

# Status dušika u tlu

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Bilanca dušika u tlu čini kvantitativni okvir njegovog ulaza (inputa) i izlaza (gubitka), odnosno svojevrsni saldo dušika tla, izvrstan je pokazatelj produktivnosti tla i kvalitete okoliša, odnosno predstavlja mjeru učinkovitosti poljoprivrednog agroekosustava i održivosti okoliša. Dušik dopijeva u tlo gnojidbom (mineralnom, organskom i zelenom), biološkom N-fiksacijom (simbiotski i slobodno živeći N-fiksatori), depozicijom iz atmosfere (suho i mokro taloženje), vodom za navodnjavanje, dok njegovi gubici uključuju iznošenje merkantilnim dijelom (prinosom) i odnošenje s proizvodne površine biomasom, ispiranje iz tla (perkolacijom do podzemne vode), denitrifikaciju, volatilizaciju, površinsko otjecanje (runoff) i eroziju. Slika 1. prikazuje globalni ciklus N s procijenjenim iznosima inputa i outputa u Tg (1 Tg = 1.000.000.000 kg).

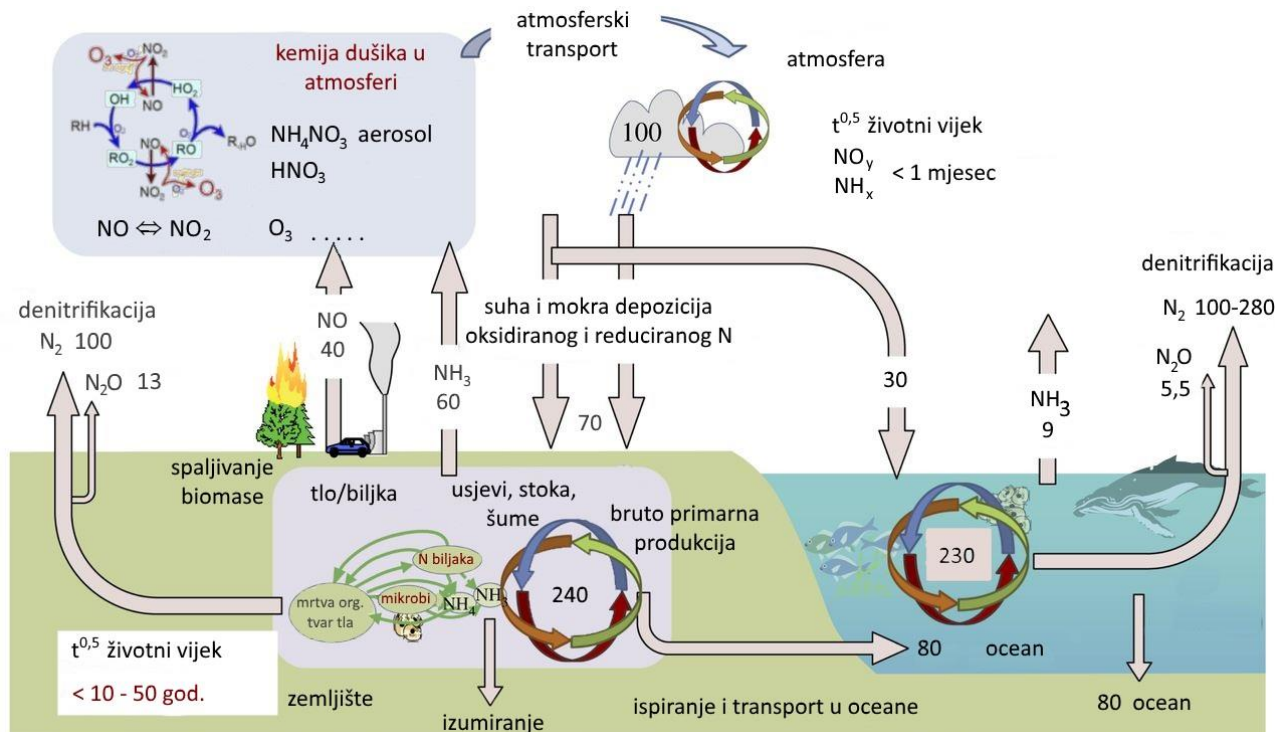
Bilanca dušika odražava se snažno na organsko-anorganske odnose u tlu, odnosno procesu imobilizacije i mineralizacije dušika, ali i fosfora te sumpora. Naime, pri većem intenzitetu mineralizacije organske tvari tla raste raspoloživost dušika što najčešće utječe na povećanje prinosa i uz manji intenzitet gnojidbe, dok se manji gubici N iz tla ispiranjem, denitrifikacijom (emisija stakleničkih plinova  $N_2O$  i  $NO_x$ ) i volatilizacijom (emisija  $NH_4$ ) odražavaju na kakvoću vode i zraka, odnosno okoliša. Dakle, ravnoteža dušika može biti pozitivna ili negativna i prikazati se izrazom:

