključivo o recikliranju organske tvari, plodosmjerni koja je uključivala mahunarke, biološkim kontrolnim mehanizmima i padalinama. Raznolikošću proizvodnje u prostoru i vremenu (rotacija usjeva) reguliran je napad štetočina, pojava bolesti i korova i snižavan negativan utjecaj loših vremenskih uvjeta. Niski prinosi usjeva nadoknađivan je uzgojem stoke, a potreba za radnom snagom utjecala je izravno na porast zaposlenosti. Veza između poljoprivredne proizvodnje i ekologije bila je čvrsta tako da je degradacija okoliša bila vrlo rijetka.

Premda je povijest čovječanstva kratak period u odnosu na starost Zemlje, tlo je do danas više puta bilo degradirano, sve do uništenja. Neka društva su nestala zbog nesmotrenog i pretjeranog iskorištavanja zemljišnih resursa, jer je degradacija tla bila toliko jaka da je izazvala nestanak čitavih civilizacija. Mezopotamija, Maje pa i Rimsko Carstvo, jednim dijelom mogu svoju propast pripisati padu produktivnosti tla. Zapravo, svaka civilizacija predstavlja opasnost za tlo koje je nezamjenjiv i ograničen resurs, ali koristan na mnogo načina, te suvremeni ljudi moraju biti vrlo oprezni i mudri kako bi izbjegli sličnu sudbinu. Dakle, upropaštavanje tla nije novijeg datuma, već je to vrlo stara pojava, jednako kao i mjere koje su korištene za očuvanje tla.

Napretkom i modernizacijom poljoprivredne proizvodnje, kao izravnom posljedicom potrebe čovječanstva za više hrane, raste i potreba za sve većom kemizacijom, odnosno uporabom mineralnih gnojiva i pesticida. Modernizacija, zapravo industrijalizacija poljoprivredne proizvodnje ubrzo dovodi do zanemarivanja ekoloških načela i izaziva tzv. krizu okoliša.

Suvremena agrikultura, premda produktivna i konkurentna, izazvala je niz gospodarskih, ekoloških i društvenih problema. Naime, favoriziranje velikih gospodarstava, njihova uska specijalizacija za uzgoj dvije ili tri kulture, odvajanje biljne od stočarske proizvodnje, vrlo često prakticiranje monokulture, uporaba teške mehanizacije i dr., rezultiralo je isključivanjem

prirodnih samoregulatorajućih mehanizama i učvrstilo ovisnost moderne agrikulture o intenzivnoj primjeni kemijskih inputa.

Specijalizacija poljoprivredne proizvodnje s uskim plodoredom i smanjenjem bioraznolikosti (*biološka diversifikacija*) prostora poremetili su prirodne odnose između tla, usjeva i uzgoja stoke. Prirodni ciklusi hranjivih tvari, vode i recikliranja organske tvari, unatoč sve većoj produkciji žetvenih ostataka i organskog gnoja, poremećeni su zbog prostorne udaljenosti specijaliziranih proizvodnji. Pojava štetnika i korova, kako *autohtonih* (autohtone; samonikle; zavičajne biljne vrste; prilagođene određenom području bez djelovanja ljudi) tako i *alohtonih* (alohtone; nezavičajne; introducirane biljne vrste koje mogu biti *invanzivne*, odnosno brzo se rasprostiru, npr. *ambrozija*, *abutilon*, *amorfa* i dr.), sve je češća zbog intenzivne međunarodne trgovine, užeg plodoreda i smanjene prirodne raznolikosti, odnosno gubitka staništa njihovih prirodnih neprijatelja.

Potreba tržišta za novim proizvodima potiče sve češći uzgoj novih biljnih vrsta i kultivara izvan njihovog prirodnog staništa, što izrazito povećava potencijalnu opasnost od pojave novih bolesti i štetnika ili pak ekspanziju već udomaćenih na nekom agroekološkom prostoru. U takvim okolnostima primjena novih kultivara postaje imperativ jer starije kreacije gube bitku sa stresnim situacijama izazvanim biotskim (bolesti, štetočine i dr.) i abiotskim čimbenicima (klimatske promjene, vremenske nepogode, suše, poplave i dr.). Zbog toga stabilnost moderne agrikulture sve jače ovisi o kreiranju novih sorti i hibrida. Nužnost promjene sortimenta vrlo često nije povezana s porastom prinosa, već njegovim padom zbog sve lošijih agroekoloških uvjeta i neodržive proizvodne prakse, pa se sve češće i više koristi *genetički inženjering* u redizajniranju usjeva.

Primjetne loše promjene u okolišu, tzv. ekološke bolesti, izazvane intenzivnom proizvodnjom hrane, ne događaju se brzo i u kratkom vremenu zbog čega vrlo lako promiču ljudskom oku, sve dok neželjene posljedice nisu jasno vidljive. U procesu degradacije tla promjene su prividno male, barem u životu jedne ljudske generacije, što smanjuje potrebnu pozornost i odlaže pravovremeno poduzimanje mjera za zaustavljanje destruktivnih procesa. Upropaštavanje (*degradacija*) tla gotovo je uvijek jednosmjernan put, bez realne mogućnosti vraćanja u

prethodno stanje. Stoga, briga o tlu, njegovim prirodnim bogatstvima i biološkoj raznolikosti sve više zaokuplja širi krug ljudi i izvan poljoprivredne proizvodnje, te očuvanje zemljišnih resursa sve više postaje odgovornost cjelokupne društvene zajednice. Naime, globalne promjene okoliša nepovratno mijenjaju *ekosferu* (*ekosustav Zemlje; geobiosfera*) te utječu na život velikog dijela svjetskog stanovništva.

Ekološke bolesti mogu se svrstati u dvije grupe:

- *Bolesti ekotopa* (ekološke specifičnosti određenog prostora) koje uključuju eroziju, gubitak plodnosti tla, iscrpljivanje rezervi hraniva, zasljanjivanje i/ili zaluzivanje, onečišćenje vodenih sustava, smanjivanje poljoprivrednih površina, npr. zbog urbanog razvoja i dr. te
- *Bolesti biocenoza* koje uključuju gubitak usjeva, nestanak „*divljih*“ biljaka (nekultiviranih; nativnih) i animalnih genetskih resursa, nestanak prirodnih neprijatelja, pad genetske otpornosti na pesticide, kemijske kontaminacije i uništavanja prirodnih mehanizama kontrole.

Neutralizacija, zapravo liječenje *ekoloških bolesti* zahtijeva povećana ulaganja, sve do mjere kada vrijednost uložene količine energije u proizvodnju nadmašuje ostvarenu energiju sadržanu u merkantilnom dijelu prinosa. Zbog toga se sve češće i glasnije postavlja pitanje treba li proizvoditi više hrane na ekološki (organski) način, ili industrijsku poljoprivrednu proizvodnju učiniti manje štetnom po okoliš.

