

# Racionalna i učinkovita gnojidba dušikom

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

## Uvod

Dušik je neophodan (esencijalni) kemijski element ishrane bilja ključan za rast, reprodukciju i tvorbu prinosa svih biljaka. Većina biljaka, osobito usjevi, reagiraju na njegovu veću raspoloživost te se dušik, u odnosu na sve ostale biogene elemente, najčešće i najviše primjenjuje gnojidbom u biljnoj proizvodnji. Većina tala sadrži vrlo veliku količinu nepristupačnih hraniva (tzv. *rezervna hraniva*), a njihova transformacija u *raspoloživa*, koje biljke mogu usvojiti veoma je promjenjiva. Kako transformacija dušika iz organske tvari tla (humusa, žetvenih ostataka, mikrobiološke mase i dr.) snažno ovisi o vremenskim uvjetima, biogenosti, odnosno populacije mikroorganizama razarača organske tvari i mobilizatora inaktivnih hraniva i drugim fizikalno-kemijskim svojstvima tla, određivanje N-doze, oblika hraniva, vremena i načina primjene nije jednostavno, a često je i nedovoljno pouzdano pa su pogreške i gubici dušika česti, a njegova učinkovitost smanjena.

Dušik je ključan za postizanje visokih prinosa usjeva, ali neadekvatna i suvišna količina N rezultira u pravilu njegovom niskom efikasnosti uz velike gubitke iz tla. Zbog toga je racionalna gnojidba ključni faktor održivosti poljoprivrednih sustava jer neadekvatna i suvišna uporaba dušika u biljnoj proizvodnji može ugroziti visinu prinosa, njegov kvalitet, ali pri tome zbog velikih gubitaka dušika iz tla može prouzročiti štetu okolišu, tlu i zdravlju ljudi. Npr. koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) veća od  $50 \text{ mg L}^{-1}$  (što odgovara  $10 \text{ mg N}$  po litri pitke vode) opasna je zbog redukcije do nitrita ( $\text{NO}_2^-$ ) koji izazivaju rak probavnog sustava, rak želuca.

Problem veće efikasnosti gnojidbe dušikom uz prihvatljiv rizik po biljke, okoliš i ljude dugo je već u fokusu ogromnog broja istraživanja što je rezultiralo poljoprivrednim praksama i sustavima proizvodnje koje se pokušavaju udaljiti od *intenzivne* (često nazivane *industrijskom* ili *konvencionalnom poljoprivredom*) kao što su integrirana, ekološka, tradicionalna ili ekstenzivna poljoprivreda. Visoka ulaganja i uloženi rad u intenzivnoj poljoprivredi teoretski rezultiraju manjom potrebom za poljoprivrednim površinama za sličan profit ostvaren na ekstenzivan način, ali na značajno većim površinama. Povećana produktivnost u intenzivnoj poljoprivredi omogućuje korištenje relativno manje proizvodne površine u neposrednoj blizini tržišta gdje je najčešće zemljišna vrijednost visoka u odnosu na uloženi rad i kapital. Međutim, u praksi veća učinkovitost intenzivne poljoprivrede ima za posljedicu korištenje velikih poljoprivrednih površina kako bi se isplatile kapitalne investicije, posebice eksploatacija strojeva.

Budući da intenzivna biljna proizvodnja ima sve odlike industrijske proizvodnje (primjena mehanizacije, prirodnih i sintetskih preparata kao što su gnojiva, pesticidi, aditivi, proizvodnja na velikim površinama i dr.), česte su negativne nuspojave kao što su prekomjerno onečišćenje i devastacija prirodnog okoliša što opravdano izaziva nezadovoljstvo potrošača i gubitak povjerenja u kakvoću i zdravstvenu ispravnost hrane. Zbog toga se poljoprivreda ubrzano transformira u modernu, suvremenu proizvodnju hrane koja se značajno razlikuje od tradicionalnih sustava proizvodnje jer se koriste nove tehnologije, ali i svi dostupni podaci o tlu, usjevu, klimi, agrotehnici i tržištu. Otuda uspjeh modernih poljoprivrednih sustava ovisi o povećanju i/ili održavanju plodnosti tla, učinkovitosti mehanizacije i cjelokupne agrotehnike (zaštita, navodnjavanje, plodosmjena, skladištenje i dr.), suvremenog sortimenta (kao i genetike u stočarst. Sve to nije moguće bez visoko sofisticiranog sustava i znanja, novih ulaganja kroz učinkovite financijske i komercijalne sustave i povezanost proizvođača s i krajnjim potrošačima hrane.

