

Fundamentalni principi gnojidbe usjeva

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Gnojidba, odnosno utvrđivanje potrebe u gnojidbi je egzaktna znanost koja mora uvažiti sve relevantne abiotičke (vanjske ili okolišne faktore: klimatske, edafске i fiziografske) i biotičke ili biljne čimbenika, odnosno veliki broj ekofizioloških svojstava, kao i različite potrebe biljnih vrsta i njihovih kultivara u količini i vremenu neophodnih hraniva. Zbog toga je nemoguće unaprijed odrediti pravilnu i učinkovitu gnojidbu (vrstu hraniva, dozu, način i vrijeme primjene) za različita agroekološka područja pa čak niti za dvije susjedne parcele. Naime, usjevi kontinuirano „izvlače“ hranjive sastojke iz tla (jedan dio se i „odnosi“ prinosom s parcele) što, ako se ne nadoknađuje gnojidbom, može vremenom dovesti do ozbiljnog pada plodnosti i degradacije tla te tako bitno smanjiti produktivnost i ekonomičnost biljnog uzgoja.

Učinkovitost gnojidbe i bioraspoloživost hraniva iz tla je vrlo složeno i višedimenzionalno svojstvo i najveći izazov za napredak suvremene ishrane bilja jer integrira napredak više znanstvenih disciplina, posebice genetike, agrokemije, fiziologije i ekofiziologije bilja. Moguća visina prinosa nekog usjeva, u konkretnom agroekološkom području, determinirana je fizičkim okolišem, intenzitetom sunčeve radijacije (svjetlost i njen spektralni sastav, temperatura, duljina dana i brojem dana kada je vegetacija moguća), raspoloživim vodom i hranivima u tlu. Agrotehnikom je moguće, manje ili više, utjecati na sve agroekološke čimbenike biljne proizvodnje, ali to nije često učinkovito, niti isplativo. Praksom je dokazano da se najviše na povećanje prinosa može djelovati optimizacijom mineralne ishrane, uključujući i navodnjavanje u agroekološkim regijama s manjkom vode.

Za optimalnu gnojidbu moraju se utvrditi svojstva tla, njegova kemijska, fizikalna i biološka svojstva, dubina soluma, razina hranjivih sastojaka i potencijal prinosa za konkretno agroekološko područje i razina ulaganja u biljnu proizvodnju. Plodno tlo obično ima visok proizvodni potencijal za opskrbu uzgajanih biljaka neophodnim hranivima (uključujući vodu i zrak tla), a nedostatak hraniva i vode može se nadoknaditi navodnjavanjem, pravilnom obradom tla i pažljivo odabranim gnojivima. Održavanje plodnosti poljoprivrednih površina zahtjeva redovitu kontrolu plodnosti (analiza tla i biljaka, procjena zemljišne pogodnosti, daljinska istraživanja i dr. suvremene metode), redovito vizualno nadgledanje, praćenje prinosa (po mogućnosti na svakom dijelu proizvodne parcele) i eliminiranje faktora minimuma mjerama popravke tla.

Makroelementi (N, P i K su hranjive tvari koje biljke zahtijevaju u velikim količinama i koje je potrebno redovito unositi gnojidbom u tlo, ali je često potrebno unositi sekundarne elemente biljne ishrane (Ca, Mg i S) te mikroelemente (najčešće Fe; Mn, B, i Zn i to u malim dozama $<1 \text{ kg ha}^{-1}$), jer imaju presudnu ulogu u važnim fiziološkim procesima, ali i u pomaganju biljkama da bolje apsorbiraju makroelemente.