U svjetskim razmjerima trenutno se primjenjuje poveći broj sustava biljne proizvodnje, od kojih su najprihvaćeniji slijedeći sustavi:

1. *Konvencionalna poljoprivreda* podrazumijeva primjenu mjera i postupaka koji koriste sintetska (mineralna) i organska gnojiva uz primjenu pesticida,
2. *Industrijski uzgoj* temelji se na konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji, ali uključuje i uzgoj genetski modificiranih biljnih,
3. *Integrirana biljna proizvodnja* razuman je kompromis između konvencionalne i ekološke. To je sustav uzgoja u kome se agrotehničke mjere usklađuju s ekonomskim i ekološkim principima te se sve češće naziva *održivom poljoprivrednom proizvodnjom* i
4. *Ekološka (organska) poljoprivreda* podrazumijeva proizvodnju hrane bez pomoći bilo kojeg sintetskog proizvoda (mineralna gnojiva,

pesticidi, hormoni, GMO) uz održanje prirodne regenerativne moći zemljišta.

Smatra se da gubitak prinosa izazvan štetočinama iznosi kod većine usjeva 20 - 30 % usprkos značajnom povećanju upotrebe pesticida (globalna potrošnja je ~500 milijuna kg aktivne tvari). Budući da se kultivirane biljke uzgajaju u *genetski homogenoj fitobiocenozi (agrocenoza)*, one ne posjeduju efikasne mehanizme tolerancije na pojavu populacije novih štetnika što zahtijeva još veću uporabu pesticida uz sve jači „pritisak“ na okoliš. Naime, prekomjerna uporaba pesticida sve štetnije utječe na biljni i životinjski svijet, npr. na oprašivače, prirodne neprijatelje štetnika, onečišćenje voda, na slabiji razvoj otpornosti korova i jaču pojavu bolesti i štetnika itd.), ali i sve veće socijalne troškove, npr., liječenje toksičnošću izazvanih bolesti, češće pojave karcinoma i dr..

Visoka potrošnja mineralnih gnojiva je glavni razlog zašto dolazi do onečišćenja okoliša, prvenstveno tla, površinskih i podzemnih voda. Također, kod primjene visokih doza gnojiva njihova *agronomska i fiziološka učinkovitost* pada u odnosu na primjenu dostatne količine temeljem rezultata kemijske analize tla, odnosno stvarne potrebe usjeva za hranivima. Budući da dušik najviše djeluje na povećanje prinosa, *luksuzna primjena N-gnojiva*, posebice nitrata, najčešći je uzrok onečišćenja okoliša. Primjerice, u ist. Hrvatskoj više od 50 % bunara pitke vode sadrži iznad 45 ppm nitrata (N-NO₃), odnosno 10 mg N dm⁻³ vode. Takva razina nitrata je opasna za ljudsko zdravlje i povezana je s pojavom *methemoglobinemije* (pojava srpastih eritrocita u krvi) u djece te karcinoma želuca, mjehura i jednjaka u odraslih.

Suvišne hranjive tvari u tlu, bez obzira potječu li iz mineralnih ili organskih gnojiva, akvakulture, neadekvatnog zbrinjavanja organskog gnoja, komunalnog otpada i dr., kad se nađu u površinskim vodama (rijeka, jezera i mora) potiču cvjetanje mora (*eutrofikacija*), odnosno nekontrolirani rast fotosintetskih algi. Nakon brzog porasta mase algi u vodi one ugibaju kad potroše hranjive elemente, a njihovo razlaganje troši ogromne količine kisika u vodi što u konačnosti ubija sve druge biljke i životinje. Procjenjuje se da u SAD 50 - 70 % svih hranjivih tvari koje dospijevaju u površinske vode potječe iz gnojiva. Mineralna gnojiva također onečišćuju i zrak jer sudjeluju

u uništavanja ozonskog omotača Zemlje i utječu na globalno zatopljenje Zemlje.

Industrijska i konvencionalna poljoprivreda vrlo često dovode do erozije tla, koja je dosegla opasno visoku stopu, ne samo na nagnutim terenima, posebice lakšeg mehaničkog sastava i lošije teksture, jer se organska tvar koja je odgovorna za strukturu tla ubrzano smanjuje na svim tipovima tala. Budući da se u intenzivnoj biljnoj proizvodnji organska tvar razgrađuje brže od stope humifikacije, plodnost pada, a tlo je sve više izloženo eroziji. Procjene globalnog gubitka tla erozijom događa se u posljednjih 40 godina na $\frac{1}{3}$ ukupno obradivih površina, što iznosi više od 10 milijuna ha godišnje ili 75 milijardi tona izgubljenog tla na godinu. Naravno, erozija tla vodom se dramatično povećava na nagnutim površinama, ali i zbog moderne poljoprivredne prakse (tlo je dulje bez vegetacije zbog uskog plodoreda, pretjerana obrada, pad org. tvari i dr.).

U posljednje vrijeme sve više se žetveni ostaci koriste za energetske i druge potrebe (stočarstvo, građevinarstvo, proizvodnja papira itd.), ili se spaljuju na parceli zbog olakšavanja obrade i brže pripreme za novu sjetvu. Posljedica je negativna bilanca organskog ugljika u tlu uz ubrzani pad kakvoće tla i nepovoljni utjecaj na okoliš. Zaoravanjem žetvenih ostataka usjeva, posebice leguminoza, smanjuje se rizik od erozije, održava ili čak poboljšava struktura tla, povećava sadržaj humusa uz porast retencijskog kapaciteta za vodu i zrak te utječe na veći toplinski kapacitet tla. Svježe zaorani žetveni ostaci predstavljaju nezamjenjiv izvor energije za mikroorganizme tla, a biomasa za druge potrebe može se proizvesti uzgojem brzorastućih trajnica (tzv. *kulture kratke ophodnje*) ili morskih biljnih organizama, kao nusproizvod obrade drveta, korištenjem urbanog otpada ili plantažnim uzgojem usjeva i sl.

Agroekologija (agronomija + ekologija) je znanstvena disciplina koja koristi ekološku teoriju za proučavanje, uređivanje, upravljanje i očuvanje resursa poljoprivrednih sustava. Njena istraživanja obuhvaćaju multidisciplinarnu analizu svih važnih biofizičkih, tehničkih i socioekonomskih komponenti sustava poljoprivredne proizvodnje i njihove interakcije. Neobično je važno razumjeti povezanost ciklusa hraniva, energetske transformacije, bioloških procesa i socioekonomskih odnosa radi unapređenja ekonomičnosti i još

učinkovitijeg procesa proizvodnje hrane. Stoga je prioritet agroekologije postizanje i održavanje očekivanog prinosa optimiziranjem i korištenjem lokalnih resursa uz smanjenje negativnih učinaka moderne agrotehnike na okoliš i društvo, što uključuje i princip ekološke održivosti, sigurnost hrane, ekonomsku održivost, očuvanje resursa i socijalne jednakosti, kao i povećanje proizvodnje. Takav pristup se može primijeniti na sve vrste uzgoja, intenzivnog, ekološkog (organskog) i integriranog, jer se koriste, naravno kad god je to moguće, prirodna snaga ekosustava i njegovih obnovljivih resursa u zamjenu za agrokemikalije (sintetska gnojiva i pesticide).

Izazovi i zamke suvremene biotehnologije

Poljoprivredna proizvodnja do sada je bila u stanju odgovoriti na rastuću potražnju hrane, kako biljnog tako i životinjskog podrijetla, premda se svjetska populacija udvostručila između 1960. i 2000., dok su cijene najznačajnijih svjetskih žitarica (riže, pšenice i kukuruza) u tom razdoblju pale za oko 60 %. Projekcija potrebe za hranom i dalje pokazuje porast i čovječanstvo je pred izazovom proizvodnje sve veće količine hrane uz očuvanje okoliša, sredine u kojoj svi živimo.