Moderna agrikultura ima nasušnu potrebu neprestanog obrazovanja proizvođača, primjenu agroekoloških principa i razvoj tehnologije zbog iznalaženja racionalnijih, ekološki prihvatljivijih i profitabilnijih načina proizvodnje hrane i premda se održiva poljoprivreda (Sustainable Agriculture; Land Use Sustainability ili LUS)

prakticira već desetljećima tek od nedavno se šire koristi kao ekonomski, društveno i politički važan cilj u proizvodnji hrane. Takva poljoprivredna proizvodnja podrazumijeva sustav koji kontinuirano održava svoju produktivnost, koji mora biti štedljiv, društveno podržan, komercijalno konkurentan i ekološki prihvatljiv kako bi se osigurala ljudske potrebe očuvanjem plodnosti tla sada i u budućnosti, [a kako je učinkovita primjena dušika u biljnoj proizvodnji važna i zbog ubrzanih klimatskih](#) promjena zaslužuje ne samo pažnju, nego i vrlo brzu i učinkovitu akciju.

## Suvremena gnojidba

[Potreba za što više hrane čest je uzrok antropogene degradacije poljoprivrednog zemljišta](#) (gubitak organske tvari, zakiseljavanje, erozija vodom i vjetrom, fizička, kemijska i biološka degradacija, zasljanjivanje i dr.) i na taj izazov sadašnjice potrebno je znati odgovoriti, pravovremeno i učinkovito. Suvremena poljoprivreda mora zadovoljiti više, često proturječnih ciljeva, jer najbolji uvjeti za rast biljaka i tvorbu prinosa često utječu na onečišćenja okoliša, gubitak plodnosti, pojačanu eroziju i konačno ubranu degradacije tla. *Degradacija* (upropaštavanje) tla, povijesno i civilizacijski je vrlo stara pojava, jednako kao i mjere koje su korištene za očuvanje tla.

S razvojem i korištenjem novih tehnologija i inovacija u proizvodnji hrane (npr. daljinska istraživanja i analiza vegetacije satelitima, dronovima, primjena senzorske tehnologije i dr.), [poljoprivredna proizvodnja ubrzano se mijenja što je rezultiralo primjenom novih pristupa](#), npr. *precizna poljoprivreda* (precizna agrikultura; tehnologija upravljanja poljoprivredom koja promatra, mjeri i analizira potrebe pojedinih polja i usjeva), *pametna poljoprivreda* (primjena informacijskih i podatkovnih tehnologija za optimiziranje složenih poljoprivrednih sustava) i *digitalna poljoprivreda* (evolucijski iskorak koji koristi i primjenjuje podatke obrađene pomoću umjetne inteligencije).

Suvremena gnojidba je ujedno učinkovita, isplativa i ekološki prihvatljiva i ne može se zamisliti bez stručnog znanja proizvođača, relevantnih podataka, moderne agrrotehnike te analize tla, odnosno dijagnostike za utvrđivanje biljnih potreba za hranivima, definiranje potencijalne plodnosti i moguće visine prinosa za svaki konkretni slučaj i utvrđivanje pogodnosti za određenu uporabu poljoprivrednog zemljišta, isključivo mjerenjem (*kvantifikacijom*) pojedinih indikatora produktivnosti tla. Samo gnojidba, ma kako ona bila važna, nije dovoljna za dobivanje visokih prinosa dobre kakvoće te je [važno naglasiti da se vrhunski prinosi, visok profit i dobra kakvoća uroda postižu samo korištenjem kombiniranog učinka, odnosno optimiziranjem cjelokupne agrrotehnike i prakse upravljanja](#).

Budući da sam isključivo znanstvenik, ekspert za ishranu bilja, ne želim dijagnosticirati ekonomske niti financijske probleme u poljoprivrednoj proizvodnji, niti probleme vezane uz bolju organizaciju poljoprivredne proizvodnje, uključujući pomoć i podršku proizvođačima (znanstveno-stručnu, savjetodavnu, financijsku, organizaciju otkupa, cijene proizvoda i inputa, raspolaganje i pristup relevantnim podacima o tlu, klimi, gnojivima, pesticidima, navodnjavanju itd.). Želim samo povući neke zanimljive društveno-ekonomske paralele i to bez šire analize da bih osvijetlio koliko je trenutno poljoprivreda, kao strateška grana svakog nacionalnog gospodarstva, uvažena i značajna u našem društvu:

- [Ukupna korištena poljoprivredna površina prema podacima u 2021. god.](#) bila je 1.161.705,73 ha (1.380.679 parcela) koju je koristilo 158.027 poljoprivrednih gospodarstava, odnosno 2,57 % poljoprivredna proizvođača od trenutnog broja stanovnika (3.888.529). Prosječna veličina gospodarstva iznosila je 6,7 ha pri čemu je 76 % poljoprivrednika koristilo manje od 5 ha, [a udio poljoprivredne proizvodnje u BDP bio je zanemarljivih 2,34 %](#);
- [Ukupna duljina cesta RH je 17.264,8 km](#) (autoceste 1.416,5; državne ceste 6.858,9; županijske ceste 9.703,4 i lokalne ceste 8.979,7 km, a duljina poljskih putova nije poznata);

- [Broj registriranih cestovnih vozila 2021. god iznosio je 2.385.442](#), od toga je bilo 1.795.465 osobnih vozila i sva su prošla godišnji tehnički pregled kako bi se ustanovila njihova spremnost za vožnju, dok je utvrđivanje plodnosti tla, njegova ograničenja i/ili pogodnosti za određenu poljoprivrednu proizvodnju izvedeno na minornom broju parcela na kojima se nikako ili vrlo rijetko kontrolira kvaliteta hrane, a ostvareni prinosi se samo procjenjuju jer ne postoji evidencija poljoprivredne proizvodnje ([premda postoji niz drugih propisanih evidencija Zakonom o poljoprivredi](#)). Zbog toga procijenjena količina proizveden hrane vrlo često drastično odstupa od količine stvarno požnjevene/ubrane hrane.
- Prema vlastitoj i konzervativnoj procjeni broj analiziranih poljoprivrednih parcela trenutno ne prelazi 5 % od njihovog ukupnog broja ([Ministarstvo poljoprivrede RH navodi samo imena ovlaštenih laboratorija, ali ne i broj i površinu analiziranih parcela](#)), premda je [procijena stvarnog kapaciteta laboratorija trenutno ispod 50.000 uzoraka tla/god](#). Dakle, bilo bi moguće analizirati [Pravilnikom o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta](#) propisane indikatore plodnosti na svim parcelama/površinama (3 - 5 ha po uzorku za usjeve) od ukupnog broja u intervalima svakih 5 godina, što je nedovoljno za potrebe suvremene biljne proizvodnje (i neostvarivo obzirom na potrebnu suvremenu opremu i ekipiranost terenskih i laboratorijskih ekipa);
- [Do Domovinskog rata u RH sustavi melioracijske odvodnje su izgrađeni na 43,3 %, a nepotpuno na 19,4 % površina](#). Suvremeni podaci nisu poznati, a navodi se kako imamo melioracijskih kanala I i II reda 6.594 km i 24.281 km kanala III i IV reda. [Procjenjuje se da se navodnjava zanemarljivo mali postotak površina \(2,1 - 2,4 %\)](#), a od 2005. godine do danas u izgradnju sustava za navodnjavanje uloženo je oko 1,3 milijardi kuna, od ukupno predviđenih 4,5 milijarde kuna u 15 god. Potrebno je istaći da se na već izgrađene sustave za navodnjavanje spaja zanemarivo mali broj poljoprivrednika. [Uzgrad. cijena takvih sustava za navodnjavanje je u pravilu veća od tržišne vrijednosti poljoprivrednog zemljišta na kojem bi se trebalo primjenjivati](#).