$$Bilanca_N = N_{input} - N_{output} - \Delta N_{ukupni}$$

$N_{input}$  = organska i mineralna gnojidba + depozicija iz atmosfere (suha i mokra) + biološka N-fiksacija + voda za navodnjavanje + N unesen sjetvom

$N_{output}$  = odnošenje prinosa i/ili ukupno iznošenje biomasom + N gubici (ispiranje, volatilizacija, denitrifikacija, površinsko otjecanje, erozija i starenje biljaka

$\Delta N_{ukupni}$  = promjena sadržaja ukupnog dušika u tlu



Slika 1. Prosesi i tokovi reaktivnog dušika u kopnenim i morskim sustavima i u atmosferi (u Tg N god<sup>-1</sup>) (<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/368/1621/20130164>)

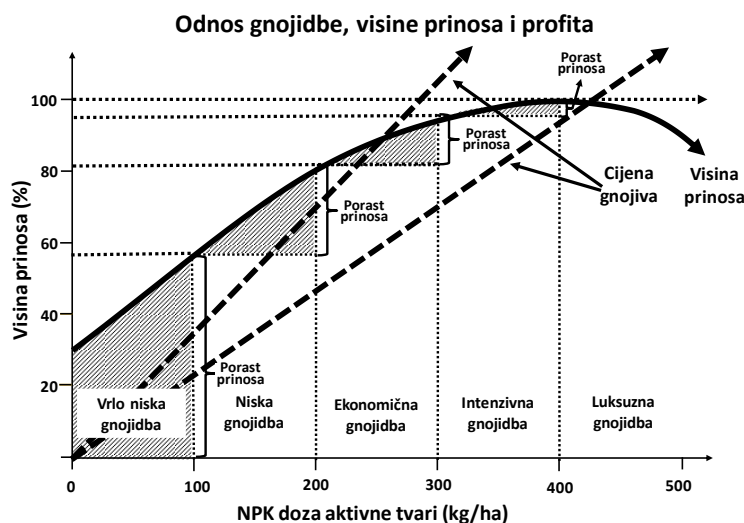
Pozitivna vrijednost bilance dušika označava povećanje N u tlu, a negativna gubitak. U stvarnim uvjetima biljne proizvodnje veoma se rijetko događa da nema promjene N-bilance ili da je ona pozitivna. Utvrđivanje N-bilance u tlu veoma je složeno jer se zbog velikog broja različitih faktora i njihovih međusobnih interakcija

(npr. promjenjivi vremenski uvjeti, varijacije u tlu po vremenu i dubini soluma, različita proizvodna praksa, management hraniva, rotacija usjeva, analitičke poteškoće u mjerenjima biološke N-fiksacije i N-depozicije iz atmosfere itd.) [rijetko mogu utvrditi svi uzroci uobičajeno negativne bilance](#).