Unatoč sve izraženijoj svijesti o negativnom utjecaju suvremene tehnologije na okoliš, zbog neravnomjerne proizvodnje hrane i niske produktivnosti u najsiromašnijim zemljama, za očekivati je daljnje intenziviranje poljoprivredne proizvodnje jer se do 2050 god. očekuje 8,7 milijardi stanovnika Zemlje. Budući se već sad koriste gotovo sva pogodna zemljišta za proizvodnju hrane, razumljivo je sve veće ulaganje u istraživanje i korištenje biotehnologije. Jasno je da će određeni oblici tzv. *netransformacijske biotehnologije* (bez genetske modifikacije živih organizama) poboljšati proizvodnju hrane, ali uz daljnju degradaciju i oštećenje okoliša. To je osnovni razlog sve većeg profita velikih korporacija (npr., *Monsanto, Novartis, DuPont, Bayer* itd.) koje promoviraju poljoprivredu na agrokemijskim osnovama kao i sjetvu GMO sorti s novim "*insekticidnim genima*" u kojima će se primjenjivati „*sigurniji pesticidi*". Također, puno se ulaže i u kreaciju novih sorti koje rješavaju problem

neophodnih nutrijenata. Primjerice, tzv. „zlatna riža“ sadrži dovoljno *vitamina A* (trenutno se radi i na povećanom sadržaju željeza) i rješava njegov nedostatak u siromašnim zemljama. Budući da je u siromašnim zemljama nedostatak hrane realnost, glad svakako više plaši ljude od mogućih i nepoznatih posljedica, pa je hrana dobivena iz GMO usjeva svakodnevno na njihovoj trpezi.

Proizvodnja hrane neodvojiva je od tla i njegove obrade, bez obzira koji sustav proizvodnje se primjenjuje. Niti jedan sustav obrade tla nije idealan, već svaki od njih sadrži pored prednosti i nedostatke, odnosno svaki od sustava je manjim ili većim dijelom konceptualno disfunkcionalan. U svjetskim razmjerima, daleko najčešće se primjenjuje sustav intenzivne biljne proizvodnje, a upravo je on i iznimno degradirajući za tlo. Razvijenije zemlje, premda prakticiraju sustav intenzivne poljoprivredne proizvodnje, prilagođavaju ga novim znanstvenim spoznajama o mogućnostima učinkovite proizvodnje hrane uz smanjeni intenzitet obrade tla. Za očekivati je da će se u razvijenim zemljama u budućnosti takav trend nastaviti uz potpuno prihvaćanje reduciranih i konzervacijskih sustava obrade tla u proizvodnji hrane, dok se u najsiromašnijim zemljama svijeta očekuje dalja primjena najjednostavnijih (i najjeftinijih) sustava od kojih se očekuje i najviši prinos.

Suvremeni pristup u proizvodnji hrane odrazit će se na svekolike promjene u svim poljoprivrednim granama, kao i spremnost na promjene i drugih aspektima gospodarstva, npr. genetici, oplemenjivanju, mehanizaciji, informatici, kemijskoj industriji i dr. Mjerilo učinkovitosti agrotehnike postupno će se promijeniti od pristupa koji teži postizanju najvećeg prinosa po jedinici površine u pristupu utroška najmanje količine energije po jedinici uroda. Također, strojevi će postupno biti sve „pametniji“, opremljeni s različitim sensorima i ekspertnim sustavima što će im omogućiti da djeluju na optimalan način, u mjeri koja odgovara potrebama biljaka, ali i čuva okoliš. *Precizna agrikultura* će biti sve masovnije korištena i postupno preći u *robotiziranu proizvodnju hrane*.

Uzgoj *transgenih usjeva* (GMO), dugoročno gledano, još uvijek nije siguran i mogući su trenutno još neistraženi i nepoznati rizici za okoliš i ljude jer je prekratko razdoblje od jedne generacije za pouzdano utvrđivanje

eventualne štetnosti transgenih organizama. Najviše otpora prema GMO trenutno ima unutar EU. S druge strane, moderna biotehnologija nudi mogućnosti za poboljšanje kakvoće proizvoda, proizvodnju više hrane i veću gospodarsku korist. Budući da se genetski sastav biljaka i životinja može mijenjati, bilo ubacivanjem novih korisnih gena, ali i uklanjanjem neželjenih, biotehnologija svakako ima budućnost jer olakšava način uzgoja biljaka i životinja, smanjuje potrebu za ljudskim radom, pojednostavljuje agrotehniku i dr., a obećava i povećanje profita. Također, primjena biotehnologije u poljoprivredi omogućit će da živi organizmi proizvode različite kemijske tvari (npr. lijekove, naftu i dr.) te je primjena biotehnologije već sada veoma raširena i uvjerljiva.

Vrlo je korisna i efikasna primjena biotehnologije u obradi otpada i sprječavanju zagađenja. Neke bakterije efikasno se mogu uzgajati na različitim otpadnim tvarima te se stimulacijom već prisutnih sojeva ili unosom GMO bakterija otpad može brzo i učinkovito transformirati u bezopasne produkte. Stoga je *bioremedijacija* (biološki način detoksikacije okoliša od teških metala, organskih spojeva, npr. nafte, radionuklida, pesticida, plastike itd.) danas područje sve većeg znanstvenog interesa jer se nekoristan i štetan otpad može jeftino ukloniti iz okoliša ili pretvoriti u biogoriva za pokretanje elektrogeneratora. Mikroorganizmi se mogu potaknuti i na proizvodnju enzima potrebnih za sintezu nafte, plastike, različitih lijekova i drugih farmaceutskih proizvoda, građevinske materijale i dr.

Dosadašnja istraživanja, kao i modeli predviđanja ukazuju na niz ekoloških rizika u korištenju genetski modificiranih organizama, npr.:

- Razvoj novih sojeva patogena i štetočina prilagođenim transgenim biljkama,
- Ubrzana „*genetska erozija*“ zbog smanjenja biološke raznolikosti,
- Prijenos gena s transgenih biljaka na korove i druge „divlje“ (nekultivirane) biljke te nastanak tzv. „superkorova“,
- Prijenos *Bt proteina*, odnosno biološkog toksina iz *Bacillus thuringiensis* na insekte koji ubrzano postaju rezistentni na primjenu pesticida, ali i na druge insekte pa i drugu zemljišnu mezo i mikrofloru,
- Mogućnost rekombinacije RNA virusa i nastanke novih opasnih sojeva,

- Pojavu novih *alergena* i prijenos gena na srodne biljke putem peludi itd.

Stoga je za očekivati da će biotehnologija pogoršati već prisutne probleme u konvencionalnoj poljoprivredi, a promicanjem monokulture potkopati ekološke metode uzgoja poput rotacije i združene sjetve (*polikultura*). Naime, istraživanja pokazuju da će potrošači rado prihvatiti biotehnološki proizvedenu hranu ako je cijena takvih proizvoda niža i ako su okus i nutritivna svojstva takvih proizvoda dobra. Dakle, komercijalni imperativ i ekonomski interesi, koji često nemaju čvrstu vezu sa stanjem poljoprivrednih resursa i složenim odnosima živih organizama i okoliša, imaju još uvijek majoritet nad agroekološkim pristupom i očuvanjem okoliša u proizvodnji hrane.