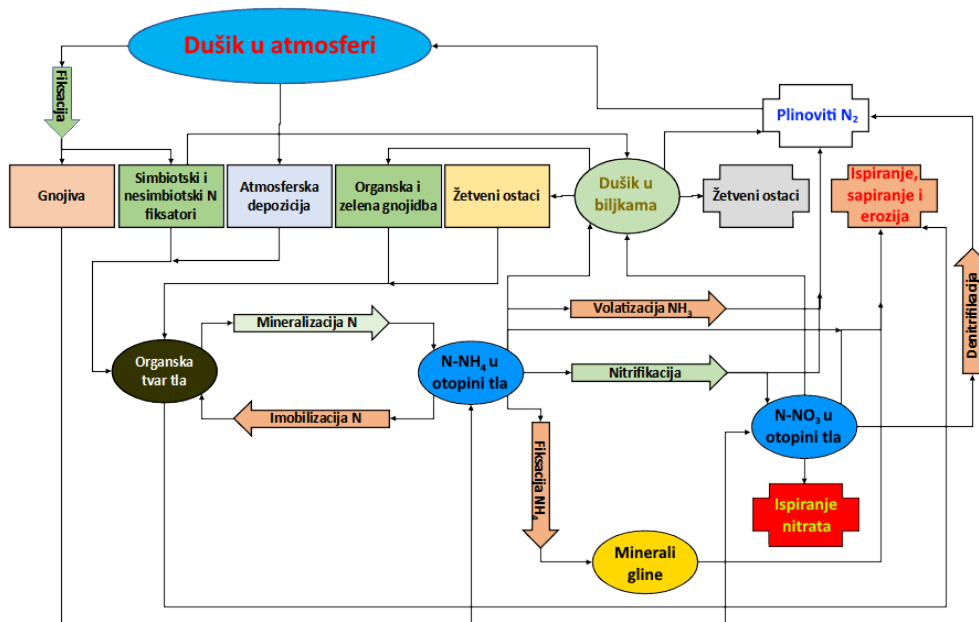
## Razlozi suviše i neadekvatne gnojidbe dušikom

[Problem suviše primjene dušika ima više različitih aspekata](#), npr. [agronomski](#) (jer suvišnu, tzv. *luksuznu N-gnojidbu* najčešće prati ozbiljan pad prinosa, dulja vegetacija, odnosno sporije sazrijevanje usjeva do žetve/berbe, lošija kvaliteta proizvoda, veća osjetljivost na patogene i štetnike i dr.), [ekonomski](#) (veći trošak za gnojivo i gnojidbu), [ekološki](#) (suvišak dušika iz tla često se lako gubi, npr. ispiranje nitrata u podzemne, tekuće i stajaće vode uz pojavu toksičnih efekata u okolišu tlu, vodama i atmosferi, pojavu [eutrofikacije površinskih voda](#) (npr. cvjetanje mora i slatkovodnih voda uslijed porasta koncentracije dušika i/ili fosfora), plinovitog gubitka amonijskog oblika (NH<sub>4</sub>) u neutralnim i alkalnim tlima (tzv. [volatilizacija](#)), nitratnog dušika ([denitrifikacija](#)) u kiselim tlima i [emisija dušikovog oksida](#); (N<sub>2</sub>O) koji je snažan *staklenički plin* (300 puta je učinkovitiji od CO<sub>2</sub> u zadržavanju topline, ostaje u atmosferi do 114 godina i odgovoran je za 5 do 7 % globalne emisije od čega je 90 % uzrovan poljoprivrednom proizvodnjom). Važno je istaknuti da su za štetu u okolišu podjednako odgovorna mineralna i organska gnojiva, a glavni izvor emisije dušičnog oksida je *stočni gnoj, gnojovka i gnojnica*.

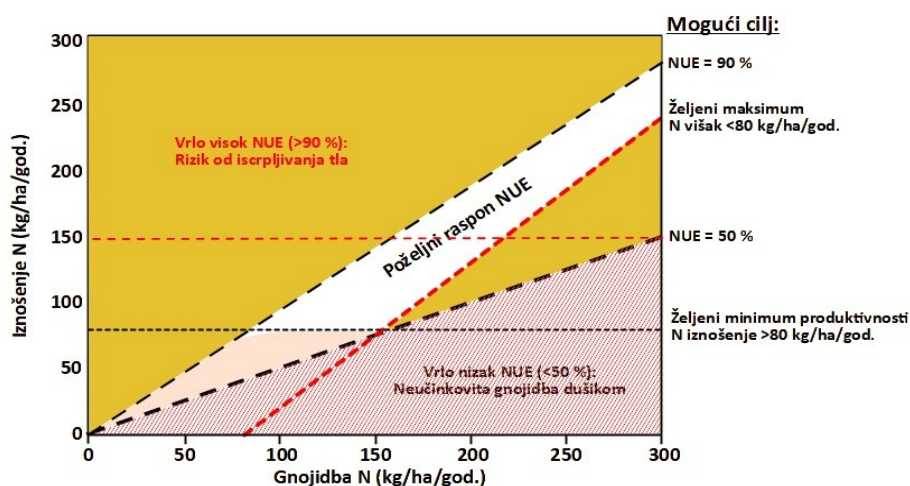
[Gnojidba je agrotehnička mjera koja izrazito povećava produktivnost tla i uloženog rada u poljoprivrednoj proizvodnji pa je poznavanje raspoložive količine hraniva u tlu i potrebe biljaka temelj dobre procjene potrebe u gnojidbi](#). Svako tlo sadrži vrlo veliku količinu nepristupačnih, tzv. *rezervnih hraniva*, a njihova transformacija u *raspoloživa* (Slika 1.), koje biljke mogu usvojiti, veoma je promjenjiva i snažno ovisi o svojstvima, biogenosti tla i vremenskim uvjetima pa određivanje N-dozе, oblika hraniva, vremena i načina primjene nije niti malo jednostavno, a često je i nedovoljno pouzdano [te su pogreške u utvrđivanju doze, oblika i vremena primjene dušika nepouzdanе, gubici dušika česti, a njegova učinkovitost smanjena](#). Više desetljeća se gnojidba dušikom pogrešno i nepouzdanо utvrđivalа prema tzv. [Stanfordov konceptu](#) koji se