## Unos (input) dušika u tlo

### Gnojidba dušikom

Najveći izvor dušika je mineralna i/ili organska gnojidba s ciljem povećanja prinosa usjeva i njegove kvalitete. [Primjena dušika gnojidbom](#) (doza, vrijeme i način primjene) ovisi o intenzitetu uzgoja (očekivanom i/ili planiranom prinosu, njegovoj tržišnoj cijeni, raspoloživosti agrotehnike, znanju proizvođača, analizi tla itd.), potrebama usjeva za dušikom (vrsta, kultivar, planirani prinos i sl.), njegovoj raspoloživoj količini u tlu koje biljke mogu usvojiti (dinamika N, intenzitet mineralizacije organske tvari, rezidualni i biološki vezani N i dr.), odnosno agroekološkim i tehničko-tehnološkim uvjetima (agrotehnika, zemljišni i klimatski uvjeti). Stoga je gnojidbena N-doza veoma različita i zahtijeva, osim osnovne [kemijske analize tla](#), često i analizu tijekom uzgoja (npr.  $N_{min}$  metoda, analiza biljne tvari prije folijarne gnojidbe i sl.), poznavanje potrebe biljaka obzirom na moguću visinu prinosa i spremnost na rizik u visoko intenzivnoj proizvodnji te mogućnost investiranja. Naime, sadržaj mineralnih oblika dušika u tlu ( $N-NO_3$  i  $N-NH_4$ ) može se danas pouzdano izmjeriti, ali je znatno manje pouzdano utvrđivanje potencijala N-mineralizacije, premda [danas postoji niz različitih modela za takvu procjenu](#). Jednostavne procijenjene rate N-mineralizacije najčešće su posve pogrešne. Npr., [pretpostavka da se u našim agroekološkim uvjetima mineralizira 1 - 2 % organske tvari tla svake godine](#) sadrže grešku od 25 - 50 %, a primjena N gnojiva uglavnom rezultira suvišnom (*luksuznom*) N-ishranom biljaka (Slika 2.), povećanim gubicima dušika kroz procese ispiranja, ovisno o pH tla *volatilizacijom* ili *denitrifikacijom*, odnosno emisijom plinovitih oblika N u atmosferu.



Slika 2. Odnos intenziteta gnojidbe, visine prinosa i profita

premda [danas postoji niz različitih modela za takvu procjenu](#). Jednostavne procijenjene rate N-mineralizacije najčešće su posve pogrešne. Npr., [pretpostavka da se u našim agroekološkim uvjetima mineralizira 1 - 2 % organske tvari tla svake godine](#) sadrže grešku od 25 - 50 %, a primjena N gnojiva uglavnom rezultira suvišnom (*luksuznom*) N-ishranom biljaka (Slika 2.), povećanim gubicima dušika kroz procese ispiranja, ovisno o pH tla *volatilizacijom* ili *denitrifikacijom*, odnosno emisijom plinovitih oblika N u atmosferu.

### Organska gnojidba

[Organska gnojiva](#) i različite tvari za popravku tla ([kondicioniranje](#)) koji sadrže N, kao što su životinjska gnojiva, *siderati*, *komposti*, *žetveni ostaci*, *biougljen*, itd., s ili bez dopunskih mineralnih dušičnih gnojiva, često se primjenjuju s ciljem povećanja plodnosti tla i prinosa usjeva. Budući da je često nepoznata koncentracija dušika u takvim gnojivima ili kondicionerima, kao i njegova stopa mineralizacije, odnosno efikasnost (iskoristivost N u prvoj i narednim godinama od primjene), često se znatno griješi (30 - 50 %), uglavnom na više, što je prepoznato i u [EU regulirano](#), te je mudro analizom utvrditi konc. dušika u organskim gnojivima i kondicionerima. Naime, organska gnojiva redovito izgube u primjeni dio dušika u obliku plinovitog amonijaka ( $NH_3$ ) isparavanjem (*volatilizacijom*), najčešće 2 - 35 %, ovisno o tipu gnojiva. Gubitak  $N-NH_4$  može se svesti na minimum brzom inkorporacijom organskog gnoja u tlo odmah nakon primjene/raspodjele.

[Organska gnojiva](#), animalnog ili biljnog podrijetla, sadrže veći dio hraniva u obliku koje biljke mogu usvojiti tek nakon njegove razgradnje u tlu ([mineralizacija](#)) te stoga imaju znatno dulji vremenski period djelovanja u odnosu na mineralna (sintetska) gnojiva. Taj, tzv. [produžni efekt](#), ovisi o mikroorganizmima i uvjetima u tlu (povoljna temperatura, vlaga, pH, C/N omjer, raspoloživost elemenata ishrane i dr.). Stoga, osim što organska gnojiva djeluju duže, njihova učinkovitost je niža i bitno sporija u odnosu na mineralna gnojivima. Također, mnogi pogrešno smatraju kako organski gnoj ima posebna svojstva neophodna za tvorbu [humusa](#), odnosno

u poboljšanju strukture tla. Stoga je potrebno naglasiti da [organska gnojiva ne sadrže više hranjivih tvari u odnosu na stočnu hranu](#) (siderate ili žetvene ostatke), ne proizvode novu organsku tvar koja već nije bila sadržana u biljnoj hrani za životinje, niti ona nastaje u procesu probave. Dakle, organskom gnojidbom samo se premještaju hraniva usvojena biljkama na drugom mjestu na gnojenu parcelu uz neizbježan gubitak hranjivih tvari i ugljika (C) u procesu životinjske probave i procesa mineralizacije.