Premda će biotehnologija sve više utjecati na naš život (utjecaj na okoliš, proizvodnju hrane i dr.), potrebno je naglasiti kako održiva poljoprivredna proizvodnja ima još uvijek potencijal proizvodnje dostatne količine hrane za prehranu uz zapošljavanje sve brojnijeg stanovništva, a odgovoran pristup u korištenju zemljišnih resursa predstavlja imperativ današnjice, ali i cilj u budućnosti. Budući da je *zdravlje tla* njegovo ključno svojstvo, moramo naučiti kako zemljišne resurse mudro i odgovorno koristiti u proizvodnji hrane, kao i za druge namjene. U tom kontekstu, strategija osiguravanja dovoljne količine zdravstveno ispravne hrane mora obuhvatiti:

- Održivo povećanje produktivnosti hrane za ljude i životinje,
- Smanjenje kemijskih inputa (gnojiva i pesticida) uz zamjenu s biološkim tvarima kad je to moguće,
- Integraciju zemljišnih i vodenih resursa uz plansko upravljanje hranivima i integralni uzgoj bilja i
- Poboljšanje prehrane stoke, veću produktivnost i kontrolu bolesti.

Gledano iz današnje perspektive, proizvodnja i konzumacija „*pametne hrane*“, prilagođene metabolizmu i potrebama svakog pojedinca, čini se još daleko. Međutim, očekuje se nakon 2030. god. primjena „*ultra visoke tehnologije*“ u proizvodnji hrane, posebice u zaštićenim prostorima koji će postupno promijeniti *design* u vertikalne, više etažne i energetski

samoobnovljive proizvodne prostore s vrlo preciznom regulacijom agroekoloških uvjeta prilagođenih različitim vrstama uzgoja.

Opća literatura

- Armstrong D.L., Editor (2008): Focus on Crop Fertilization Economics. Better Crops with Plant Food, 2008/3, International Plant Nutrition Institute (IPNI), 43 p.
<http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf>
- Beegle, D. (2012): Nutrient Testing, Analysis, and Assessment. Department of Crop and Soil Sciences, Penn State University, 36 p. http://www.mawaterquality.org/capacity_building/mid-atlantic%20nutrient%20management%20handbook/chapter7.pdf
- Bertić, Blaženka i Vukadinović, V. (2011): Primjena EUF metode u gnojidbi šećerne repe. <http://ebookbrowse.com/primjena-euf-metode-pdf-d396206949>, 25 p.
- Chapin, F.C., Matson, P.A., Mooney, H.A. (2012): Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, 529 p.
- Coulter, B.S. and Lalor, S., Editors (2008): Major and Micro Nutrient Advice for Productive Agricultural Crops, 116 p.
<http://www.agresearch.teagasc.ie/johnstown/Nutrient%20Advice%203rd%20edition.pdf>
- Defra (2007): Farm practice and soil health. DEFRA (Department for Environment Food & Rural Affairs), 112 p.
<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=1&ProjectID=14422>
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R. (2006): Physiology of Crop Production, Springer, 345 p.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T. and Brown, P. (2013): Foliar Fertilization, Scientific Principles and Field Practices. International Fertilizer Industry Association (IFA), 144 p.
- Finck, A. (1982): Fertilizers and Fertilization. Introduction and Practical Guide to Crop Fertilization. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. 455 p.

- Hall, R. (2008): Soil Essentials: Managing your Farm's Primary Asset. Landlinks Press. CSIRO Publishing. 192 p.
<http://www.landlinks.com.au>
- Haryana, N., Punj S. (2012): Abiotic Stress: New Research, Nova Science Publisher's, 201 p.
- Hirt, H. (2009): Plant Stress Biology: From Genomics to Systems Biology, John Wiley & Sons, 257 p.
- Husnjak, S. (2014): Sistematika tala Hrvatske. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 373 p.
- ISU, USDA, NRCS (2006): Iowa Soils Properties and Interpretations Database, ISPAID Version 7.2. Prepared by Gerald A. Miller, Thomas E. Fenton, and Brian J. Tiffany - Department of Agronomy.
http://extension.agron.iastate.edu/soils/SSDS_maps.html
- James, D. W. and Topper K. F., Editors (2010): Utah Fertilizer Guide. Utah State University, Cooperative Extension, 87 p.
http://extension.usu.edu/files/publications/publication/AG_431.pdf
- Jones, J.B. (2003): Agronomic handbook: management of crops, soils, and their fertility. CRC Press LLC. 450 p.
- Jug, D., Birkás, M. i Kisić, I. (2015): Obrada tla u agroekološkim okvirima. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 275 p.
- Kastori, R., Maksimović, I. (2008): Ishrana biljaka. Vojvođanska akademija nauka i umetnosti, Novi Sad, 237 p.
- Lal, R., Shukla M.K. (2004): Principles of Soil Physics. The Ohio State University Columbus, Ohio, USA. Marcel Dekker Inc. 699 p.
<http://www.scribd.com/doc/48277460/Principles-of-Soil-Physics>
- Madhava, S.R., Raghavendra, R., Janardhan, S.R., (2006): Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Published by Springer, 351 p.
- Marschner, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants: second edition. Academic Press, London. 889 p.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., Kosegarten, H., Appel, T. (2001): Principles of Plant Nutrition: 5th edition. Springer. 849 p.

- Parvaiz, A., Prasad, M.N.V. (2011): *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*, Springer, 488 p.
- Raun, W.R., Johnson, G.V., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Westerman, R.L. (2007): *Soil-Plant Nutrient Cycling and Environmental Quality*. Department of Plant and Soil Sciences, Oklahoma State University.
- Rayment, G.E., Lyons D.J. (2011): *Soil chemical methods- Australasia*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 496 p.
- Rengel, Z. (1999): *Mineral Nutrition of Crops: Fundamental Mechanisms and Implications*. Food Products Press, New York, London, Oxford. 399 p.
- Sarić, M. (1982): Genetic specificity of mineral nutrition of plants. Scientific assemblies. Vol. XIII, No. 3. Beograd.
- Schmidhalter, U., Maidl, F.X., Heuwinkel, H., Demmel, M., Auernhammer, H., Noack, P., Rothmund, M. (2008): Precision Farming - Adaptation of Land Use. Management to Small Scale Heterogeneity. Perspectives for Agroecosystem Management: balancing environmental and socio-economic demands. Edited by P. Schröder, J. Pfadenhauer, J. C. Munch, Elsevier. 121-199 p.
- Shabala, S. (2012): *Plant Stress Physiology*, CABI, 318 p.
- Smallwood, M. F., Calvert, C. M., Bowles, D. J. (1999): *Plant Responses to Environmental Stress*, Bios Scientific Publishers, 224 p.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. and Raes, D. (2012): Crop yield response to water. FAO, 505 p.
- Vukadinović, V. i Bertić, B. (2013.): *Filozofija gnojidbe*. Autorska naklada, Osijek, 127 p.
- Vukadinović, V., Jug, I. i Đurđević, B. (2014.): *Ekofiziologija bilja*. Neformalna savjetodavna služba, Osijek, 224 p.
- Vukadinović, V. i Vukadinović, V. (2011.): *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet, Osijek, 442 p.

