

Pouzdanost proračuna N-gnojidbe temeljem prinosa

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

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), vlagom i raspoloživim hranivima u tlu. [Agrotehnikom je moguće, manje ili više, utjecati na sve agroekološke čimbenike biljne proizvodnje, ali to nije često učinkovito, niti isplativo. Praktično, najviše se na povećanje prinosa može djelovati optimizacijom mineralne ishrane, uključujući i navodnjavanje u agroekološkim regijama s manjkom vode.](#) Važno je naglasiti da učinkovita zaštita usjeva utječe na očuvanje prinosa, ali ga ne može povećati. Stoga je „optimizirati ishranu bilja“ najčešće korištena sintagma koja podrazumijeva poznavanje plodnosti tla, a to nije samo razina raspoloživih hraniva u tlu već složen kompleks kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla te njihovih međusobnih interakcija u korelaciji s potrebama biljke tijekom vegetacije. Budući da je nemoguće točno definirati raspoloživost hraniva u tlu, odnosno utvrditi koliko ih je potrebno unijeti u tlo gnojidbom da bi postigli određeni, ciljni prinos, ipak je moguće uz pomoć pokusa (bioloških testova) u poljskim i kontroliranim uvjetima te analizom tla i biljnog materijala dovoljno pouzdano definirati biljne potrebe, kao i razumjeti složen odnos biljaka prema svom prirodnom okruženju.

Svaka pouzdana i suvremena metodologija utvrđivanja potrebe bilja za dušikom, odnosno kreiranje N-gnojidbenih preporuka mora biti usklađena s njegovim prirodnim ciklusom u tlu, ali i strategijom koja će osigurati visok, profitabilni prinos bez primjene suvišnog dušika opasnog za okoliš (vodu i zrak), kao i degradaciju tla. To podrazumijeva poznavanje svih inputa N u tlo, dinamiku i intenzitet N-ciklusa, *potencijal N-mineralizacije* i konačno gubitke učinkovitost N-gnojidbe i njegove gubitke tijekom vegetacije.

U posljednje vrijeme pojavile su se nove spoznaje o pouzdanosti dosadašnje metodologije utvrđivanja N-potrebe biljaka, [obzirom na količinu, intenzitet i usvajanje dušika usjevima](#), kao i [primjenu algoritama temeljenih na prinosu](#). Naime, dobra procjena potencijala N-mineralizacije (*pNmin*) nekog tla vrlo je korisna, ali pouzdanost metodologije često je vrlo upitna, jer na ratu mineralizacije utječe niz *abiotičkih* (kemijska i fizikalna svojstva tla, npr. pH, vlažnost i temperatura tla, raspoloživost elemenata ishrane, vrsta i kemijski sastav organske tvari, njen C/N omjer i dr.) i *biotskih činitelja* (brojnost i vrsta mikroorganizama). Stoga je bilanca dušika (ravnoteža mase) temeljni princip za sve suvremene sustave N-gnojidbe, odnosno moraju biti prepoznati i uvaženi svi izvori (gnojidba, rezidualni N, N-mineralizacija, intenzitet i efikasnost usvajanja pojedinih biljnih vrsta i njihovih kultivara i dr.), gubici i dinamika usvajanja dušika koji su izrazito specifični za različite agroekološke uvjete.

[Najpouzdanija metoda za prepoznavanje navedenih specifičnosti su referentne trake unutar proizvodne parcele](#) (uglavnom jedna bez gnojidbe i jedna s maksimalnom gnojidbom), a često je dovoljno ostaviti nepognojenu površinu od nekoliko ari. Naime, eksperimenti na farmama danas ne predstavljaju poteškoće zbog dostupnosti monitoringa prinosa, GIS-a i automatiziranih senzora za različita istraživanja [te je moguće kreirati „ekonomski optimalnu dozu primjenu dušika](#) (*Economically Optimal Nitrogen Rate; EONR*) kombinacijom podataka o stanju usjeva, statusu hraniva u tlu, prinosu itd. s podacima o lokaciji i vremenskim prilikama. Glavna mana postojećih EONR je što se rezultati procjene primjene N-gnojiva analiziraju nakon žetve, a ne tijekom cijele vegetacije pa zbog nepoznatih budućih vremenskih uvjeta poljoprivrednici uglavnom odabiru N-doza blisku višegodišnjem prosjeku.