temelji na očekivanom prinosu. Taj pristup još uvijek se često koristi u RH, [premda postoji niz pouzdanijih metoda kao što su  \$N\_{min}\$ , različite laboratorijske, daljinske i senzorske metode za potrebu N-prihrane usjeva](#) i niz drugih.

[Stvarni proizvodni uvjeti rijetko kad su idealni, proizvodne parcele najčešće su nehomogene po jednom ili više svojstava, sezonski vremenski uvjeti često su vrlo promjenjivi, bolesti, štetnike i korove nemoguće je potpuno kontrolirati, ekonomski i tržišni](#). Realnost poljoprivredne proizvodnje daleko je od savršenih uvjeta pa je i velik broj različitih modela/metoda za kreiranje gnojidbenih preporuka koje su najčešće primjenjive samo za uže agroekološko područje, slične sociološko-ekonomske i tehničko-tehnološke okolnosti, a prelazak na drugu ili napredniju metodologiju zahtijeva značajne napore, [obuku i resurse kako bi se uspostavila dovoljna baza znanja, nove granične vrijednosti i protokoli](#).



Slika 1. [Prikaz N ciklusa na razini parcele](#)



Slika 2. [Pokazatelji učinkovitosti korištenja dušika](#). Prikazani brojevi su ilustrativni i razlikovat će se ovisno o kontekstu (tlo, klima, usjev). Raspon željenog efikasnosti dušika je između 50 % i 90 %. Niže vrijednosti pogoršavaju onečišćenje dušikom, a veće pokazuju veću efikasnost.

Mnoga istraživanja su pokazala da je u biljnoj proizvodnji gubitak dušika iz tla najčešće 40 do 60 % ([procjena na makro razini, a za žitarice je i niža, približno između 30 i 35 %](#)) u usporedbi s 68 % ranih 1960-ih. Smatra se kako se na globalnoj razini [samo 47 % dušika primjenjenog gnojidbom transformira u požnjevene prinose](#), pri čemu je od 1960-ih do danas gnojidba dušikom povećana za približno 9 puta. Naravno, [učinkovitost](#)

korištenja dušika gnojidbom (NUE; *Nitrogen Use Efficiency*, Slika 2.) znatno se može povećati temeljem kemijske analize tla, planiranjem realne, odnosno moгуće visine prinosa, pravodobnom primjenom N-gnojiva, izbjegavanjem pojedinačne visoke N-doze, odnosno raspodjelom N-gnojidbe na više rata (Slika 3.), osobito u lokaliziranoj primjeni N u blizini sjemena ili aktivne zone korijena biljaka, pazeći na minimalnu udaljenost zbog moguće pojave solnog udara (solni stres).

Veći rizik gubitka dušika je pri njegovoj primjeni u jesen na lakim, plitkim, nagnutim i propusnim tlima, a potrebno je izbjegavati primjenu bilo kojeg oblika dušika pri višim temperaturama tla (>15 °C), primjenu i/ili obradu u vlažnim uvjetima kao i primjenu nitratnih gnojiva i uree nakon navodnjavanja ili obilnije kiše. Brži gubitak suviše vode zbog dobre površinske drenaže, dobre poroznosti i aeracije ukazuje na dobru strukturu tla, ali često omogućava i veći gubitak dušika ispiranje (procjeđivanjem tla) i sapiranjem (Slika 1.).