Indeksi

A

Acidifikacija, 53, 162
adaptacija, 21, 91, 93, 96
adaptacije, 80, 95, 96, 120, 127
adhezivno sredstvo, 26
adsorpcijski kompleks tla, 31
Adsorpcijski kompleks tla, 33
aeracija, 17, 53, 70, 82, 162
aeroponi, 51, 200
aglomeracija, 105
agregacija, 26
agrocenoza, 260
Agroekologija, 261
agrofitocenoza, 86, 88
agrofitocenoze, 21, 80, 195
agrokemijske karte, 135
agronomska učinkovitost, 152
agrotehničke mjere, 23, 37, 57, 107,
117, 222, 259
Agrotehničke mjere, 17, 57
akcija, 93
Aklimatizacija, 91
Akropetalni smjer, 74
akropetalno, 75
aktinomicete, 37
aktivatori enzima, 65
aktivna tvar, 156, 188
aktivno usvajanje vode i hraniva, 69
Aktualna kiselost, 31
Aktualna pH-reakcija tla, 31
AL, 142
albedo, 49, 82
alelokemikalije, 208
Alelopatski usjevi, 188
Alkalizacija, 122
alkalno ili lužnato tlo, 20

Alkalno tlo, 22
alkaloidi, 129
AL-metoda, 152
alohtone, 258
alternativni sustavi, 154
Aluvijalna tla, 18
amfiglej, 19
amigdalin, 129
anaboličke, 114
anaerobioza, 23, 46, 114, 115, 123, 247
analitičke metoda, 141
anatomska, 79, 111, 124, 192
angiospermae, 126
anoksija, 26, 81, 114
antagonistički, 121
antagonizam gnojiva, 179, 185
antioksidacijski sustavi zaštite, 95
antropogene degradacije, 213
antropogeni horizont, 85
antropogeno, 80
argilosinteza, 85
ascendentno, 72, 73, 245
askorbinska kiselina, 120
atraktivno, 129
atributi, 19
autohtone, 258
autotrofni organizmi, 65, 238

B

bakterije, 37, 41, 50, 58, 92, 115, 128,
152, 183, 217, 264
baze, 17, 55, 150, 151
bazipetalni smjer, 75
bazipetalno, 75
benchmark, 139, 140
bespilotna letjelica, 220

Bilanca vode, 44, 70
bilinogojstvo, 7, 151
Biljke indikatori, 21
biljna hraniva, 60, 181, 251
biljne imunološke reakcije, 129
biljni stres, 91
biocenoza, 80, 259
biogeni, 59, 65, 173, 182
biogenost, 22, 29, 55, 56, 58, 133, 149,
159, 164, 183, 184, 188, 245
biogenost tla, 29, 55, 58, 133, 149, 159,
164, 183
biognojiva, 181, 186
biogoriva, 12, 216, 264
Biokemijske metode, 144
biokomunikatori, 96
biološka fiksacija, 38
biološka napetost, 93
biološka poljoprivreda, 40
biološka svojstva tla, 13, 82, 124
Biološki prinos, 209
bioproizvodnja, 40
Bioraspoloživost hraniva, 58
bioremedijacija, 264
biosfera, 81, 211
biota, 49
biotehnologija, 264, 265
biotopi, 80
bjelančevine, 107, 111, 130
Bolesti ekotopa, 259
bonitet, 51
bonitetne klase, 215
bonitiranje, 19, 216
booster, 249
breča, 23
Brze test-metode, 144

C

C/N, 38, 63, 245
C-4 tip fotosinteze, 200
catch crop, 187
Charles Fortescue Brickdale, 9

Cijepljenje, 128
cormophyta, 59
crni ugar, 207
crnica, 15
Crvenice, 16

Č

Černozem, 15
Čimbenici okoliša, 80, 81
čvrstau stijena, 85

D

DAP, 173, 237
deficijencija, 76
deficit, 17, 21, 28, 72, 118
deficit vodnog tlaka, 72
defiksacija, 62
degradacija, 9, 29, 30, 54, 162, 213,
257, 258
degradacija okoliša, 257
Degradaciju bioloških svojstava tla, 55
dehidracija, 111
Demonstracijski poljski pokusi, 147
denaturirati, 94
denitrifikacija, 118, 186
desikansi, 53
detergenti, 42
devastacija prirodnog okoliša, 213
diferencijacija stanica, 87
difuzija hraniva, 50
digestija, 235
dinamička ravnoteža hraniva, 61
Dinamička svojstva, 51
dinamičko iznošenje, 161
dinamika hraniva u tlu, 61
Dinamika hraniva u tlu, 61
disanje tla, 134, 245
disipacija topline, 111
disperzija, 35
diverzifikacija, 206
djevičanska tala, 12

djevičansko tlo, 162
Dobra gnojdbena preporuka, 203
dobra poljoprivredna praksa, 155, 213
dormancija, 89
dorzentralni, 119
Dostižan prinos, 210
drenaža, 19, 102, 109, 117, 161, 255
dreniranost, 21, 25, 159, 183, 216
dron, 220
DSS, 219
dubina soluma, 44, 92
Dubina tla, 20, 23, 24
duboka obrada, 17, 18, 19, 28, 38, 168,
254
dušična depresija, 38, 217, 245

E

EC, 35, 213, 219
Edafski čimbenici, 82, 84
efekt staklenika, 107, 201
efekt stresa, 93
efektivna dubina, 20, 24
efektivna dubina tla, 24
Eh, 116
Ekološka (organska) poljoprivreda, 259
Ekološka niša, 89
ekološke bolesti, 258
Ekološke funkcije, 11, 12
ekološki optimum, 81
ekološki rizik, 41, 186
ekološko opterećenje okoliša, 9, 133,
151, 213, 214
Ekonomski prinos, 210
ekosustav, 9, 80, 87, 206, 259
ekosustav Zemlje, 9, 259
ekspanzija, 87
ekspertni sustavi, 134
ekstenzivni sustavi, 155
ekstravaskularno, 71
eksudacija, 73
ektomikoriza, 126
ekvinocij, 226

ekvorin, 96
Elastična biološka napetost, 93
elektrometrijski, 31
elicitori, 129
eluvijacija, 30, 85
empirija, 62
endoderma, 72
endomikoriza, 126
enkapsulacija, 180
eolska erozija, 30
epigenetska regulacija, 97
epiglej, 19
epinastije, 118
erektofilan, 198
erodirani varijeteti, 16
erozija, 15, 16, 29, 30, 42, 51, 190, 213,
261, 264
erozija vjetrom, 30
esencijalni, 59
etapa organogeneze, 225, 228
euglej, 18
eukariota, 115
eurivalentni, 81
eutrični kambisol, 15
Eutrično smeđa tla, 15
eutrofikacija, 55, 260
evaporacija, 34, 44, 50, 84
evapotranspiracija, 49, 81, 84

F

faktor minimuma, 148
FAO, 54, 102, 269
FAR, 83, 104
fauna, 84, 196
feel test, 30
fenofaze, 74, 90, 91
fenotipska, 79, 95
fenotipska plastičnost, 95
fertigacija, 179
Fiksacija, 62
filodistenzija, 228
filogeneza, 90