[Algoritmi temeljeni na prinosu dominirali su u utvrđivanju N-gnojidbe za kukuruz u SAD gotovo 50 godina](#), a sličan princip korišten je, ili se još uvijek koristi u cijelom svijetu za preporuke N-gnojidbe i ostalih usjeva. Međutim, u posljednjih 25 godina, empirijska istraživanja pokazala su kako pravila N-gnojidbe vezana uz prinos, koje je utemeljio *George Stanford* (1966. i 1973.), općenito nisu korisna, niti pouzdana. *Stanford* je svoje tzv. „pravilo 1,2“ [1] postavio koristeći vrlo malo selektivnih podataka, gotovo u potpunosti bez formalne statistike s namjerom postavljanja općeg „pravila“ koje vrijedi za sva polja, odnosno uvjete uzgoja:

$$N_f(\text{lb acre}^{-1}) = n \times (Y_{\text{goal}}) - N_{\text{credits}} \quad [1]$$

gdje je: N_f doza N u lb per acre (1,12085116 kg/ha); $n = 1,2$; Y_{goal} = ciljni prinost (prema Stanfordu „očekivani dostižni prinost“); N_{credits} = korekcija, odnosno umanjeno N doze ovisno od predkulture (npr. soji, lucerni i dr. mahunarkama).

Na žalost, Stanfordov algoritam za preporuku N -gnojidbe utemeljen je na nedovoljnom broju rezultata prinosa i to samo s američkog jugoistoka (Nebraska) te se primjenjivao masovno u SAD bez ozbiljne provjere između 1970. i 2005. god. U najosnovnijem obliku, izraz [1] primjenjivao se tako da su poljoprivrednici zamoljeni da procijene koliki će prinost zrna kukuruza u bsh/ac (bušeli po akru) biti u idealnim uvjetima, a zatim im je savjetovano da primjenjuju dušično gnojivo u lb/ac (libre ili funte po akru) po stopi 1,2 puta većoj od prinosa zrna. Dakle, ako bi poljoprivrednik procijenio da može postići 10 t/ha kukuruza (148,7 bsh/ac) poslije soje kao predkulture ($N_{\text{kredit}} = 20 - 30 \text{ lb/ac}$), potrebna je N -doza [2]:

$$N_f = 148,7 \times 1,2 - 25 \Rightarrow 153,4 \text{ libri } N \text{ po akru} \times 1,12085 \Rightarrow 172 \text{ kg } N \text{ po ha} \quad [2]$$

Tvrđnja kako su preporuke gnojidbe dušikom utemeljene na prinostu jasne te da su ih poljoprivrednici i poljoprivredni savjetnici percipirali kao sustav bez velikih nedostataka duboko je pogrešna i štetna. Objasniti ću svoj stav citiranjem zaključka iz teksta „[Meta-analiza učinka kontrole plodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije](#)“:

Ukratko, projekt kontrola plodnosti poljoprivrednih resursa OBŽ pod nazivom „*Analiza tla kao temelj gnojidbe i povećanja poljoprivredne proizvodnje*“ zasnovana je na tzv. *Konceptu zemljište*, a provedena je od 2003. do 2015. god. na ukupno 6.219 parcela s 19.077 prosječnih uzoraka tla. Rezultati Projekta jasno ukazuju na aktualne probleme, prije svega na „*gnojidbu napamet*“, heterogenost poljoprivrednih površina veoma različite efektivne plodnosti, primjenu neprimjerene i anakrone agrotehnike i na neprilagođenu poljoprivrednu praksu suvremenim agrološkim, sociološko-ekonomskim i tehničko-tehnološkim aspektima biljne proizvodnje.

Smatram da je najveći doprinos projekta Kontrole plodnosti tla OBŽ u:

- 1) Uvođenju inženjerskog pristupa biljnoj proizvodnji kroz utvrđivanje, kvantificiranje i razumijevanje svih relevantnih činitelja biljne proizvodnje kao što su:
 - a) poznavanje produktivnog kapaciteta tla i usuglašavanje gnojidbe sa statusom hraniva u tlu te potrebama biljaka (ukupna i dinamička potreba),
 - b) usuglašavanje biljne proizvodnje s činiteljima bioloških, agroloških i ekonomskih ograničenja (limita) u primarnoj organskoj produkciji,
 - c) utvrđivanje potrebe za popravkama tla, prvenstveno potreba kalcizacije, što je evidentno riješilo ekološki problem nagomilavanja saturacijskog mulja u sve tri šećerane RH (tzv. karbokalk) i
- 2) Edukaciji poljoprivrednih proizvođača te njihovom boljem razumijevanju problema suvremene biljne proizvodnje i potrebe zaštite i očuvanja zemljišnih resursa.