Dušik (N) ima poseban položaj u grupi neophodnih elemenata jer u tlo dospijeva iz atmosfere, ali ga biljke usvajaju u mineralnom (nitratnom i amonijskom) obliku. Sastavni je dio proteina, nukleinskih kiselina, klorofila (fotosintetski zeleni pigment), amina, amida i drugih spojeva koji čine osnovu života pa se kemija ovog elementa opravdano smatra najvažnijim dijelom agrokemije, odnosno ishrane bilja. Značaj dušika je to veći što ga samo mali broj organizama može koristiti iz atmosfere (gdje ga ima 78,1 % volumno ili 75,51 % po masi, odnosno ukupno u atmosferi Zemlje $3,8 \times 10^{15} \text{ t}$, ili $86,5 \text{ t ha}^{-1}$) u plinovitom obliku (N_2). Dušik (N) izrazito povećava prinos, jer jednostavno rečeno omogućuje rast, odnosno povećava broj biljnih stanica, grana, lišća, sjemena i plodova. Biljke su veliki sakupljači dušika i sadrže ga između 2 i 5 %, a ugrađuju ga tijekom čitave vegetacije u organsku tvar obavljajući transformaciju mineralne u organsku formu te je dušik zbog velike potrebe tijekom većeg dijela vegetacije, nedovoljne mobilizacije u tlu iz organskih rezervi, velike pokretljivosti nitratnog oblika i gubitaka iz tla, vrlo često ograničavajući čimbenik rasta i prinosa.

Fosfor (P) je nemetal koji ulazi u sastav važnih organskih spojeva kao što su nukleoproteidi, fosfolipidi, enzimi i mnogih drugih, a posebice spojeva koji povezuju u metabolizmu endergone i egzergone reakcije. Biljke

usvajaju fosfor isključivo u anionskom obliku i to kao H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} , u tlu se vrlo slabo premješta (na veće udaljenosti uglavnom erozijom kad može izazvati eutrofikaciju voda; mora i jezera) zbog kemijskog vezivanja na kalcij ili željezo i aluminij u kiselim uvjetima. [Biljke ga nakon usvajanja ugrađuju, za razliku od dušika i sumpora, u organsku tvar bez redukcije, što je evolucijski razumljivo, jer se na fosforu temelji metabolizam tvari i energije \(kao i sposobnost reprodukcije\) svih živih bića.](#) Najveće potrebe biljaka za fosforom su na početku vegetacije kod intenzivnog razvoja korijenovog sustava i kod prijelaza iz vegetacijske u reprodukciju fazu života. [Rana potreba biljaka za fosforom često uzrokuje njegov akutni nedostatak u uvjetima kad je temperatura tla još niska ili korijen nema dovoljno kisika, uglavnom zbog suviška vlage. Pokretljivost fosfora u biljci je dobra u oba smjera.](#)

Kalij (K) u tlu potječe iz primarnih minerala, a njihovim raspadanjem se oslobađa i najvećim dijelom odmah veže na adsorpcijski kompleks tla te mu je pokretljivost i opasnost od ispiranja iz tla neznatna, izuzev na lakšim, pjeskovitim tlima. [Stoga je raspoloživost kalija usko povezana s procesima njegove sorpcije i desorpcije pri čemu drugi kationi, osobito kalcij, amonij i magnezij utječu na njegovu desorpciju, odnosno raspoloživost za usvajanje.](#) Kalij aktivira ili modulira rad 40-ak enzima oslobađajući aktivna mjesta na enzimima i tako stimulirati vezu s odgovarajućim supstratima. Također, [kalij je najznačajniji elektrolit živih tkiva te neposredno utječe na održavanje turgora i regulaciju mehanizma rada puči \(omogućuje disanje, odnosno razmjenu plinova između lišća i atmosfere\).](#) Kod dobre opskrbljenosti kalijem povećana je neto asimilacija uz bržu sintezu rezervnih tvari kao što su škrob, saharoza, lipidi i proteini. Stoga [kalij poboljšava prinose i kvalitetu usjeva djelomično i preko boljeg djelovanja drugih biogenih elemenata, jača biljku i pomaže joj da se odupre suši i bolestima.](#)