### **Mineralizacija organske tvari tla**

[Organski, biljni i životinjski ostaci u tlu podliježu procesu dekompozicije \(razgradnje\), zatim i mineralizacije](#) za čiji je intenzitet ključna mikrobiološka aktivnost ili [biogenosti tla](#). Intenzitet razgradnje organske tvari ovisi o njihovim kemijskim svojstvima (npr., razlaganje proteina je relativno usporeno jer grade stabilne komplekse s mineralnom frakcijom tla), uvjeta koji vladaju u tlu i populacije potrebne grupe mikroorganizama. [Proces mineralizacije odvija se u nekoliko faza \(aminizacija, amonifikacija, nitrifikacija, a u reduktivnim uvjetima još i denitrifikacija\)](#). Budući da je tek mali dio ukupnog dušika tla u mineralnom obliku, a cjelokupne njegove rezerve su organske, u prirodnim ekosustavima (bez gnojidbe i obrade tla) raspoloživost dušika određena je intenzitetom mineralizacije organske tvari, koja je pak u neobrađenom (nerazoranom tlu) znatno usporena zbog nedostatka kisika. Stoga, primjerice, šumska, livadna i močvarna tla zbog reduktivnih uvjeta (nizak pH) sadrže u pravilu više organske tvari (humusa) u odnosu na oranice.

Količine dušika koje se mineraliziraju u nekom tlu tijekom godine mogu biti značajne s aspekta ishrane bilja, pa tako u povoljnim uvjetima iznose i do  $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dan}^{-1}$ . [Rezultati kontrole plodnosti na području istočne Hrvatske \( ~25.000 uzoraka tla\) pokazuju da je prosječan sadržaj organskog ugljika u tlu  \$53,18 \text{ t ha}^{-1}\$](#)  (min. 7,24 do max. 214,77  $\text{t ha}^{-1}$ ), odnosno 91,68  $\text{t ha}^{-1}$  humusa koji sadrži približno 58 % ugljika i 5 % dušika. Preračunato na ukupni dušik to iznosi  $\sim 4.584 \text{ kg N ha}^{-1}$  te se uz prosječnu stopu mineralizacije humusa od 1 % može prosječno očekivati  $\sim 46 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ . [Proračun potencijala mineralizacije \( \$pN\_{min}\$ \)](#) pokazuje da je iznos raspoloživog dušika na poljoprivrednim površinama Osječko-baranjske županije iz organski rezervi tla nešto viši ( $67,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ ), odnosno godišnja rata N-mineralizacije iznosi 1,467 % uz izrazitu lokalnu varijabilnost ( $K_v \% = 83,4$ ).

### **Biološka N-fiksacija**

[Neke vrste slobodno živućih, kao i simbiotskih bakterija, plavozelenih algi i vjerojatno gljivica, mogu asimilirati atmosferski  \$N\_2\$](#)  i nakon transformacije koristiti ga za vlastite potrebe, a suvišak mogu usvojiti više biljke koje ne posjeduju takvo svojstvo. Na količinu dušika vezanog nesimbiotskim putem djeluje više faktora (pH, količina organske tvari tla povoljnog [C/N omjera](#), raspoloživost hranjivih elemenata, toplina, vlaga tla i dr.), tako da su te količine najčešće u granicama 13 - 38  $\text{kg ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$  (odnosno 10 - 20 % potrebe za dušikom većine usjeva. Plavozelene alge u rižinim poljima usvoje i do 150  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ god}$ .