Filoksera, 79
fitogeomorfološki pristup, 219
fitopatologija, 127
fitoremedijacija, 42
Fitotoksičnost, 54
fitotoksičnost iona aluminija, 125
fizikalni stres, 93
fizikalno-kemijske mjere, 13
fiziognomija, 80
Fiziografski (orografski) čimbenici, 86
fiziologija stresa, 93
fiziološka suša, 228
fiziološka učinkovitost, 152, 171, 260
Fiziološke funkcije, 12
fiziološki zrelo lišće, 198
flavonoidi, 120
flora, 84
fluvisol, 18
folijarna analiza, 144, 249, 250
fon, 42
formiranje primordija, 228
fosfogips, 168, 242
fotobiološki efekt, 43
fotokemijski smog, 125
fotoksidacijski stres, 118
fotoni, 83
Fotooksidacijski stres, 118, 119
fotosintetski aktivna radijacija, 83, 104
fotosinteza, 65, 69, 87, 105, 128, 172,
198, 201
Funkcije tla, 10
Funkcioniranje plodnog tla, 13

G

GAP, 213
generativni organi, 88
generativni rast, 88
genetički inženjering, 258
genetska specifičnost, 79
genotipska raznolikost, 95
Genotipska varijabilnost, 95
geobiosfera, 9, 259

geostatistička prostorna analiza, 134
geotermalna, 11
Gipsovanje tla, 36
GIS, 8, 134, 151
glina, 16, 25, 31, 60, 116, 152, 224
glinasta tla, 13, 30
glinene kiseline, 116
glineni minerali, 50
gljive, 37, 50, 58, 126, 154, 183, 217
GMO, 42, 103, 260, 262, 263, 264
gnojidba, 1, 3, 7, 8, 15, 16, 18, 23, 34,
51, 57, 63, 86, 90, 107, 114, 131,
132, 141, 142, 148, 155, 158, 159,
160, 162, 170, 172, 173, 174, 184,
186, 187, 188, 189, 201, 204, 206,
213, 214, 224, 233, 234, 235, 236,
238, 239, 240, 241, 246, 249, 253,
254
Gnojidba biljaka, 131
gnojidba na zalihu, 141, 173
Gnojidba tla, 131
Gnojidbena preporuka, 148, 149
gnojidbeno bilanciranje, 159
GPS, 139, 219, 221
Gračanin, 9
gravitacija, 46, 81
gravitacijska voda, 45, 46, 48
Gravitacijska voda, 46
gubitak organske tvari, 20, 165, 213
gustoća usjeva, 96, 148
gutacija, 48, 72

H

halofitne biljke, 122
halomorfna, 22, 54
halomorfna tla, 22, 54, 122
hardpan, 23, 255
heliofite, 199
hemoglobin, 41
hereditarna, 78
hidatode, 72
hidratiziranost, 111

- hidraulička provodljivost, 20
Hidrolitička kiselost tla, 32
hidromorfna tla, 117
hidroponi, 51
hidrostatski potencijal, 48
hidrotropizam, 112
hife, 126
Higroskopna voda, 46
hiperakumulatori, 42
hipersenzibilnost, 129
hipoglej, 18
hipoksija, 23, 46, 114
H_k, 32
homeotermi, 103
homogene, 135
Hranjive tvari, 59, 251
HRF, 207
HSP, 104
humat efekt, 39, 224
humifikacija, 57, 183, 218, 245, 253
humizacija, 16, 18, 28, 57, 117, 161, 162
humofluvisol, 18
humoglej, 18
humus, 31, 36, 37, 38, 39, 60, 113, 152,
161, 168, 176, 217, 235, 245, 246,
249, 253
humusne kiseline, 36
H_v, 32, 164, 166
- I**
- iBaza, 151
ilovasta tla, 30
iluvijacija, 85
imisijaska acidifikacija, 53, 162
imobilizacija, 62, 63
imunizacija biljaka, 128
imunološki sustav, 127
indeks lisne površine, 197
indikator kakvoće, 20
indukcija, 99, 101
industrijska polucija, 242
Industrijski uzgoj, 259
- Infekcija tla, 57
infiltracija, 26, 30, 45, 84, 196
infiltracija vode, 45
inherentnim, 110
inherentno, 12
inhibicija, 20
inkubacijske metode, 143
Integrated pest management, 189
integrirana biljna proizvodnja, 155, 214
Integrirana biljna proizvodnja, 259
integrirana gnojdba, 213
integrirani pristup gnojdbi, 154
integrirano gospodarjenje hranivima,
174
intenzitet agrotehnike, 136
intenzitet disanja tla, 56, 196
Intenzitet plodosmjene, 204
intenzivna poljoprivreda, 213
interpretacija rezultata, 138, 149
interpretacija rezultata analize tla, 149
interspecijska, 88
intraspecifična kompeticija, 88
intraspecijska, 88
irigacija, 35, 184
Ishrana bilja, 8, 152, 269
IWM, 207
Izmjenjiva pH-reakcija, 31, 32
Izmjenjivo vezana hraniva, 60, 61
iznošenje elemenata, 66
iznošenje hraniva, 143
izobilaterani, 119
- J**
- jednokratne ekstrakcije, 141
jottagram, 58
- K**
- Kakvoća tla, 19
kalcizacija, 28, 34, 57, 117, 161, 162,
166, 188
Kalcizacija, 17, 163, 165

- kalibriracija, 21
Kaljenje, 100
Kapacitet fotosinteze, 202
kapacitet produktivnosti, 135
kapacitet tla, 20, 36, 46, 114, 206, 261
kapacitet za akumulaciju (sink), 224
Kapilarna voda, 46
karbokalk, 167, 242, 243
kardinalne točke, 81
karoteni, 120
karotenoidi, 120
kelati, 38
kelatizacija, 125
Kemijska analiza tla, 132
kemijska fiksacija, 39
Kemijski indikatori, 20
kemijski ugar, 207
Kemijski vezana voda, 46
kemosinteza, 38
kemotrofni organizmi, 153
K-fiksirajuće ilitne i vermikulitne gline,
224
KIK, 21, 28, 33, 36
kilodalton, 58
kiselo tlo, 20, 247
kišne gujavice, 37
klasa opskrbljenosti, 136
klasična obrada tla, 205
Klimatski čimbenici, 82
klinoptiloliti, 169
klorofil, 83, 100
kloroze, 77, 145, 197, 247
koloidi tla, 60
koloracija, 96
Koluviji, 16
Kompatibilne tvari, 97
kompenzacijske točke, 198, 199
kompeticija, 82, 86, 88
Kompletna gnojiva, 175, 176
Komposti, 168
kondicije, 79, 96
kondicioneri, 162, 178
Kondicioniranje, 161
kondukcija, 107
konduktivitet, 26, 46, 48, 196
konglomerat, 23
konstituenti, 59, 66
kontaminacija, 40
kontrolna parcelica, 139
konturna obrada, 15, 17
konus rasta, 98
konvekcija, 50, 103, 107, 200
konvektivno zagrijavanje zraka, 102
Konvencionalna poljoprivreda, 259
konzervacija hraniva, 188
konzervacijska obrada, 113, 171
korektivna prihrana, 244
korijenski tlak, 48
korisni elementi, 59, 82
kriptovegetacija, 228
kristaloni, 182
kritična koncentracija, 157
krstašice, 24, 67, 190
krško područje, 16
krtičenje, 14
ksantofili, 120
kseromorfizam, 123
kultivacija, 14, 57, 247, 254, 255
kulture kratke ophodnje, 261
Kulturne funkcije, 12
Kvalitativno vrednovanje zemljišta, 215
kvantifikacija plodnosti tla, 133, 134
Kvarenje strukture, 53
- L**
- LAD, 198
LAI, 123, 197, 221
laka pjeskovita tla, 13
LAR, 198
latentan, 93
latetna toplina, 103, 104
ledena kora, 28, 115
Leguminoze, 67
Lesivirana tla, 16
lezije, 129