[Bez kemijske analize tla, a to je danas u RH najčešći i gotovo potpuno šablonizirani i stoga najštetniji mogući pristup utvrđivanju potrebe za N-gnojidbom usjeva. Na žalost šablone o potrebi gnojidbe još uvijek su česte u agronomskim priručnicima i udžbenicima iz biljne proizvodnje pa su takve preporuke najčešći način savjetovanja poljoprivrednika, posebice kod proizvođača i dobavljača mineralnih i organskih gnojiva.](#) Gnojidbene i tehnološke preporuke u vidu opće važećih receptura posve su pogrešan pristup. Naime, utjecaj gnojidbe [na povećanje prinosa prosječno iznosi 50-ak %](#), a gnojidba sudjeluje u ukupnim troškovima biljne proizvodnje s prosječno 40%.

[U biljnoj proizvodnji ne smije biti šablona \(receptura\) nerijetko preuzetih iz posve različitih agroekoloških i ekonomskih okruženja](#), a strategija i planiranje cjelokupne agrotehnike, uključujući gnojidbu i zaštitu usjeva, mora biti podređena profitu, zatim agrotehničkim i agroekološkim uvjetima. Realno, svaka poljoprivredna parcela jedinstvena je i različita od drugih, bilo susjednih ili šire, jer bez obzira na slične klimatske i zemljišne uvjete izvor varijacije može biti veoma različit, a najčešće je posljedica povijesti njezine eksploatacije (npr. različita predkultura, prethodni prinosti, gnojidba, zaštita, obrada i sl.). Tla su općenito vrlo heterogeno po svojim morfološkim, fizikalnim i kemijskim svojstvima, pa čak i onda kad naoko izgledaju homogeno (po boji, nagibu i dr.). Stoga je važno istaći da je za profitabilnu biljnu proizvodnju neophodno imati dobru ekonomsku

teoriju, veliki broj visokokvalitetnih eksperimenata u poljskim (proizvodnim) i u kontroliranim uvjetima, dakle velik broj relevantnih podataka o tlu, klimi, kultivarima, odgovarajuće statističke i geostatističke tehnike, ali i provjerenu i učinkovitu agrotehniku te stručne i dobro educirane istraživače i proizvođače. To je put za optimizaciju biljne proizvodnje kroz adekvatne gnojdbene i tehnološko-proizvodne preporuke specifične za pojedina poljoprivredna gospodarstva i lokacije i pravi put za povećanje dobiti proizvođača uz manje štete po okoliš i gubitak hranjivih tvari zbog prekomjerne upotrebe agrokemikalija.

Za potrebe izrade gnojdbenih preporuka usjeva još uvijek se koristi velik broj kemijskih analitičkih metoda i tehnika, od kojih se neke mogu smatrati standardne, ne zato što su najbolje, ili propisane, već zato što se koriste dugi niz godina, za njih postoje provjerene granične vrijednosti (razredi opskrbljenosti, na žalost ne za cijeli teritorij HR), a proizvođači znaju protumačiti i primijeniti njihove rezultate itd.

Pri izboru analitičke metode treba uvažiti činjenicu kako je svaka metoda dobra ako uz nju postoji razrađeni sustav interpretacije dobivenih vrijednosti, jer se tako potpuno ili djelomično isključuje subjektivna procjena i proizvoljnost te uvodi sustav u utvrđivanju potreba za gnojidbom analizom intenziteta pojedinih indikatora efektivne plodnosti tla. Klasične analitičkih metoda za interpretaciju rezultata, kao što je AL-metoda, koriste tablice graničnih vrijednosti i korekcijske faktore, oboje orijentacijskog značenja, jer bioraspodjelivost hraniva nije statička vrijednost i ovisi o nizu čimbenika (biološki, fizikalni, hidrološki, agrotehnički i dr.). Premda se AL-metoda temelji na konceptu ciljnog prinosa (Targetted yield concept) i količini pojedinih elemenata ishrane koji biljke moraju usvojiti za postizanje planiranog/očekivanog prinosa, uključujući i pripadajući dio žetvenih ostataka, bitno se razlikuje se od *Stanfordovog* pristupa proračuna gnojidbe [1], jer je za AL-metodu neophodna kemijska analiza tla, kao i kalibrirane granične vrijednosti za određeno agroekološko područje, kao i aktualni sortiment. Budući da se uz AL-P₂O₅ i AL-K₂O redovito obavlja i analiza pH i humusa, moguće je okvirno procijeniti (slično utvrđivanju *N credits* [1]) okvirnu N-raspodjelivost temeljem potencijala N-mineralizacije. Međutim, uvažavajući izrazito varijabilan N-status u tlu, N-gnojidba, posebice N-prihrana, je znatno pouzdanija uz N_{min} metodu, folijarnu analizu, ili procjenu nekom od beskontaktnih metoda.