Većina sezonskih odluka o upravljanju hranjivim tvarima za brojne usjeve temelji se na subjektivnim morfološkim ljestvicama. Međutim, [dobra odluka o vremenu primjene, posebice N-prihrane usjeva može biti donesena temeljem sume aktivne temperature, tzv. GDD ili HUI \(growing degree days, odnosno heat unit index\)](#) ne zanemarujući analize tla i folijarnu analizu kad postoji nedoumica, a kad su u pitanju ozimi usjevi, neophodno je još i uvažiti aktualne vremenske uvjete kritične za mogućnost usvajanja i gubitka dušika iz zone korijena (temperatura tla i zraka, snježni pokrov, vlažnost tla, odnosno pokretljivost nitrata). Najbolja praksa za određivanje doze i vremena primjene biljnih hraniva tako i dalje ostaje analiza, odnosno poznavanje kemijsko-fizikalnih svojstva tla i potencijala uroda za pojedine parcele. [Naime, u uzgoju žitarica dušik je glavni ograničavajući čimbenik rasta nakon nedostatka vode, jer učinkovitost korištenja dušika \(tzv. NUE; Nitrogen Use Efficiency\) u prosjeku je za ozime žitarice tek 33 %, što pojašnjava potrebu za poboljšanjem metodologije utvrđivanja potrebe za N-prihranom.](#) Budući da se složenost i promjenjivost problema svake godine/zime razlikuje, točnije predviđanje fenofaza usjeva i razvitka usjeva olakšava utvrđivanje [GDD što je ključno za utvrđivanje vremena N-prihrane](#), ali i za primjenu pesticida, kao i predviđanje datuma žetve.

Dodatne uporabe sume aktivne temperature (GDD) uključuju hibridni deskriptor zrelosti u sjemenskoj industriji, kvantificiranje prinosa usjeva na koje utječu datumi sjetve, predviđanje raspoloživosti i gubitaka dušika i predviđanje prinosa zrna. Primjerice, N-prihrana ozime pšenice u *Oklahomi* (SAD) primijenjena između 85 i 95 GDD rezultirala je povećanim prinosima, a primjena od 90 kg N ha⁻¹ pri 110 GDD poboljšala je sadržaj proteina u zrnu pa je zaključeno da se [numerička ljestvica temeljena na GDD-u može koristiti za predviđanje stope N-prihrane ozime pšenice, umjesto subjektivne morfološke ljestvice](#), a idealan termin za N-prihranu pada između 80 - 115 GDD.

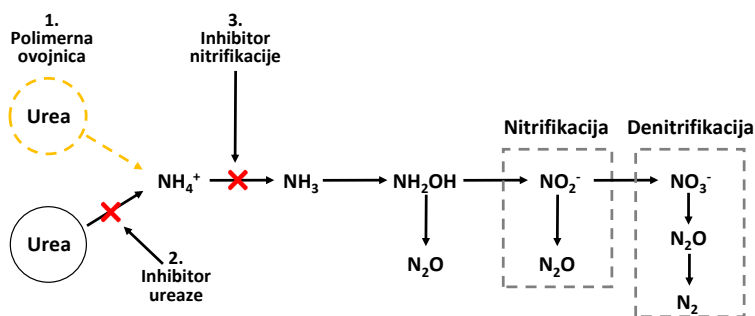
[Trenutno se najbolja praksa upravljanja \(BMP; Best Management Practice\) za primjenu dušika smatra njegova primjena u bočne redove ili u sredinu između redova za vrijeme sjetve što osigurava dobar pristup N, P i K hranivima \(uključujući i ozime usjeve\).](#) Ova mogućnost ulaganja gnojiva na maloj udaljenosti od sjemena dramatično smanjuje rizik njihovih gubitaka, ali takva primjena u našem agroklimatskom području problematična je zbog potrebe za suvremenom mehanizacijom, loših vremenskih uvjeta tijekom zime i ranog proljeća, a nije niti istražena s agronomskom, ekološkom i ekonomskog aspekta. U Rh inkorporacija gnojiva uz redove sjetve izvrsna je za jare usjeve, a primijenjena u jesen može imati velike gubitke hraniva, osobito

dušika i fosfora, koji se mogu umanjiti primjenom [pametnih gnojiva, odnosno gnojiva poboljšane učinkovitosti](#).