Liebig, 195
litosfera, 84, 211
livadni černoziem, 18
lokalitet, 86
low input, 172
luksuzna gnojdba, 203
luksuzne doze dušika, 41
Lumbripost, 167

M

makrolementi, 59
Malčevi, 168
malformacija, 43
manjak kisika, 27, 46, 85, 115, 116
MAP, 173, 176, 178, 236, 237
mass-flow, 60
matični supstrat, 84, 85
Matriks potencijal, 48
međuredno zatravljivanje, 15
međuusjevi, 30, 187, 206, 241
mehanički elementi tla, 25
melioracijska gnojdba, 16, 19, 147
meristemi, 98
merkantilni dio biomase, 66
metabolizam, 38, 49, 68, 90, 97, 101, 114, 115, 124, 224, 227, 230, 243
Metabolizam, 65
Meteorološka suša, 112
Methemoglobin, 41
mezofauna, 58
migracija gline, 53
mikoriza, 126
Mikoriza, 126
mikroagregati, 25
Mikroelementi, 42
mikroevolucija, 96
mikrolementi, 59
mikroorganizmi, 37, 38, 81, 121, 127, 183, 196, 201, 217
mikrosporogeneza, 105
mineralizacija, 19, 37, 49, 121, 163, 173, 183, 217, 225, 234, 235, 251

mineralna gnojiva, 43, 53, 152, 161, 170, 174, 176, 177, 178, 180, 213, 241, 245, 250, 259
Mineralna hraniva, 58
mineralni stres, 91, 120
mirovanje, 89, 90, 224
mitoza, 87
mobilizacija, 37, 62, 63, 131
mobilizacija hraniva, 37, 63, 131
mobilne rezerve, 141
mobilnost, 21, 62
Močvarno glejna tla, 18
močvarno tlo, 18
molekule antifrizi, 98
Monitoring, 40
monokarpne vrste, 89
morfogeneza, 88
morfološka, 79, 91, 192
morfoza, 96
MPa, 46, 47, 72

N

nabusavanje, 223
naoravanje, 17
natapanje, 113
navodnjavanje, 15, 16, 18, 19, 29, 35, 53, 54, 57, 108, 112, 113, 130, 143, 148, 155, 159, 179, 182, 214, 250
NDVI, 219, 220, 221
NDVI indeks, 220
neadekvatna agrotehnika, 34
Nedostaci mineralnih gnojiva, 185
Nedostaci organskih gnojiva, 184
negativna sorpcija, 55
negativni hidrostatski tlak, 72
neherbicidalne taktike, 207
nekroza, 125, 240
nekroze, 77
nematocidne biljke, 189
neorganske rezerve, 61
neto dobit, 197
neto primarna produktivnost, 49

neto produkcija, 195
nikotin, 129
nitriti, 41, 55, 117, 122, 228, 229, 251, 252
nitifikacija, 118
nitriti, 41, 55
 N_{min} , 24, 139, 142, 143, 226, 227, 230, 233, 234, 245
 N_{min} metoda, 24, 143, 227, 245
nodulacija leguminoza, 163, 164
nosivost ekosustava, 80
no-till, 30, 190, 207, 216
NPK, 79, 156, 173, 175, 176, 179, 183, 233, 237, 240, 247
N-prihrana, 153, 159, 223, 225, 229, 244
NR-aza, 145

O

obrana od poplava, 18
OC, 10, 217
odnošenje elemenata, 66, 192
odnošenje hraniva, 143
Održiva biljna proizvodnja, 212
Održivo gospodarenje zemljištem, 211, 212
ograničavajući čimbenici, 80
oksidacija, 26
oksidativni stres, 96
oksidoredukcijski potencijal, 31
onečišćenje podzemnih voda, 172
onečišćenje tla, 186
ontogenetski razvitak biljaka, 89
ophodnja, 204
oranični sloj, 17, 42
oranje, 14, 15
organela, 94, 119
organogeni (nemineralni) elementi, 59
organomineralni kompleks, 50
Organska gnojdba, 28
Organska hraniva, 58
Organska i tresetna tla, 13, 15
Organska tvar, 36, 38, 253

organski gnoj, 174
organsko ratarenje, 40
orijentacija redova u prostoru, 97
Orografski ili fiziografski čimbenici, 82
osmoprotektanti, 111
osmoregulatori, 112
osmotski potencijal, 48
osmotski tlak, 44, 45, 100
osoj, 86
ostvarljiv prinos, 210
otisak stresa, 92
otpornost na strukturne deformacije, 27
otvorena organizacija korijena, 23
Ozon, 125
ozonski omotač, 42
ožegotine, 77, 183, 185

P

paraheliotropizam, 119
parametri kakvoće, 19
parapodzol, 17
parenhimske stanice, 41
pasivna faza usvajanja, 68
patogeni, 82, 127, 129
pedaliti, 25
pedogenetski, 13
pedološki profil, 85
percepcija, 99
perdacija, 96
perkolacija, 45
perlit, 168
perpetuum mobile, 249
pesimum, 81
pesticidi, 40, 53, 127, 128, 205, 206, 213, 254, 260, 262
pH reakcija tla, 21, 160, 241, 247
pH tla, 21, 34, 124, 241, 242, 246
pH vrijednost, 20, 31, 246
pH vrijednost tla, 20, 31, 246
pijesak, 23, 25, 51
plač biljaka, 48, 72, 73
plastična biološka napetost, 94

- plazmoliza, 240
plodnost, 12, 16, 21, 25, 50, 51, 57, 58,
116, 131, 133, 135, 136, 137, 141,
148, 165, 185, 190, 196, 216, 222,
261
Plodnost tla, 52, 57, 133, 134
plodored, 15, 16, 53, 187, 204, 205, 249
podoranični sloj, 23
podrivanje, 14, 28, 114
podzemne vode, 10, 15, 16, 18, 19, 44,
46, 48, 54, 55, 171, 176, 185, 190,
196, 229, 248, 253
 pogodna zemljišta, 15, 262
 pogoršavanje strukture, 20, 218
Pojava pokorice, 53
pojava sirozema, 29
pokazatelji, 19, 20, 140, 198
pokorica, 14, 28, 115
Pokretljive hranjive tvari, 60
Pokrovni usjevi, 187, 189, 190
poliamini, 97
polikarpne vrste, 89
polikultura, 265
polinacija, 82, 84
polutanati, 40
poljoprivredna suša, 112
poljosmjena, 204
poljski kapacitet vlažnosti, 46
pool, 10, 99
poplava, 18, 19, 28, 115, 118, 216
poplave, 12, 46, 118, 258
popravak fizikalnih svojstava, 18
poroznost, 17, 20, 26, 27, 196
potencijal tla, 134
Potreba za kalcijem, 165
prag stresa, 91
prah, 16, 25, 179
prapor, 15, 23
pravilan plodored, 15
pravilo opadajućeg prirasta priroda, 195
pravilo palca, 208
Precizno poljodjelstvo, 219
Prednost organskih gnojiva, 183
Prednosti mineralnih gnojiva, 184
preemergentna aklimatizacija sjemena,
101
Primarna obrada tla, 114
primarni minerali, 50
priming učinak, 152
Primitivni prinos, 210
primordije, 88
prirodni resurs, 9, 211, 212
prisoj, 86
proces kaljenja, 92
procesi specijacije, 96
procjena kakvoće tla, 19
produktivnost, 17, 18, 43, 50, 51, 52, 57,
131, 133, 134, 136, 137, 162, 185,
203, 205, 209, 214, 228, 265
produktivnost biljnog staništa, 51
produžni efekt, 108, 173, 182, 186
profit, 12, 197, 203, 217, 237
Proizvodne funkcije, 12
proizvodni rizik, 136
prolin, 97
prorahljivanje, 18
proteini, 82, 129
proteoliza, 107
protuerozijske zaštitne mjere, 15
Pseudogleji, 17
puči, 70, 71, 72, 73, 110, 111, 112, 118,
119, 125, 199
puferna moć tla, 33, 242
puferni kapacitet, 27
punila, 53, 162, 178, 179
- R**
- radijacija, 102, 103, 107
radionuklidi, 42
raspad zemljišnih agregata, 35
raspoloživost hraniva, 21, 24, 50, 51, 82,
157, 192, 206
raznolikost plodosmjene, 204