[Simbiotske bakterije](#) žive na korijenju leguminoznih biljaka. Tzv. kvržične bakterije iz reda [Rhizobiales žive u asocijativnoj zajednici i snabdijevaju biljke reduciranim dušikom](#) (koji više biljke lako ugrađuju u svoje bjelančevine), a preuzimaju od biljaka niz drugih potrebnih tvari za svoj život. Bakterije iz rodova *Rhizobium* i *Sinorhizobium* tvore *nodule* (kvržice na korijenju leguminoza) koje su osjetljive na nepovoljne uvjete, posebice nedostatak vlage, često ih uništavaju i virusi iz grupe *bakteriofaga* pa se moraju unositi u tlo, najefikasnije *inokuliranim* sjemenom. Ako se u tlu nalazi dovoljno mineralnog dušika koji može zadovoljiti potrebe biljke domaćina i bakterija, rast kvržica se smanjuje uz opadanje njihovog broja.

[Biološka fiksacija na globalnoj razini](#) procjenjuje se na ogromnih 160,1 Tg N  $\text{god}^{-1}$  prema 72,3 Tg N  $\text{god}^{-1}$  inputa N u tlo sintetskim gnojivima. Leguminozni usjevi mogu fiksirati značajne količine dušika iz atmosfere (Tablica 1.). Npr., *bakterizacijom* sjemena soje znato se smanjuje njena potreba za dušičnim gnojivima te

Tablica 1. Simbiotska fiksacija  $N_2$  sojevima *Rhizobiuma* ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ )

Leguminoza	N $\text{kg ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$
Lucerna	120-170 (70-200)
Bijela djetelina	50-200
Crvena djetelina	140-200
Grahorica	80-180
Soja	60-100 (20-275)
Grah	180-200
Stočni grašak	60-90
Poljski grašak	155-175

ostaje samo potreba za startnom N-gnojdbom kako bi se zadovoljile njezine potrebe za početni period vegetacije (40 - 90 kg N ha<sup>-1</sup>). Bakterizaciju sjemena soje trebalo bi uvijek provoditi na tlu gdje soja nije uzgajana, ili je prošlo više od tri godine od posljednje sjetve, kad je pH-vrijednost tla ispod 6,0, na laganim tlima ili nakon ležanja vode (poplave, vodom zasićena ili zbijena tla).

### **Dušik u vodi za navodnjavanje**

Dušik se također unosi u tlo vodom za navodnjavanje, a ta količina veoma varira ovisno o podrijetlu vode, kao i tijekom vremena. Navodnjavanjem se primjenjuju velike količine vode, a N-NH<sub>4</sub> (amonijski N) rijetko u vodi prelazi koncentraciju od 1 mg dm<sup>-3</sup>, dok je koncentracija N-NO<sub>3</sub> u većini površinskih i podzemnih voda obično manja od 5 mg dm<sup>-3</sup>, premda podzemna voda može sadržavati koncentraciju nitrata i veću od 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dm<sup>-3</sup> (što je najveća dopuštena količina N-NO<sub>3</sub> u vodi za piće, a odgovara 11,3 mg N dm<sup>-3</sup> te je 1 mg N dm<sup>-3</sup> = 1 kg N u 1000 m<sup>3</sup> vode). Podzemna voda ispod poljoprivrednih površina često ima veće razine dušika zbog ispiranja nitrarnog N te se preporuča obavezno analizirati vodu za navodnjavanje te utvrđenu količinu odbiti od preporučene N-doze. Primjerice, vlastita mjerenja u piezometrima (Sustav za navodnjavanje Gat, krumpir) pokazala su koncentraciju NO<sub>3</sub><sup>-</sup> između 25 i 141 mg dm<sup>-3</sup>, što znatno premašuje zakonom dopuštenu koncentraciju od 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dm<sup>-3</sup>.

### **Atmosferska depozicija N**

Dušik u tlo unose i oborine (kiša i snijeg), a njegova koncentracija u vodenom talogu može biti veća u područjima s lokalnim izvorom amonijaka, npr. intenzivno stočarstvo i peradarstvo, sinteza amonijaka i sl. [U SAD-u input N oborinama najčešće je 2 - 15 kg N ha<sup>-1</sup>](#). Atmosfersko *suho taloženje* je rezultat apsorpcije amonijaka i drugih dušičnih spojeva iz atmosfere na poljoprivrednim površinama i ta vrijednost jako varira ovisno o lokaciji, s većim vrijednostima u blizini lokalnog izvora amonijaka. Procjenjuje se da je input dušika suhim taloženjem količinski sličan oborinskom taloženju.