[Premda je površinska primjena gnojiva puno brža od njegove inkorporacije u tlo \(pod brazdu ili posebnim aplikatorima uz redove sjemena pri sjetvi\), najvažnije pravilo je unositi gnojivo u tlo](#), jer gnojivo na površini tla nije dobra ideja. Naime, gubici dušika u vidu plinovitoga amonijaku (tzv. *volatizacija*), posebno iz uree, odvijaju se brzo uz generiranje stakleničkih plinova (CO_2 , CH_4 ; metan, N_2O , dušikov oksid, HFC i PFC; fluorouglijci SF_6 ; sumporheksafluorid). [Mnoga istraživanja su pokazala da se do 20 % površinski primijenjene uree izgubi u prvih 10 dana kad je temperatura visoka, a gubici su i mnogo veći kad je pH tla \$>7,5\$](#) . Ti se gubici događaju kada se urea otopi na površini tla, a [enzim ureaza pretvori gnojivo u plinoviti amonijak](#) koji se izgubi u atmosferi. Stoga je primjena uree na toplim i vlažnim tlima i puno površinskih organskih ostataka potencijalno rizična zbog gubitaka N *volatizacijom* (isparavanje amonijaka). Međutim, kad se urea unese u tlo, nastali amonijski ion (NH_3^+), proizveden enzimatskom hidrolizom uree, uglavnom će se zadržati vezan na adsorptivni kompleks tla koji čine negativno nabijeni koloidi gline i humusa.

[Inhibitori ureaze blokiraju enzim](#) i sprječavaju pretvaranja uree u amonijak dopuštajući vremenski interval (tzv. „prozor“) od nekoliko tjedana kako bi kiša mogla premjestiti ureu u tlo. Najčešći primjeri primjene gnojiva poboljšane učinkovitosti (*EEF; Enhanced Efficiency*, Slika 1.) uključuju polimerne prevlake (npr. *ESN; Environmentally Smart Nitrogen*), inhibitore volatizacije (npr. *Agrotain* ili *SuperU*) i inhibitore volatizacije/nitrifikacije (npr. *NZONE MAX* ili *Super urea*). [Poboljšana učinkovitost dušičnih gnojiva je skuplja od tradicionalnih proizvod, ali se ovaj trošak može opravdati poboljšanjima učinkovitosti i logističkim prednostima alternativnih praksi gnojidbe](#).

Ključni problem gubitka dušika iz karbonatnih tala je dušikov oksid (Slika 1.) koji je kao staklenički plin 300 puta snažniji od ugljičnog dioksida te 65 - 80 % njegove ukupne emisije, ovisno o agroekološkim uvjetima, potječe iz poljoprivrednih tla, najviše iz mineralnih gnojiva. Iako su emisije N_2O općenito relativno male po hektaru, u globalnim razmjerima, zbog velikih poljoprivrednih površina, razorno djeluje na ozonski omotač u stratosferi.



Slika 1. [1] Polimerna ovojnica/premaz za sporije otpuštanje uree; [2] Inhibitori ureaze za blokiranje hidrolize uree; i [3] Inhibitori nitrifikacije za odgađanje oksidacije NH_4^+ u NO_3^- ; N_2O = dušikov oksid

Ureu nije dobro primjenjivati po snijegu ili

smrznutom tlu, jer se tada ne može premjestiti u tlo pa se može očekivati gubitak nakon topljenja snježnog pokrivača, odnosno odmrzavanja tla, najviše površinskim sapiranjem (tzv. *runoff*), [a kad brzo zatopli, ili za toplijih zimskih dana, jedan dio uree može biti hidroliziran uz gubitke amonijskog dušika volatizacijom što je i dokazano istraživanjima](#).

[Tlo nakon konzervacijske obrade s većom količinom žetvenih ostataka po površini](#) također predstavljaju izazov, jer mikroorganizmi mogu biološki imobilizirati dušik, fosfor i sumpor (usvojiti za svoje potrebe) prilikom razgradnje površinskih organskih ostataka. Površinska primjena nepokretnih elemenata ishrane poput fosfora i kalija, koji se u tlu samo neznatno premještaju, rezultira da su ta hraniva „nasukana“ na površini i stoga mnogo teže dostupna korijenju usjeva. Konkurencija korova također je mnogo veća nakon površinske primjene biljnih hraniva, jer plitko ukorijenjeni korovi imaju prednost u usporedbi s usjevima čije sjeme ima dublje pozicioniran korijen.