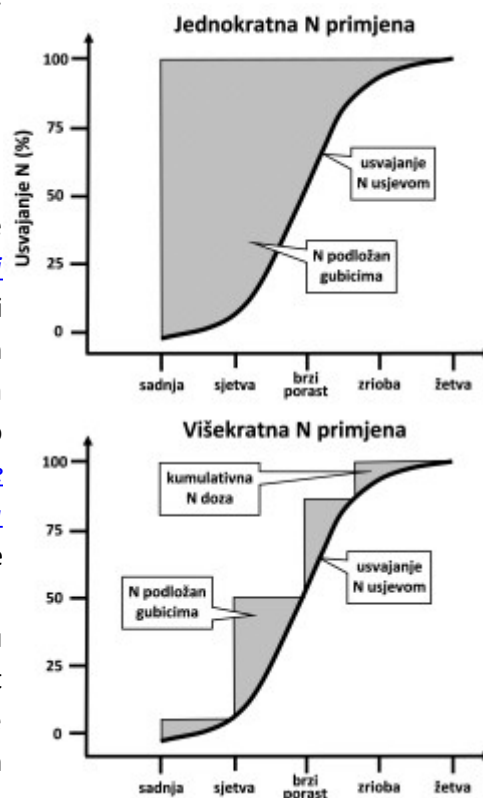
Prije gotovo 200 god. njemački pioniri ishrane bilja Carl Philipp Sprengel i nešto kasnije poznatiji Justus von Liebig postavili su teoriju mineralne ishrane bilja koja se temelji na kemijsko-biološkim procesima, odnosno tvorbi organske tvari iz prirodnih resursa (sunčeva radijacija, CO<sub>2</sub> iz atmosfere i vode) kao i raspoloživih mineralna hraniva iz tla. Suvremenim istraživanjima mineralna ishrana bilja je jako napredovala te je otkriveno i niz jasnih interakcija između elemenata ishrane. Naročito je izražena sinergija dušika i kalija koji je aktivno uključen u različite procese kao što su unos dušika i njegova ugradnja u proteine, otpornost na sušu i visoke temperature kao i fiksaciju molekularnog dušika iz atmosfere mahunarkama što povećava učinkovitost dušika, bilo da se primjenjuje kao gnojivo ili se fiksira iz atmosfere.

### Gubitci dušika iz tla

Dušik primijenjen gnojidbom koji ne usvoje biljke i ugrade ga u organsku tvar na različite se načine gubi iz tla do slijedeće sjetve/vegetacije. Budući da je bilancu dušika na proizvodnoj parceli gotovo nemoguće posve točno utvrditi, u svijetu se koristi niz različitih postupaka, od kojih je najveći dio utemeljen empirijski (iskustveno) pa je takav proračun primjenjiv samo za uže, lokalno agroekološko proizvodno područje. Relativno pouzdanije se potreba za dušikom može utvrditi bilanciranjem ne samo dušika, već svih hranjivih elemenata u tlu pri čemu za održivu i učinkovitu biljnu proizvodnju važan je plodored jer se smanjuje napad štetočina, bolesti i korova, a uz to izmjena kultura (plodored ili poljosmjena) djeluje povoljno na strukturu tla, vodno-zračni režim, bilancu organske tvari i raspoloživost hraniva, kao i porast biogenosti tla. U uskom plodoredu spore promjene u ukupnom sadržaju N tla mogu uzrokovati pogrešan izračun bilance dušika pa se preporuča proračun N-bilance izraditi za period od barem 5 god. ili više.

### Iznošenje hraniva

Iznošenje hraniva podrazumijeva ukupno usvojenu količinu pojedinog hraniva iz tla, dok se odnošenje hraniva odnosi na količinu hraniva u merkantilnom dijelu (prinosu) koju odnesemo s parcele. Output N (gubitak) s proizvodne parcele najviše ovisi od odnošenja, jer se žetvene ostaci najčešće vraćaju u tlo, na žalost ponekad se spaljuju ili koriste kao biomasa za proizvodnju bioplina, električne struje i dr. Također, proces dekompozicije i mineralizacije organske tvari u tlu najčešće se ne podudara s najvećom potrebom hraniva uzgajanih biljaka jer se događa kad je tlo dovoljno toplo, prozračno i vlažno, odnosno kad su uvjeti



Slika 3. Opća procjena potencijalnih N gubitaka pri jednokratnoj i višekratnoj N-gnojidbi.

za mikroorganizme povoljni (dovoljno razgradive organske tvari širokog C:N omjera, odgovarajući pH itd.).