### **Unos dušika sjemenom**

Sjeme kao i sadni materijal je općenito su bogati dušikom potrebnim u klijanju i nicanju (sve dok je korijen slabo razvijen) te se tako može unijeti određena količina N u tlo. Npr., sjetvom 250 kg ha<sup>-1</sup> zrna pšenice u tlo se unese približno 5 kg N ha<sup>-1</sup>, a s 100 kg sjemena soje unese se u tlo 6 - 7 kg N ha<sup>-1</sup>.

## **Gubitak (output) N iz tla**

### **Iznošenje i odnošenje**

Budući da je bilancu dušika na konkretnoj proizvodnoj parceli gotovo nemoguće posve točno utvrditi, u svijetu se koristi niz različitih postupaka, od kojih je najveći dio *empirijski* (iskustveni) te stoga primjenjiv samo za uže agroekološko proizvodno područje. U tablici 2. prikazan je osnovni [petogodišnji management hraniva s djelomičnom bilancom hraniva](#), samo za dušik, [izračunat pomoću ALR kalkulatora](#) na dva načina.

Bilanciranje hranjivih elemenata veoma je važno u održivoj poljoprivrednoj proizvodnji u kojoj plodored ima najznačajniju ulogu jer se tako smanjuje napad štetočina, bolesti i korova, a uz to plodored djeluje povoljno na strukturu tla, vodozračni režim, bilancu organske tvari i raspoloživost hraniva uz porast biogenosti tla. Spore promjene u ukupnom sadržaju N tla u kratkotrajnim eksperimentima mogu uzrokovati pogrešan izračun bilance dušika pa se preporuča takav proračun izraditi za period od barem 5 god. (kao u Tablici 2.) ili više.

*Iznošenje hraniva* podrazumijeva njihovu ukupno usvojenu količinu iz tla, dok se pod *odnošenjem hraniva* podrazumijeva količina hraniva u merkantilnom dijelu (koju odnesemo s parcele). Output (gubitak) N s proizvodne parcele najviše ovisi od *odnošenja*, jer se žetvene ostaci najčešće vraćaju u tlo, [ponekad spaljuju ili koriste kao biomasa za proizvodnju bioplina, električne struje i dr.](#) Također, proces dekompozicije i mineralizacije organske tvari u tlu u pravilu se ne podudara s najvećom potrebom hraniva uzgajanih biljaka (Slika 3.).

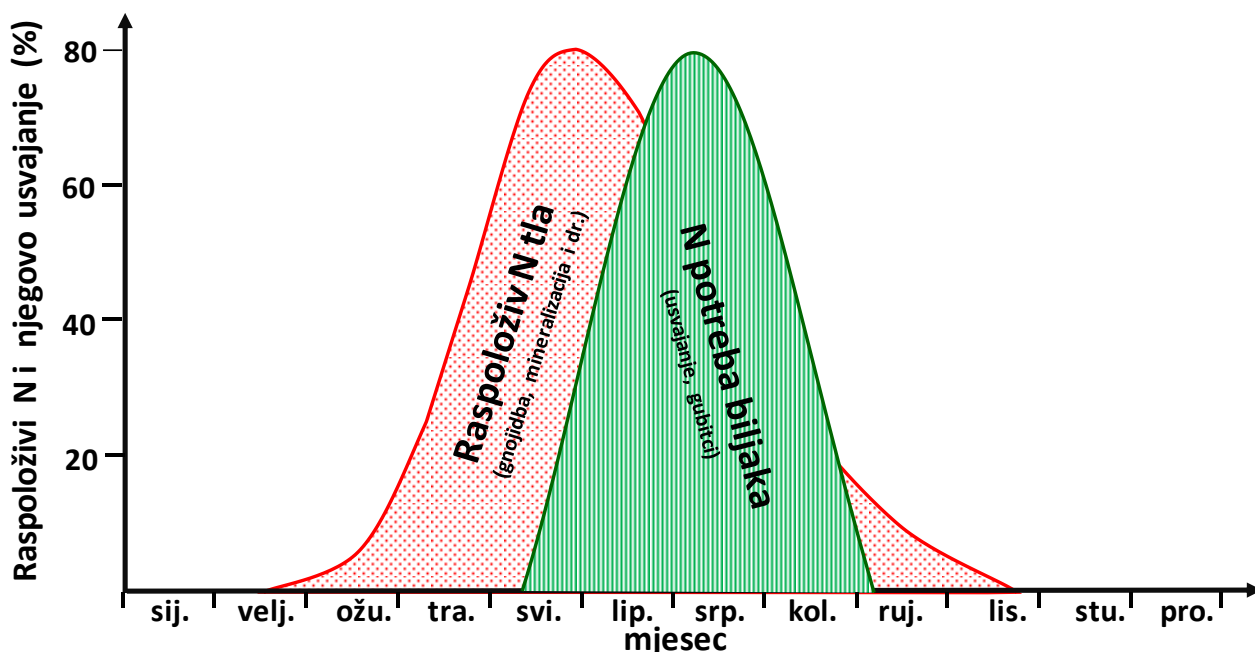
Tablica 2. *Primjer osnovnog planskog managementa hraniva s prikazom petogodišnje bilance dušika*

