

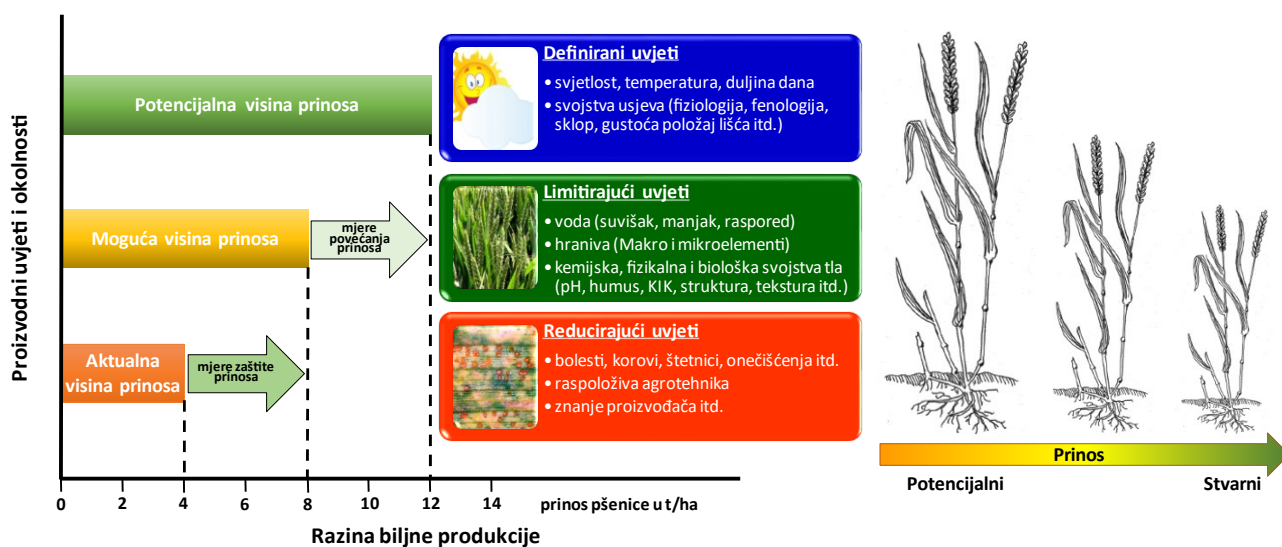
# Očekivana visina prinosa i optimizacija gnojidbe

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

"Sjemenke su motor Zelene revolucije, ali gnojiva su gorivo" (Norman Ernest Borlaug, američki agronom, otac Zelene revolucije i dobitnik Nobelove nagrade za mir 1970.).

Dovoljno hrane za rastuću svjetsku populaciju zahtijeva intenziviranje primarne organske proizvodnje primjenom inovativnih tehnologija na raspoloživom poljoprivrednom zemljištu, a to se ne može ostvariti bez učinkovitije gnojidbe. Trenutno, najveći izazov moderne biljne proizvodnje je kako pomiriti produktivnost (efektivna plodnost) i profitabilnost (isplativost) vodeći računa o održivosti i očuvanju okoliša bez onečišćenja i devastacije. Naime, visina prinosa, kao i prehrambena kakvoća hrane, veoma su složena svojstva koja ovise o velikom broju biotskih (genetska svojstva vrste i kultivara) i abiotskih faktora (agroekološki uvjeti, npr. raspoloživost vode i hraniva, kemijsko-fizikalna svo) i njihove složene interakcije.

Predviđanje potrebe u gnojidbi mijenjalo se i usklađivalo sa novim znanstvenim spoznajama, ali najčešće se još uvijek temelji na konceptu ciljnog prinosa i to prije sjetve. Najnovija istraživanja u SAD pokazuju kako je koncept predviđanja ciljnog prinosa za žitarice nepouzdan zbog nepredvidivog utjecaja vremenskih prilika, osobita količine kiše. Navedeno istraživanje sugerira kako je bolji pristup za predviđanje potencijalnog prinosa tijekom vegetacijske sezone korištenje aktivnih senzora. Naime, potencijalni (teoretski prinos) označava najviši prinos koji se može postići u određenoj agroekološkoj zoni s određenim kultivarom, dostižan (ostvarljiv) prinos uvijek je niži zbog niza ograničavajućih faktora (npr. manjak ili suvišak vode i/ili hraniva, kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla i dr.), dok je stvarni (aktualni ili poljoprivredni prinos) još niži zbog ograničenja poput tipa proizvodnje, neadekvatne i ne pravovremene primjene agrotehnike (npr., agrotehnički rokovi, kvaliteta obrade, pripreme tla i sjetve, pravovremena gnojidba, pojava korova, bolesti, štetočina i zagađivača i dr.; Slika 1.).