Za potrebe kontrole plodnosti Osječko-baranjske županije (2003.-2015. god.) autor ovog teksta prilagodio je

vlastite algoritme proračuna potrebe u gnojdbi i kreirao

kompleksan računalni program za obradu velikog broja ulaznih podataka, indikatora plodnosti tla, ali i niza drugih relevantnih parametara biljne proizvodnje i kreiranje tehnoloških i gnojdbenih preporuka koje su zatim analizirane GIS alatima i prikazane na agrokemijskim kartama. Također, proces kompjutoriziranog procesa izračuna potrebe u gnojdbi obuhvaća znatno više dopunskih indikatora o tlu, usjevu, agrotehnici i klimi, a kod potrebe hraniva uzima u obzir "dinamičko iznošenje/potrebu hraniva" (veću učinkovitost korištenja hraniva kod visoke razine agrotehnike, priming i humat efekt, genetska svojstva i visoku fiziološku adaptabilnost modernih kultivara i dr.).

Proračun potrebe u gnojdbi koristi tzv. funkcijski model u kojem su *relativne težine* indikatora plodnosti predstavljene *nelinearnim skor funkcijama*, a njihov ukupni značaj, odnosno *relativna pogodnost zemljišta za usjeve* je vrijednost izvedena pomoću Liebscherovog "zakona optimuma":

$$\text{Relativna pogodnost \%} = \frac{\sum_{i=1}^n (I - I_{min})}{(n - 1)} \times \frac{I_{min}}{100} \quad [3]$$

Tablica 1. Usporedba linearnog i dinamičkog iznošenja hraniva

Prosječan ciljni prinos									
Usjev	Linearno iznošenje			Prinos t/ha			Dinamičko iznošenje		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	min.	max.	Očekivan	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pšenica ozima	27,5	14,0	17,5	4,0	9,5	6,0	26,6	13,6	17,0
Kukuruz	25,0	12,0	20,0	5,0	15,0	8,0	24,8	11,9	19,8
Šećerna repa	4,0	1,5	5,5	40,0	90,0	60,0	3,8	1,4	5,2
Visoki ciljni prinos									
Usjev	Linearno iznošenje			Prinos t/ha			Dinamičko iznošenje		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	min.	max.	Očekivan	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pšenica ozima	27,5	14,0	17,5	4,0	9,5	8,0	19,5	10,1	12,6
Kukuruz	25,0	12,0	20,0	5,0	15,0	12,0	19,0	9,1	15,2
Šećerna repa	4,0	1,5	5,5	40,0	90,0	80,0	2,6	1,0	3,6

Ne ulazeći u detalje, suština [dinamičko iznošenje, odnosno varijabilna potreba hraniva za postizanje iste visine prinosa u različitim agroekološkim i tehničko-tehnološkim uvjetima, ali samo kod visoke razine agrotehnike](#) je nelinearna funkcija (Tablica 1.). Prvo se računa potreba hraniva za očekivanu visinu prinosa zrna koja je determinirana relativnom pogodnosti tla [3], a onda se složenim pravilom trojnim koje uzima u obzir očekivanu, minimalnu i maksimalno moguću visinu prinosa utvrdi potreba hraniva koja u najnepovoljnijim uvjetima uzgoja (za ozimu pšenicu to je očekivana visina prinosa od 4,0 t/ha) iznosi 100% potrebe dušika (27,5 kg N po toni prinosa), a u slučaju najvećeg mogućeg prinosa za $\frac{1}{3}$ manje, odnosno 65% (17,9 kg N po toni prinosa; Tablica 1.).

Tijekom povijesti ishrane bilja bilo je niz pokušaja da se prirodni zakoni praktično primjene u biljnoj proizvodnji. Npr. [vrlo je zanimljiva integracija Liebig-ovog zakona minimuma, Liebscher zakona optimuma, Mitscherlich-ovog zakona opadajućeg porasta prinosa i Michaelis-Menten-ove dinamike enzimatskih procesa](#) [4], što je i bio motiv uključivanja dinamičke potrebe za hranivima u proračun gnojidbe. Međutim, [za objašnjenje rasta i tvorbe prinosa biljaka predloženo je niz matematičkih modela, "zakona"](#), čiji je značaj prije svega statistički, jer vrijede upravo onoliko koliko se precizno može utvrditi djelovanje nekog čimbenika rasta, odnosno prinosa, ali samo u određenim uvjetima.

U Osijeku, 13. lipnja 2020. god.