[Površinska primjena fosfora \(npr. primjena NPK 15:15:15\) se ne preporučuje, osim ako je gnojivo ugrađeno u tlo na dubinu korijena](#). Bez ugradnje u tlo, vodotopiva fosforna gnojiva sklona su površinskom otjecanju, posebno ako se primjenjuju u jesen. Biljke imaju veliku potrebu za fosforom pri razvoju korijenskog sustava pa površinska primjena fosfora tijekom vegetacije s pojavom suše može nanijeti plitko ukorijenjenim

usjevima veliku štetu. Površinska primjena K jednako je loša i neučinkovita kao i fosfora, [jer je kalij relativno nepokretan u tlima zbog adsorpcije i čvrstog vezivanja \(fiksiranja\) u međulamelarnim prostorima gline](#) te se u tlu može kretati samo nekoliko mm. Primjena kalija po površini također može rezultirati time da veći dio kalija "visi" u suhom površinskom sloju. Premda su gubici kod površinske primjene kalija mali za razliku od N i P i nema štetnog utjecaja na okoliš, kloridna (Cl) komponenta kalijevog gnojiva je pokretna i lako se premješta s vodom u tlu. Naravno, površinski primijenjen fosfor i kaliji nisu posve izgubljeni i bit će iskorišteni u sljedećim vegetacijama, odnosno oponašat će svojevrsni produžni efekt, ili gnojidbu na zalihu.

Mikroelementi, posebice bakar (Cu) i cink (Zn) nisu dobri kandidati za površinsku primjenu, jer se lako i čvrsto vežu za adsorptivni kompleks tla i tako zadržani na površini izvan su zone korijena. Bor (B) i Cl su pokretni i infiltrirat će se lako u tlo s padalinama.

[U posljednje vrijeme sve je više istraživanja proteinskog dušika glomalina \(glikoprotein\)](#) koji proizvode [mikorizne gljive](#) tla kao potencijalno boljeg pokazatelja N-mineralizacije. *Glomalin* je izuzetno stabilan protein i smatra se da doprinosi agregaciji čestica tla, a smatra se kao izvrstan izvor ugljika i dušika tla. Međutim, kako se sadašnjim postupkom ekstrakcije glomalina iz tla ekstrahira puno drugih proteina i lipida koje mikroorganizmi tla sintetiziraju iz organske tvari tla, a samo je mali dio glomalin, ideja determiniranja potencijala N-mineralizacije još je u eksperimentalnoj fazi.

[Dakle, vrhunski prinosi uz dobru kakvoću uroda postižu se samo korištenjem kombiniranog učinka i optimiziranjem cjelokupne agrotehnike i prakse upravljanja, pa samo gnojidba, ma kako ona bila važna, nije dovoljna.](#) Također, suvremeni trendovi u strategiji gnojidbe pokušavaju zamijeniti visoko intenzivnu proizvodnju hrane visoko učinkovitim sustavom što zahtijeva poznavanje i uključivanje većeg broja različitih indikatora u određivanju potrebe za gnojidbom, kako u agrotehničkom aspektu, tako i u primjeni gnojiva.

[Znanstveno-stručni temelji utvrđivanja potrebe za gnojidbom vrlo su opsežni i nadasve multidisciplinarni te ih nije moguće sažeti niti jednostavno prikazati. Za bolje razumijevanje tako složene problematike može pomoći autorov popis 50 pravila u knjizi „Filozofija gnojidbe“ za interpretaciju kemijske analize tla i dopunskih informacija neophodnih za utvrđivanje potrebe u gnojidbi ALRxp kalkulatorom](#), pa su dolje navedene tek fundamentalna pravila gnojidbe:

- Pravilna primjena gnojiva (doza, vrijeme i način aplikacije) može značajno povećati prinos usjeva te je potrebno unaprijed znati potrebe usjeva za najveći mogući prinos, [a to se postiže uz najmanje rizika temeljem analize tla](#) (prije osnovne gnojidbe, prije sjetve, za potrebe prihrane i korekciju uočenih problema nakon vizualno pregleda i/ili temeljem folijarne analize).
- Nedovoljna ili prevelika doza gnojiva utječe na profitabilnost biljne proizvodnje. [Suvišna \(luksuzna\) gnojidba povećava trošak proizvodnje i štetno utječe na okoliš, a premala će smanjiti prinos, a time i prihod.](#) Nepotrebno visoka gnojidba, kao i visoka ulaganja u druge agrotehničke zahvate u jednom trenutku više neće rezultirati većim prinosom ili pak profitom.
- Previsoke doze dušika namijenjene povećanju prinosa, npr. pšenice, šećerne repe, vinove loze itd. mogu umanjiti kvalitetu proizvoda, povećati žetveni indeks i produljiti vegetaciju.
- Prije gnojidbe, odnosno kupovine gnojiva [usporedite njihovu formulaciju, sadržaj aktivne tvari, kemijski oblik hraniva \(pogodnost i namjenu za pojedine usjeve, njegovu topivost u tlu, brzinu transformacije i/ili retrogradacije i/ili gubitaka, reakciju na pH tla i dr.\) i cijenu](#) (tzv. strategija 4R). Koncentrirana kompleksna gnojiva, obzirom na veću ukupnu koncentraciju aktivne tvari (max. konc. aktivne tvari NPK ~60 %), mogu biti znatno jeftinija, ali i smanjiti troškove transporta i primjene, no obično sadrže manju količinu sekundarnih i mikro elemenata (npr. kalcija, magnezija i dr.).
- [Premda je inkorporacija gnojiva u trake \(tzv. lokalizirana gnojidba\) općenito najučinkovitija metoda](#), nije uvijek najjeftiniji niti najpogodniji način za primjenu. Unos gnojiva u tlo prema njegovoj površinskoj primjeni agronomski i ekonomski je mnogo efikasniji i ekološki prihvatljiviji način gnojidbe. Naime, primjena gnojiva „*pod brazdu*“ osigurava ravnomjernu raspodjelu hranjivih tvari u *rizosferi* omogućavajući korijenu da rastući dođe u kontakt s gnojivom (korijen raste tijekom cijele vegetacije u potrazi za vodom i hranivima za razliku od nadzemnog dijela biljke).

- [Folijarna primjena gnojiva u obliku spreja ima svoje mjesto](#), naročito elemenata slabe pokretljivosti u biljkama, u visoko profitabilnim biljnim proizvodnjama, posebice u sjemenarstvu, voćarstvu i povrćarstvu. Folijarna gnojidba, zapravo je prihrana jer ne može zadovoljiti ukupne potrebe biljaka u makroelementima. Hraniva je potrebno dodavati u više navrata, a zbog niske koncentracije otopine kojom se biljke prskaju (kako se ne bi izazvale štete od ožeglina i zastoja u rastu), potrebna je vrlo velika količina vode. Također, hraniva mogu biti isprana kišom ili navodnjavanjem.
- [Ne zanemarujte biološki život u tlu \(*biogenost tla*\)](#) jer zdrava populacija mikroorganizama čini dostupnijim više biljnih hranjivih sastojaka. [Vodite računa o pravilnom plodoredu](#), [nemojte spaljivati ili uklanjati žetvene ostatke](#), [uvedite među- i zimske pokrovne usjeve](#), a kad je moguće provedite organsku gnojidbu.
- [Velik broj limitirajućih čimbenika biljne proizvodnje može se ukloniti ili umanjiti kondicioniranjem](#), npr. nizak pH tla kalcizacijom, nizak sadržaj humusa organskom i zelenom gnojidbom, ostavljanjem svih žetvenih ostataka na parceli, konzervacijskom obradom i dr. Održavanje i podizanje plodnosti u višegodišnjem periodu, bez visokih jednokratnih investicija, postižu se visoki i ujednačeni prinosi dobre i/ili izvrsne kakvoće.
- [Precizna poljoprivreda](#) osigurava da se gnojidba na cijeloj proizvodnoj parceli obavi prema analizi tla i očekivanom, realno mogućem prinosu čime se prinosi povećavaju, rizik smanjuje, a profit raste.
- Korovi iscrpljuju vodu i hranjive tvari iz tla pa ih je važno iskorijeniti, a pravilnom obradom omogućuje se unos hraniva u *rizosferu* (zonu korijena) i povećava kapacitet tla za zrak i akumulaciju vode.

U Osijeku, 14. listopada 2020.