Godina	Glavni usjev	Ciljni prinos t ha <sup>-1</sup>	Potreba N kg ha <sup>-1</sup>	Predkultura	Prinos predk. t ha <sup>-1</sup>	Žet. ost. t ha <sup>-1</sup> ST	Organski gnoj t ha <sup>-1</sup>
2012	kukuruz	12,5	312	soja	4,25	5,0	35
2013	oz. pšenica	7,7	210	kukuruz	10,5	7,0	
2014	šeć. repa	72,5	290	oz. pšenica	7,2	5,0	
2015	kukuruz	11,0	275	šeć. repa	65,5	8,0	
2016	soja	4,5	270	kukuruz	10,5	6,0	

Godina	N u žet. ostacima kg ha <sup>-1</sup>	N-miner. kg ha <sup>-1</sup> god <sup>-1</sup>	*Bilanca N kg ha <sup>-1</sup> god <sup>-1</sup>	Proračun (ALR) potreba gnojidbe (kg ha <sup>-1</sup> )			**Bilanca N kg ha <sup>-1</sup> god <sup>-1</sup>
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
2012	60,0	267,8	38,6	110	150	102	-53,9
2013	52,5	210,9	-30,3	109	117	0	-22,7
2014	25,0	189,1	62,0	121	137	128	14,0
2015	36,0	177,0	34,5	134	115	60	27,5
2016	45,0	229,0	54,0	79	150	41	-58,0
<b>Ukupno</b>	<b>218,5</b>	<b>1073,8</b>	<b>158,7</b>	<b>553</b>	<b>669</b>	<b>331</b>	<b>-93,1</b>

$$* \text{ Bilanca}_N = N_{\text{potreba}} - N_{\text{gnojidba}} + \frac{(N_{\text{rata min.}} + N_{\text{žet.ost.}}) \times 100}{50}$$

$$** \text{ Bilanca}_N = N_{\text{gnojidba}} - \frac{(N_{\text{rata min.}} + N_{\text{žet.ost.}}) \times 100}{50}$$



Slika 3. Raspoloživost N tijekom vegetacije i period njegovog usvajanja (gubici N su najveći kad nema potrebe za njegovim usvajanjem)

### Volatilizacija amonijaka

Najveći izvor onečišćenja atmosfere amonijakom (NH<sub>3</sub>) je poljoprivreda, a u Europi to iznosi ~80% ukupne emisije, a uz to je NH<sub>3</sub> neizravni izvor stakleničkog plina N<sub>2</sub>O. [Dušik iz gnojiva može se izgubiti u atmosferu kao amonijak isparavanjem \(volatilizacija\)](#) koja brzo raste s povećanjem temperature iznad 15°C, veće brzine

vjetra, vlažnosti tla i atmosfere te pH iznad 7,5. Stoga, u nepovoljnim vremenskim uvjetima gnojidba ureom može rezultirati s više od 40 % gubitka dušika (Tablica 3.). Gubitak N ovisi o vrsti mineralnog ili organskog gnojiva, načinu njihove primjene, pH tla, teksturi i sposobnosti izmjene kationa te klimatskim i vremenskim

Tablica 3. Gubitak uree (%) volatilizacijom dodane omaške u ovisnosti od pH (praškasta ilovača)

Dani od primjene	pH tla					
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	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

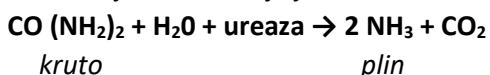
uvjetima, kao i količini te vrsti žrtvenih ostataka koji su izvrstan izvor enzima ureaze (Tablica 4.). Kiša od 5 mm, ili više taloga, nakon primjene uree može znatno smanjiti gubitke N volatilizacijom. Inkorporacija N-gnojiva u tlo znatno smanjuje gubitak amonijaka volatilizacijom u odnosu na površinsku primjenu. Hidroliza uree počinje unutar 3 do 4 dana od primjene, ili čak i manje kod viših temperatura i povoljne vlažnosti tla.