reakcija, 21, 31, 37, 57, 65, 78, 93, 94,
95, 109, 111, 123, 144, 160, 178,
241, 247
Reakcije katabolizma, 65
Reemisija, 107
regija, 86
regulatori redoks reakcija, 65
remobilizacija, 75
repelencija, 129
repelentno, 129
reradijacija, 107
retardacija, 96
retencija, 39, 48, 57, 82, 92, 113, 167,
196
retencija vode, 48, 82, 113, 167
retencija vode u tlu, 113
retencijski kapacitet za vodu, 45
retogradacija fosfora, 154
retrovegetacija, 235
reutilizacija elemenata, 75
revolucija Zemlje, 86
rezervat gena, 10
rezervna hraniva, 60, 224
Rezervna hraniva, 60, 61
rezervne hranjive tvari, 27
rezidue, 54
rezistetnost, 127, 128, 238
Ritske crnice, 18
rizoflora, 24
rizosfera, 13, 23, 27, 58
ROS, 95, 118, 119, 125
rosa, 48
rotacija, 57, 114, 196, 204, 207, 235,
257
RSC, 35
runoff, 45, 84

S

salicilna kiselina, 96, 129
salinizacija, 54
samoishrana, 65
saturacija, 115

sedimenti, 15
sekundarne čestice, 25
Sekundarni usjevi, 206
sekvestracija, 117
Semigleji, 18
senescencija, 93, 125
sesilni organizmi, 92, 94
sideracija, 17, 28, 114, 162, 186, 188,
191, 206, 224, 241
sigmoidna krivulja, 89
simptom venjenja, 100
simptomi nedostatka, 77, 121, 145
sinergistički, 121
sinteza humusa, 57, 183
skiofite, 199
skor funkcije, 149
SLA, 198
SLM, 137, 215
slobodan prostor korijena, 69
slobodna voda, 46
snizavanje bigenosti, 20
solarna konstanta, 82
solni udar, 93, 123, 176, 227, 233, 241
solum, 20, 23
Spektralni sastav svjetlosti, 199
spužvasti parenhim, 70
Srednje teška tla, 14
Stabilnost agregata, 26
stablašice, 59
staklenički plinovi, 10, 107
Stanična građa, 68
stanični signal, 129
Statička svojstva, 51
stenovalentni, 81
stimulatori rasta, 53
stoma, 70
stratifikacija, 89, 90
stresni faktor, 95
strip cropping, 30
struktura, 14, 15, 16, 20, 25, 36, 44, 50,
57, 82, 95, 111, 151, 163, 170, 253,
255, 261
strukturni agregati, 25, 85

stvaranje nepropusnog sloja, 53
Stvarni prinos, 210
subirigacija, 19
suficit, 28
sumpordioksid, 37
sumporovodik, 37
supergranula, 181
supstitucijska kiselost tla, 31
sustav kontrole plodnosti tla, 132, 138
suvišak vode, 85, 109, 117, 118, 247
svjetlosni režim usjeva, 198

Š

Šećeri, 100
škrob, 97
šljunak, 23, 25, 51, 169
Štete od suše, 108

T

taban pluga, 22, 116, 255
taktika malog čekića, 207
taktika velikog čekića, 207
tallophyta, 59
tekstura, 20, 25, 44, 57, 82, 196
Teksturna svojstva tla, 26
teksturne čestice, 14
Temperatura tla, 48, 49
tenzija, 35, 45, 72
teoretski prinos, 209, 210
terasiranje, 15, 17, 114, 161
termofilne vrste, 106
terpeni, 96, 129
terra rossa, 16
terroir, 87
Teška tla, 14
teški metali, 40, 55, 117
Tipovi tala, 12
toksični elementi, 21, 56, 59
Tolerancija na stres, 92
tolerantnost, 13, 78, 99, 111, 126, 203
Tolerantnost, 79, 94

topivi oblici dušika, 55
toplinski kapacitet, 48, 261
toplinski konduktivitet tla, 48
toplinsko zračenje, 104
trajno uvenuće, 110
transgene biljke, 42
translokacija, 73
transpiracijski koeficijent, 70
tranzitna voda, 69
Treset, 168
tresetišta, 15
Troposferski ozon, 125

U

UAN, 173, 192, 227, 229, 233, 235, 237, 239, 240, 243
uBaza, 151
Ubrani prinos, 210
ugljični dioksid, 27, 107
ugljikohidrati, 97
ukupna potencijalna kiselost, 33
Ukupni potencijal vode tla, 48
Ultraljubičasto zračenje, 82
unakrsna prilagodba, 99
urea, 177, 182, 233, 237, 239, 243, 251
ureaform, 181
USDA, 254, 268
usjevi hvatači, 189
UV, 42, 43, 81, 82, 83, 104, 120, 125
UV-B, 43
UVC, 83, 125
uzimanje uzoraka tla, 138
Uzroci genotipske specifičnosti biljaka, 67

V

Vapnenasta tla, 14
vapnjenje, 17, 103, 161
vaskularno, 71
vegetacijski pokusi, 145
vermikuliti, 168

vidljivo zračenje, 83
vijabilnost peludi, 106
Visoka plodnost, 15
višebazične soli, 32
vizualna dijagnostika, 77, 145
vlažne suše, 105
Voda u tlu, 43, 46, 81
Vodni režim biljaka, 70
vodotopljivi dio hraniva, 60
volatizacija, 185, 186, 223
volumna gustoća, 20

W

Waksman, 36
waterlogging, 23
WHO, 41

Z

zagađivači, 40
zakišeljavanje, 53, 162

zakon minimuma, 195
zakon optimuma, 196
zaslanjena tla, 122
Zaslanjivanje tla, 54
zastavičar, 199
Zbijanje tla, 115
zbijenost, 16, 17, 21, 22, 48
zdravlje tla, 133, 136, 214, 265
zeoliti, 168, 169, 249
zimski brazda, 113
zimski pokrovni usjevi, 117, 206
zlatna riža, 263

Ž

žetveni indeks, 66, 201, 203, 231
živi mač, 187, 190, 241

A

α -amino N, 235