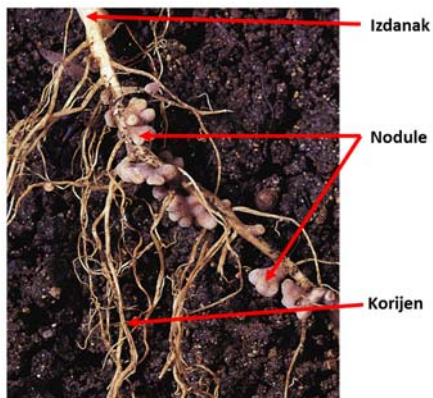


## Kako postići da sve biljke usvajaju dušik iz zraka?

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

[Nova tehnologija razvijena na sveučilištu Nottingham](#) omogućuje da svi poznati usjevi mogu usvajati dušik iz zraka što će dramatično sniziti troškove proizvodnje jer će se veoma smanjiti potreba za N i/ili N-prihranom, a ujedno smanjiti rizik od ekološkog opterećenja okoliša, posebice nadzemnih i podzemnih voda.

Biološko fiksiranje dušika iz atmosfere je proces koji posjeduju samo neki mikroorganizmi (simbiotske kvržične bakterije iz roda *Rhizobium*, *Sinorhizobium* i *Bradyrhizobium* na korijenu leguminoza (Slika 1.), kao i nesimbiotske bakterije iz rodova *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Klebsiela* i dr.,



Slika 1. Nakupine kvržičnih bakterija (nodule) na korijenu

plavozelene alge iz rodova *Chroococcales*, *Chamaestiphonales* i *Hormonogales*, a možda i neke gljive) koji im omogućuje transformaciju molekularnog dušika iz zraka ( $N_2$ ) u amonijski oblik dušik ( $NH_4^+$ ) potrebnog za sintezu aminokiselina, odnosno bjelančevina i nukleinskih kiselina, zapravo svih drugih tvari koje sadrže dušik. Budući da samo vrlo mali broj biljaka, od kojih su najpoznatiji mahunarke (npr., soja, grašak, grah, lucerna itd.), mogu uz pomoć ograničenog broja vrsta simbiotskih bakterija koristiti dušik iz zraka, velika većina biljaka ograničena je na usvajanje mineralnih oblika dušika iz tla.

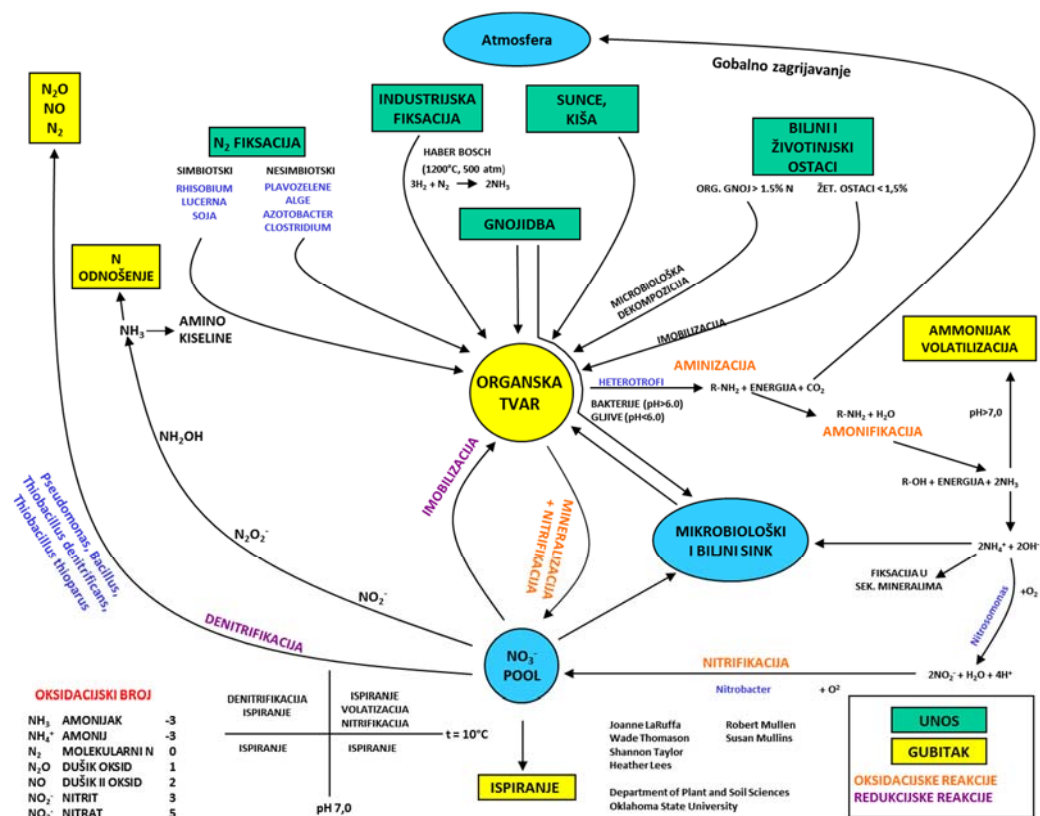
Prirodni izvori raspoloživog dušika u tlu, neovisno potječe li dušik iz humusa, biljnih ostataka i drugih izvora (nesimbiotski, slobodno živeći mikroorganizmi, oborine, voda za navodnjavanje i dr., Slika 2.) nisu

dovoljni pa je gnojidba nužna agrotehnička mjera za postizanje visokog prinosa zadovoljavajuće kvalitete, posebice u odnosu na sadržaj bjelančevina. Budući da je izvor organskih gnojiva ograničen, primarna organska proizvodnja oslanja se na primjenu sintetskog mineralnog (nitratni i amonijski oblik) ili organskog dušika (npr. urea, amidi, humini i sl.).