Gubitak uree (%) volatilizacijom ovisno o pH tla (primjena omaške na praškastoj ilovači)

Najveći izvor onečišćenja atmosfere amonijakom u Europi je poljoprivreda (~80 % ukupne emisije), a uz to je plinoviti NH<sub>3</sub> i neizravni izvor stakleničkog plina N<sub>2</sub>O. Volatilizacija (isparavanje) amonijaka je vrlo brza na temperaturama >15°C, kada je tlo vlažno, vrijeme vjetrovito i pH tla >7,5 pa se u tim uvjetima može izgubiti i >40 % dušika nakon površinski primijenjene uree (Tablica 1.).

Dani od primjene	pH tla					
	5	5,5	6	6,5	7	7,5
0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	5
4	1	2	5	10	18	20
6	4	5	7	11	23	30
8	8	9	12	18	30	33
10	8	10	13	22	40	44

### Denitrifikacija

Proces denitrifikacije može u odvijati uvjetima niskog pH, slabe prozračivosti tla (anaerobioza), zbijenog tla i velike vlažnosti, općenito u redukcijским uvjetima i tad je proces transformacije NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u molekularni, odnosno plinoviti N<sub>2</sub>, kao i plinovite oblike dušičnih oksida (NO<sub>x</sub> i N<sub>2</sub>O) veoma brz. Denitrifikacija se može odvijati uz pomoć denitrifikatorskih bakterija (*mikrobiološka denitrifikacija*) koji koriste nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) umjesto kisika (O<sub>2</sub>) za disanje, ali i kemijskom transformacijom (*kemodenitrifikacija*) u reduktivnim uvjetima (pH ≤ 5,0). Gubitak dušika denitrifikacijom ovisi o temperaturi tla, sadržaju vode, organskoj tvari, anorganskoj razini N i pH.

### Erozija, perkolacija, površinsko sapiranje i starenje biljaka

Gubici dušika mogu biti veliki erozijom tla, perkolacijom (procjeđivanjem do razine podzemne vode), površinskim sapiranjem (runoff) kod nagnutih zbijenih i/ili težih tala slabe upijajuće moći vode (infiltracija), a mali ili neznatni starenjem biljaka. Gubitak dušika erozijom prvenstveno se javlja na nagnutim površinama, a ovisi o teksturi tla, duljini i strmini nagiba, mjerama za sprečavanje erozije (npr. terase, prepreke i sl.), količini izgubljenog tla, klimatskim uvjetima i dr. Erozijska vjetrova također može rezultirati gubitkom N, uglavnom u sušnim i semiaridnim područjima.

### Ispiranje dušika

Ispiranje dušika (kao i drugih hranjivih elemenata) događa se kada je input N (gnojidba, mineralizacija, rezidualni N iz prethodne vegetacije i dr.) veći od potrebe biljaka za njegovim usvajanjem, kada se dušik primjenjuje na golo tlo (bez vegetacije) i/ili u uvjetima malog usvajanja (slabo razvijeni usjev, niska temperatura, *anaerobioza* i sl.).

Ispiranje nitrata je naglašeno u uvjetima navodnjavanja, regijama s vlažnom klimom i grubo strukturiranim tlima, a gubitak dušika ispiranjem može biti veoma velik, u rasponu 5 - 50 % (12 - 75 kg N ha<sup>-1</sup>), ovisno o vrsti usjeva, sustavu uzgoja (npr. navodnjavanje), teksturi tla, dozi N i vremenu njegove primjene te klimatskim uvjetima. Ispiranje nitrata (kao i drugih elemenata ishrane, npr. Ca, Na itd.) može se izmjeriti na proizvodnoj parceli. Ispiranje dušika lako se utvrđuje lizimetrima, mjerenjem konc. nitrata u kanalskoj mreži i piezometrima (obično više piezometara postavljenih za uzimanje uzoraka vode iz različitih dubina), kao i pomoću uzoraka nativnog tla uzetih posebnim dubinskim sondama. Dobru rocnju ispiranja dušika moguće je dobiti iz N-bilance, najčešće sofisticiranim računalnim programima.

Povećani gubici dušika ispiranjem mogu se znatno umanjiti uzgojem pokrovnih usjeva (zimski pokrovni usjevi, zelena gnojidba ili sideracija ljeti, "živi malčevi" (međusjevji), postrni usjevi ili sjetva krmnog bilja iza glavnog usjeva, "usjevi hvatači" za sprečavanje ispiranja hraniva iz „golog“ tla zimi i dr.).