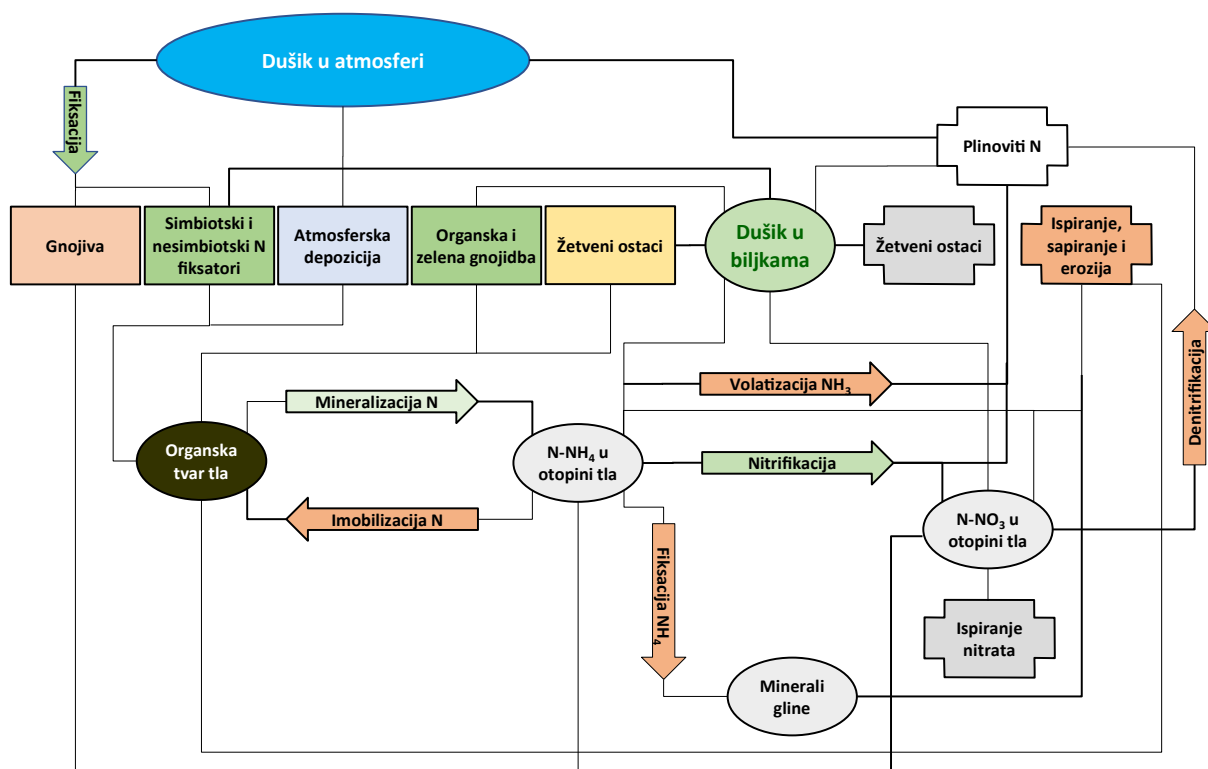
Slika 1. Kako agroekološki uvjeti djeluju na ograničenje prinosa u biljnoj proizvodnji

Tlo sadrži vrlo veliku količinu tzv. rezervnih hraniva (hranjive tvari tla vezane organskim ili anorganskim vezama koje ne dozvoljavaju njihovo usvajanje u tom obliku, a čine  $\geq 98\%$  ukupnih hraniva tla) pa je njihova bioraspoloživost zapravo potencijalnog karaktera te ona moraju prethodno proći kroz proces *mobilizacije*, odnosno transformacije u pristupačne oblike. Potrebno je naglasiti kako je *mobilizacija hraniva* (transformacija od rezervnih i slabo pokretnih hraniva do oblika koje korijenov sustav može usvojiti) višestruko sporiji od procesa *imobilizacije* (transformacija vodotopljivih i izmjenjivo vezanih hraniva do njihovih rezervnih oblika). Budući da transformacija dušika snažno ovisi o vremenskim uvjetima i svojstvima tla, prije svega biogenosti, određivanje N-doze, oblika hraniva, vremena i načina primjene nije niti malo jednostavno, a često je i nedovoljno pouzdano pa su pogreške i gubici dušika česti, a njegova učinkovitost znatno smanjena.