Ukratko se o dušiku može reći:

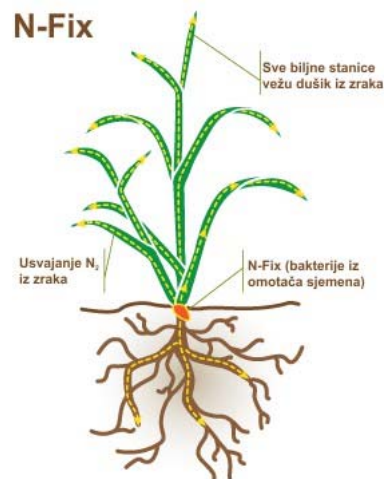
- Podrijetlom je iz atmosfere ( $N_2$ ), ali ga biljke usvajaju pretežito u mineralnom obliku i zato se svrstava u grupu mineralnih elemenata,
- Sastavni je dio proteina, nukleinskih kiselina, fotosintetskih pigmenata, amina, amida i drugih spojeva koji čine osnovu života pa je kemija ovog elementa najvažniji dio 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 % težinski, odnosno ukupno  $3,8 \cdot 10^{15}$  tona, ili  $86,5 \text{ t ha}^{-1}$  u plinovitom obliku),
- Za transformaciju molekularnog oblika dušika ( $N_2$ ) do amonijaka i nitrata, u kojem ga obliku biljke usvajaju, potrebna je ogromna količina energije:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$  ( $\Delta H^\circ = -45,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ),
- S druge strane, dušik se lako vraća iz mineralnih oblika u molekularno stanje u kojem je i najstabilniji pa se lako gubi iz tla gdje se njegova količina procjenjuje na ukupno  $4 \cdot 10^{14}$  tona,
- Dušik tla je u obliku organskih i anorganskih spojeva,
- Organski dio predstavljen je humusom i nepotpuno razloženim biljnim i životinjskim ostacima,
- Mineralni dio, koji je potpuno raspoloživ za usvajanje, samo je mali dio ukupnog dušika tla, uglavnom u količini koja je nedovoljna za dobru ishranu poljoprivrednih vrsta biljaka,
- U poljoprivrednim tlima ukupna količina N je najčešće  $< 0.1 - 0,3 \%$  od čega je za ishranu bilja pristupačno tijekom jedne vegetacijske sezone svega 1 do 3 %,
- Zbog male količine u tlu, a velikih potreba u ishrani bilja, u suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji primjena dušika gnojidbom nezamjenjiva agrotehnička mjera (jer su pristupačne količine dušika u tlu nedovoljne za postizanje visokih prinosa) i

Ukupna količina N u tlu ovisi od niza činitelja kao što agrotehnika (npr.: gnojidba, visina prinosa, plodosmjena, količina žetvenih ostataka i dr.), klima, vegetacija, topografija terena, matični supstrat, starost tla itd.



Slika 2. Ciklus dušika u prirodi

Danas je već moguće genetskim inženjeringom prenijeti tzv. *nif operon* (*nitrogen fixation operon*) s jednog na drugi mikroorganizam (npr.: *Klebsiela pneumoniae* → *Escherichia coli*, *Klebsiella aerogenes*, *Salmonella typhimurium*), ili na mikorizne gljive (npr. *Azotobacter* → *Rhizopogon*). Međutim, istraživanjem na sveučilištu *Nottingham* pronađen je specifičan, unutarstanični soj bakterije (*Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Gd*) na šećernoj trski koji veže dušik, a moguće ga je *inokulirati* (kolonizirati) na druge usjeve tehnologijom nazvanom *N-Fix*. Implikacije ovog istraživanja su višestruko značajne s aspekta poljoprivrede, očuvanja i zaštite okoliša, ali i u energetskom smislu jer proizvodnja amonijskog dušika (*Haber-Boschov postupak*) zahtijeva velike količine zemnog plina i ogroman utrošak energije da se N<sub>2</sub> iz atmosfere prevede u NH<sub>4</sub>. Zagađenje okoliša nitratnim oblikom dušika (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) je najveći problem, ali je značajno i zagađenje atmosfere amonijakom, kao i dušikovim oksidima obzirom na njihov destruktivan utjecaj na Zemljin ozonski sloj.



Slika 3. Primjena N-fix bakterija

**N-Fix tehnologija** (Slika 3.) podrazumijeva prirodnu fiksaciju dušika iz atmosfere uz pomoć bakterija inkorporiranih u sve biljne stanice i ne spada u bioinženjering ili genetsku modifikaciju (**GMO**). Suština N-Fix tehnologije je poseban omotač sjemena (*peleta*) koji sadrži bakterije sposobne za vezivanje molekularnog dušika za glavne usjeve, uključujući i žitarice (Slika 3.). Istraživanja su potvrdila da N-Fix tehnologija funkcioniše i trenutno se radi na učinkovitom prepariranju sjemena.

U Osijeku, 31. ožujka 2017.