Gubici dušika mogu se smanjiti korištenjem gnojiva poboljšane učinkovitosti (tzv. pametna gnojiva koja otpuštaju dušik (i druga hraniva prema potrebama biljaka) kao i inhibitore nitrifikacije (ureaze) amonijskih i amidnih gnojiva koji odgađaju proces mineralizacije, dok se *denitrifikacija* uspješno može spriječiti prethodnom kalcijacijom kiselih tala.

## Učinkovita primjena dušika gnojdbom

Na smanjivanje gubitaka dušika i njegovu veću efikasnosti može se utjecati boljim načinima sjetve, prakticiranjem konzorcija više vrsta ([združena sjetva](#)), povećanjem potencijalne plodnosti, uspostavljanjem povoljne ravnoteže (NB; *Nutrient Balance*) i učinkovitijim korištenjem hranjivih tvari (Slika 2. i Slika 3.) što je česta praksa u mnogim poljoprivrednim i stočarskim sustavima. Npr., moguće je procijeniti manjak ili višak hranjivih tvari pomoću NB ( $NB = N_{\text{input}} - N_{\text{output}}$ , odnosno utvrđivanjem razlike između unosa i izlaza hranjivih tvari). NB je dobar argo-ekološki pokazatelj koji pomaže u praćenju protoka hranjivih tvari te racionalnoj upotrebi mineralnih i organskih gnojiva. Vremenski uvjet, a najviše količina padalina tijekom vegetacije dramatično utječu na gubitke dušika iz tla pa potpovršinska aplikacija dušika značajno smanjuje emisiju  $NH_3$ , pri čemu inkorporirana urea u tlo ima za 1/3 niže gubitke volatilizacijom, a injektirani UAN i do 99 %.

[Budući da su rezultati ispitivanja optimalne N-gnojdbene, slično medicinskim istraživanjima, prepuni kontradiktornih rezultata, gnojdbene preporuke se moraju temeljiti na dokazima brojnih i uspješnih studija utemeljenim na velikom broju egzaktnih podataka iz proizvodnje i poljskih pokusa, odnosno analizi meta podataka.](#) Generalno, optimalna N-doza ovisi o vrsti usjeva i njegovom mogućem prinosu, tipu tla, sustavu uzgoja i fenofazi rasta ([etapi organogeneze](#)) pa nastojte približiti dozu gnojdbene [konzervativnoj i realnoj procjeni](#) potrebe usjeva za hranivima uvažavajući ograničenja plodnosti tla (npr. kiselost, nizak sadržaj humusa, loša tekstura i/ili struktura, plitak solum, puno skeleta, salinitet itd.) koje najbolje pokazuje njegova [kemijsko-fizikalna analiza](#). Dakle, [veća učinkovitost usvajanja dušika iz tla ima najveći utjecaj na smanjenje gubitaka dušika](#), veći NUE, višu produktivnost i profitabilnost biljne proizvodnje.

## Zaključno

Dušik je, agronomski gledano [prinosotvorni element ishrane](#) jer ima ključnu ulogu u povećanju proizvodnje hrane, biljke ga zahtijevaju u velikim količinama u odnosu na sve druge biogene elemente, najviše utječe na porast prinosa, suvišna količina onečišćuje vode i atmosferu, a njegova [raspoloživost u tlu veoma je promjenjiva, obzirom na njegovu pokretljivost i brzinu](#).

Vrijeme i način primjene dušika često ima veći utjecaj od N-doze na rast, razvoj i prinos jer N-gubici mogu biti značajni pa trenutno raspoloživa količina dušika u tlu nije dovoljna. Također, potreba za dušikom jako varira ovisno o biljnoj vrsti, fizikalno-kemijskim svojstvima tla, vremenskim uvjetima, očekivanom prinosu i prinosu prethodnog usjeva (tzv. *rezidualni N*), *N-kredita* (simbiotska N-fiksacija kvržičnim bakterijama, aktivnosti nesimbiotskih mikroorganizama), kao i upravljanja N-gubitkom (npr., vrsta gnojiva, vrijeme, način i dubina aplikacije i dr.).

Ekonomičnost i profitabilnost proizvodnje su u suvremenoj poljoprivredi ekonomski prioritet te je povećanje doze gnojiva opravdano sve dok je rast prinosa rentabilan pa svaka gnojdba, a naročito dušikom koji je podložan velikim gubicima mora biti usuglašena s potrebama biljke, odnosno biološki mogućem i ekonomski profitabilnom prinosu.

U Osijeku, 03. listopada 2022. god.