Istraživanja u SAD pomoću  $^{15}\text{N}$  pokazala su kako se samo dio dušika usvoji iz gnojiva (35-75%, a samo 13-45% nalazi se u zrnu kukuruza) što znači da od prosječno primijenjene doze  $168 \text{ kg N ha}^{-1}$  može biti

izgubljeno 40-108 kg N ha<sup>-1</sup> te itekako zagađivati vodu i atmosferu. Budući je varijabilnost svojstava tla često velika, pa čak i na malim udaljenostima pa su optimalne agronomske i ekonomske N-dozе varijabilne po vegetacijskim sezonama, ali i dijelovima parcele. To jako komplicira predviđanje raspoloživosti dušika temeljem mineralizacije organskih rezervi tla (Slika 2.), kao i rezidualnog dušika (zaostalog iz prethodne vegetacije), naravno umanjenog za iznos gubitaka.

Nemogućnost pouzdanog predviđanja vremenskih, kao i drugih događaja tijekom vegetacije, ima najčešće za posljedicu razliku između ciljnog (očekivanog) i ostvarenog prinosa pa preporuka gnojidbe može često biti posve promašena. Naravno, proizvođači su itekako svjesni „dobrih“ i „loših“ godina pa najčešće ciljni prinos planiraju 10 - 20 % pa i više u odnosu na prosječni prinos za posljednji 5 ili 7 godina.



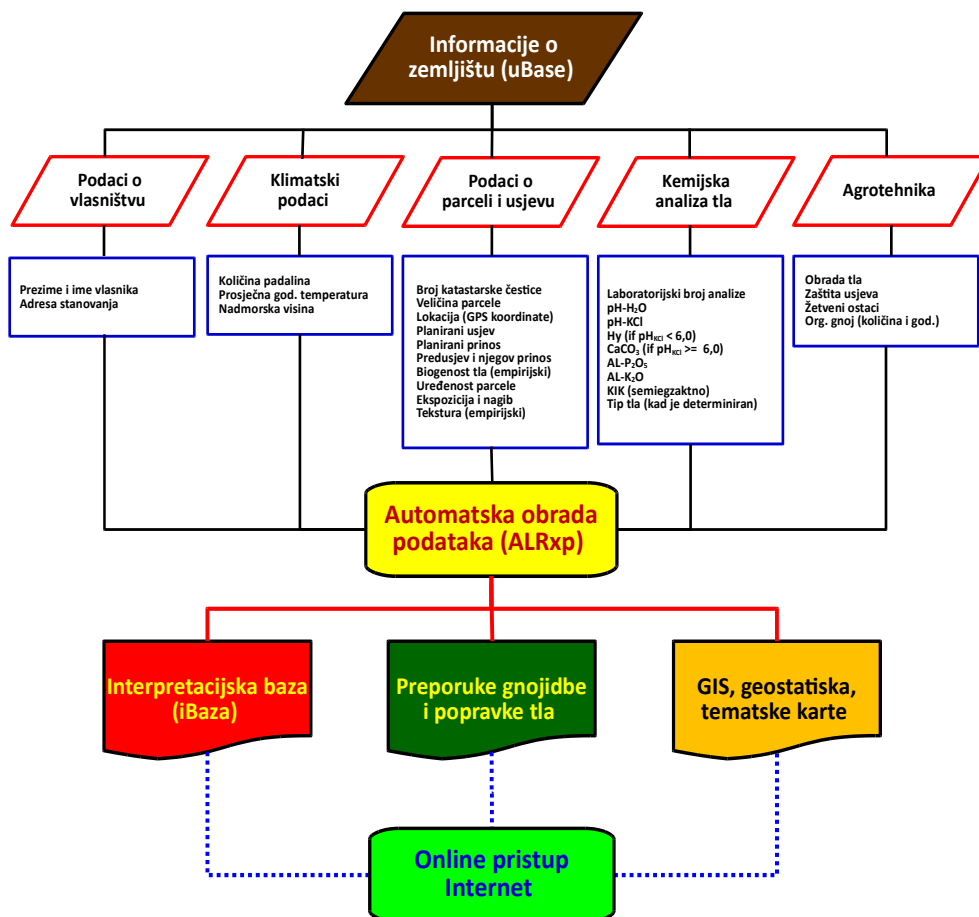
Slika 2. Prikaz N-ciklusa na razini parcele

Utvrđivanje potrebe u N-gnojidbi utemeljeno na prinosu dominiralo je posljednjih 50-ak godina i još uvijek je najčešća i najjednostavnija metodologija koja se koristi u cijelom svijetu, kako za dušik, tako i za gnojidbu fosforom i kalijem. Istraživanjima unazad 25 god. dokazano je kako pravila N-gnojidbe vezana uz prinos nisu korisna, niti pouzdana. Naime, Georg Stanford je svoje, tzv. „pravilo 1,2“ postavio koristeći vrlo malo selektivnih podataka i to samo s američkog jugoistoka (Nebraska), gotovo u potpunosti bez formalne statistike, a s namjerom postavljanja „općeg pravila“ koje vrijedi za sva polja, odnosno uvjete uzgoja. Otuda još uvijek široko uvriježeni stav kako su preporuke gnojidbe dušikom utemeljene na prinosu jasne i bez ozbiljnih nedostataka, što je zapravo posve pogrešno i štetno.

Korekcijom potrebe u dušiku može se znatno optimizirati količina N u prihrani i to na više načina, npr.: utvrđivanjem količine raspoložive vode u profilu do 1,5 m dubine, boljim predviđanjem oborina tijekom vegetacije, uzimanjem u obzir agronomske (ili fiziološke) efikasnosti N-gnojidbe, raspoloživosti N-NO<sub>3</sub> u zoni korijena (N<sub>min</sub> metoda), mjeranjem koncentracija klorofila i primjena NDVI (normalized difference vegetation index), RI (response index ili sezonska N-procijena) i dr.

Optimizacija gnojidbe podrazumijeva smanjivanje, ali i povećanje gnojidbe kad je to agronomski i ekonomski učinkovito, a ekološki ne predstavlja rizik za okoliš, premda je ograničavanje gnojdbene doze, naročito za dušik, najvažnije za očuvanje okoliša, pri čemu neprikladne metode utvrđivanja potrebe za gnojidbom, kao i loše vrijeme, pojačavaju rizik od gubitka N. Navedeni razlozi koji utječu na točnost procjene optimalne N-dozе samo ističu hitnu potrebu za poboljšanje N-gnojidbe te su u prethodno citiranoj studiji analizirana tri dugotrajna pokusa (koja su provedena >40 god.). Ukratko, rezultati istraživanja nisu podržali koncept kako je prosječni prinos u prethodnih 3 do 5 godina dobra strategija za određivanje dušične gnojidbe. Rezultati su

bili bolji kad se umjesto ciljnog prinosa koriste senzorski podaci tijekom vegetacijske sezone, bilo da su senzori postavljeni unutar usjeva (na biljkama ili tlu, ili unutar tla) i prate vremenske, zemljišne i biljne pokazatelje potrebe u gnojidbi, ili su to aktivni senzori postavljeni na traktoru ili dronu, npr. klorofilometri (tzv. N-senzori) i drugi senzori koji prate boju i/ili refleksiju svjetlosti usjeva (npr. NDVI i iz njega izvedeni drugi indeksi kao što su SVI, CSWI, CCCI, RI i dr.). Npr., metodologija primjene aktivnih senzora refleksije usjeva, koja je već 10-ak godina komercijalno dostupna, omogućuje danonoćno praćenje potrebe u dušiku, a njena primjena utjecala je značajno na povećanu dobit proizvođačima pšenice i kukuruza.



Slika 3. Shematski prikaz modela kontrole plodnosti Osječko-baranjske županije

Primjenu N-senzora za N-prihranu, premda se sve češće primjenjuju, treba kombinirati s podacima senzora analize tla jer izgled usjeva (uzrast, sklop, LAi i dr.) usjeva korespondira s prethodnom raspoloživosti dušika, a u trenutku utvrđivanja potrebe za dušikom njega u tlu ne mora biti dovoljno za dalji očekivano dobar rast i razvoj usjeva. Mineralni oblici dušika u tlu mogu biti usvojeni (mikroorganizmima, korovima ili usjevom), premješteni vodom u dublje slojeve tla izvan dohvata korijena ili posve izgubljeni (isprani do razine podzemne vode, saprani (tzv. runoff, sapiranje odnosno premještanje površinom, naročito na nagibima), amonijski oblik (N-NH<sub>4</sub>) mogu fiksirati glineni minerali ili pri višim pH može „ispariti“ (volatizacija), dok se nitrani dušik (N-NO<sub>3</sub>) pri niskim pH vrijednostima može izgubiti denitrifikacijom.

Zbog brze promjene koncentracije mineralnih oblika dušika, niske agronomske efikasnosti fosfora (P-retrogradacija) u tlu i fizičke fiksacije kalija (K-fiksacija), redukciju gnojidbe moguće je uspješno primijeniti pod pretpostavkom da je raspoloživa količina hraniva u tlu jedini faktor koji utječe na visinu prinosa te je poznata očekivana visina prinosa temeljem poljskih testova i prethodno ostvarenih prinosa. Također, proizvođač mora biti siguran da prinos neće značajno pasti bez primjene fosfora i/ili kalija. Međutim, i kad nema podataka o padu visine prinosa pri reduciranoj ili izostavljenoj gnojidbi, ipak je moguće izraditi konzervativnu procjenu temeljem očekivane visine prinosa uz preporučenu gnojidbu i poznatu visinu prinosa bez gnojidbe za što je potreban egzaktno podatak dobiven bez gnojidbe manje površine, npr. primjena tzv. referentnih traka (najčešće jedna bez gnojidbe i jedna s maksimalnom gnojidbom).

U RH se već više od 30 god. koristi pouzdana N<sub>min</sub> metoda za potrebe N-prihrane usjeva čiji rezultati upućuju na trenutnu količinu raspoloživog (mineralnog) dušika u tlu, a jedini ozbiljan prigovor toj metodi je sporo i

otežano uzimanje uzoraka u zimskim i vlažnim uvjetima. [Naravno, danas je moguće postaviti senzore u tlo za mjerenje koncentracije mineralnog dušika \( \$NH\_4^+\$  i  \$NO\_3^-\$ \) i izbjeći sondiranje smrznutog ili suviše vlažnog tla, a utvrđivanje mineralnog dušika u vodenom ekstraktu tla lako se provodi i izvan agrokemijskih laboratorija, tzv. brzim testovima.](#) Zbog dokazane pouzdanost  $N_{min}$  metode vrlo brzo su napuštene druge, manje pouzdane, spore i/ili skupe metode za utvrđivanje potrebe biljaka za dušikom, kao što su inkubacijske metode, vegetacijske metode u posudama i dr. [Osim toga, vrijeme uzimanja uzoraka tla i proračun potrebe u N-prihrani usjeva prema  \$N\_{min}\$  metodi ima jasan i definiran protokol, kako za ozime, tako i za jare usjeve.](#)

Pažljivi čitatelj ovog teksta sigurno primjećuje kako propagiram ideju nove metodologije kreiranja gnojidbenih preporuka koja se ne temelji na ciljnom prinosu, a koristim je u svojim proračunima potrebe u gnojidbi, npr. [ALR kalkulator](#). To je točno, ali moram istaći, premda se *koncept ciljnog prinosa*, kako se provodi u RH, temelji na svega 5 - 6 podataka analize tla ([Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta; NN47/2019](#)) što uz zastarjele podatke o iznošenju hraniva pojedinih kultivara koji već odavno nisu u proizvodnji, jednako kao i neprovjerenu agronomsku efikasnosti N, P i K iz mineralnih gnojiva. Česta kalibracija svake kemijske ekstraktivne metode egzaktnim poljskim neophodno je za standardizaciju gnojidbe jer omogućuje kreiranja gnojidbenih preporuka koje će dovoljno dobro korespondirati s ostvarenim prinosom novih kultivara, klimatskim i drugim promjenama.

[Također, već se dulje vrije zalažem da se metodologija izrade gnojidbenih preporuka osuvremeni prikupljanjem i kompjutorskom analizom mnogo većeg broja indikatora plodnosti, uključujući i dopunske zemljišne, biljne, klimatske i agrotehničke pokazatelje](#) te je funkcijsko-računalni model *Kontrole plodnosti zemljišnih resursa* prvi put u RH pokrenut 2002. god za potrebe Sladorane iz Županje, a [od 2003.-2015 god. provode se na području OBŽ](#) (za usjeve, kao i poseban računalni program za nasade) na istom, ali neprestano unapređivanom modelu, a kasnije i na području Podravine i Međimurja.

Proračun gnojidbe za usjeve [prema navedenom funkcijsko-računalnom modelu \( \$ALR\_{xp}\$ \) modelu obuhvaća pet grupa ulaznih podataka](#) (Slika 3.), odnosno vlasništvo, klima, podaci o parceli i usjevu, kemijska analiza tla i agrotehnika, ukupno 31 ulazni podatak, tzv uBaza. Originalni, vlastiti računalno-funkcijski model za usjeve (ne koristi granične vrijednosti već tzv. skor funkcije) procjenjuje relativni pogodnosti tla za usjeve, potrebe za kalcijem i drugim popravcima tla te kreira gnojidbene preporuka za konkretnu parcelu i usjev u konvencionalnoj, integriranoj ili ekološkoj proizvodnji, uključujući i gnojidbu najvažnijih usjeva u narednih 3-5 godina (do slijedeće kontrole plodnosti tla). Kompjutorsko kreiranje gnojidbenih preporuka za usjeve, premda ulazni podaci sadrže ciljni prinos, [koristi pogodnost tla kojom se korigira ciljni \(planirani\) prinos u očekivani i koji se može veoma značajno razlikovati](#), a obavlja se trenutno za 56 usjeva, obuhvaća 57 predusjeva (uključujući i ugar) i koristi više formulacija mineralnih i vrsta organskih gnojiva. [Konačno, podaci i informacije iz računalne obrade analiziraju se i vizualiziraju GIS alatima te prikazuju na tematskim agrokemijskim, proizvodnim, pedološkim i dr. kartama.](#)

Podaci o plodnosti tla i njegovim produktivnim svojstvima, uključujući limitirajuće *abiotske (klimatski, edafski i orografski)*, kao i *biotske* (biljne ili unutarnje) faktore, još uvijek su veoma ograničeni i nedostupni u RH, ali i u mnogim razvijenim zemljama. Budući da efikasna primjena svih relevantnih podataka u biljnoj proizvodnji mora pored *agrolškog* (tlo, klima, biljka i agrotehnika), uključiti i *sociološko-ekonomske* i *tehničko-tehnološke aspekte*, [neophodno je uspostaviti učinkovit sustav kontrole plodnosti tla](#). Stoga bi bilo od velike koristi da se u RH razmotri uspostavljanje organiziranog sustava/mreže s više punktova za prikupljanje podataka u centralnu zemljišnu bazu, a analiza tla i biljaka mora biti osmišljena tako da omogućuje automatizaciju, kao i brzu te pouzdanu identifikaciju kritičnih točaka u biljnoj proizvodnji, mora uključivati *daljinske dijagnostičke metode* analize poljoprivrednog zemljišta (npr. sateliti, dronovi, senzorska detekcija u realnom vremenu potrebe za N-prihranom, navodnjavanjem zaštitom usjeva itd.). Zatim, neophodno je hitno definiranje kritične razine biogenih elemenata u tlu i biljkama tijekom vegetacije, kao i njihovu povezanost s agronomskim i biološkim prinosom uz pomoć mreže kalibracijskih poljskih pokusa, [jer samo temeljem tih podataka moguće je kreirati pouzdanu gnojidbenu i agrotehničku preporuku.](#)

[Čovjek, odnosno njegovo znanje i sposobnost, su jedino ograničenje u stvaranju i uporabi informacija što predstavlja jak izazov njegovim stvaralačkim mogućnostima.](#)