Gubitak N volatilizacijom iznosi prosječno 10 - 20 % od doze za anorganska i 15 - 30 % za organska gnojiva. Volatilizacija se može rjeđe pojaviti i na kiselom tlu zbog lokalnih alkalnih uvjeta koji se razvijaju u neposrednoj blizini granula amidnih i amonijskih

Tablica 4. Rizik pojave volatilizacije raste s povećanjem broja visokorizičnih uvjeta, pri čemu je vlažnost tla najčešće presudni uvjet.

Uvjeti visokog rizika	Uvjeti niskog rizika
Vlažno tlo	Suho tlo
Visok pH tla (>7,0)	Nizak pH tla (<6,0)
Žetveni ostaci, višegodišnji usjevi	Golo tlo
Visoka temperatura tla (>20°C) ili zamrznuto tlo	Niska temperatura tla
Nizak KIK (pjeskovita tla)	Visok KIK (praškasta ili glinovita tla)
Nizak puferni kapacitet (slabo humozna pjeskovita tla, niski bikarbonati)	Visok puferni kapacitet (humozna glinovita tla, visoki bikarbonata)

N-gnojiva. Nakon površinske primjene uree se počinje vrlo brzo otapati i što je tlo vlažnije brže se transformira do amonijevog karbonata. Kemijska reakcija volatilizacije je:



Gubici dušika nastaju jer je amonijak (NH<sub>3</sub>) plin. Međutim, ako se urea odmah nakon raspodjeljivanja po površini parcele inkorporira (najčešće zaore ili zatanjura), amonijak se veže na adsorpcijski kompleks tla (KIK), jednako kao i bevodni (anhidrirani) amonijak. Greška procijene gubitka dušika volatilizacijom je visoka (20 - 50 %) zbog varijabilnosti uvjeta rizika (Tablica 4.), dok je volatilizacija zanemariva pri mikrobiološkoj N-fiksaciji kvržičnim bakterijama.

### Denitrifikacija

Proces denitrifikacije može u odvijati uvjetima niskog pH, slabe prozračenosti tla (anaerobioza), zbijenog tla i velike vlažnosti, općenito u redukcijским uvjetima i tada biti vrlo brza. To je proces u kojem se NO<sub>3</sub><sup>-</sup> transformira u molekularni, odnosno plinoviti N<sub>2</sub>, kao i plinovite oblike dušičnih oksida (NO<sub>x</sub> i N<sub>2</sub>O). 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.

### Gubitak dušika erozijom, površinskim sapiranjem i starenjem biljaka

Gubici dušika erozijom tla, površinskim sapiranjem (runoff) kod zbijenih i/ili težih tala slabe upijajuće moći vode (infiltracija), emisije plinova i starenjem biljaka su mali, najčešće zanemarivi. Gubitak dušika vodenom

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. Erozijski vjetrom također može rezultirati gubitkom N, uglavnom u sušnim i semiaridnim područjima. Gubitak dušika tijekom starenja biljaka može biti 2 - 8 % od nadzemne mase biljaka, a odvija se emisijom amonijaka i onečišćenih amina.

### **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 % ( $12 - 75 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), ovisno o vrsti usjeva, sustavu uzgoja (npr. navodnjavanje ili suho ratarenje), 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 lizimetrima, mjerenjem konc. nitrata u kanalskoj mreži i piezometrima (obično više piezometara postavljenih za uzimanje uzoraka vode iz različitih dubina, ali i pomoću uzoraka nativnog tla uzetih posebnim dubinskim sondama. Naravno, procjenu 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" (međusjevi), postrni usjevi ili sjetva krmnog bilja iza glavnog usjeva, "usjevi hvatači" za sprečavanje ispiranja hraniva iz „golog“ tla zimi i dr.).

U Osijeku 29. rujna 2018. god.

*Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović*