

Utvrđivanje N potrebe usjeva tijekom vegetacije

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

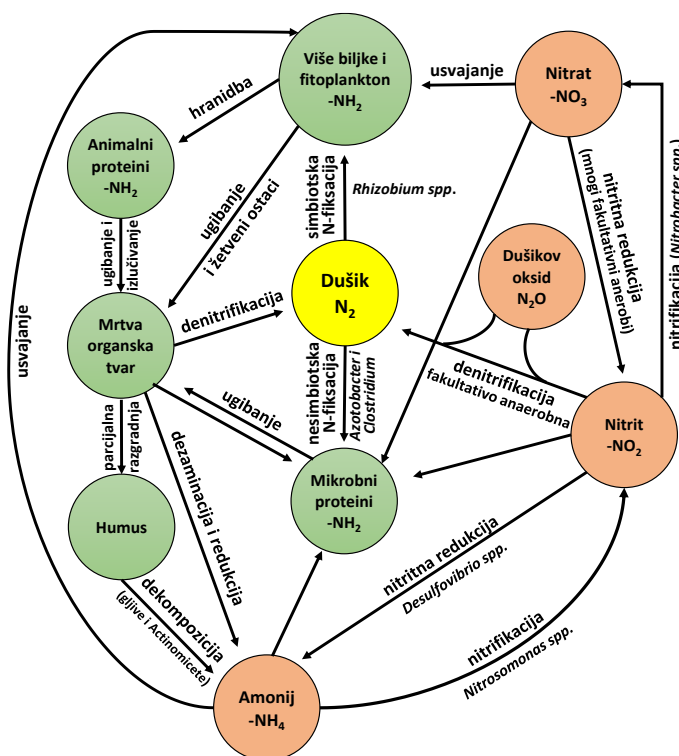
Dužik se, u agrokemijskom smislu, obzirom na povećanje ili ograničavanje visine prinosa, opravdano smatra najznačajnijim esencijalnim elementom biljne ishrane i gnojidbe i potreban je velikoj većini usjeva u velikim količinama kroz veći dio vegetacije. Premda su svi esencijalni (biogeni, neophodni) elementi u fiziološkom smislu jednako važni, jer bez nekog od 17 neophodnih elemenata biljke ne mogu završiti svoj životni (reproduktivni) ciklus, čest je, ali i opravdan stav da su u biljnoj proizvodnji sva tri glavna elementa ishrane, dužik (N), fosfor (P) i kalij (K), jednako značajni. Naime, bez fosfora i njegove nezamjenjive uloge u metabolizmu energije i tvari, u građi vitalnih spojeva i reprodukciji i kalija koji ima ključnu ulogu u fotosintezi, floemskom transportu asimilata, metabolizmu dužika i procesima skladištenja rezervnih tvari, a biljke ga usvajaju prosječno koliko i dužika, život ne bi postojao na Zemlji.

Mineralni oblici dužika u tlu (NO_3^- i NH_4^+), koji više biljke jedino mogu usvojiti, znatno mijenjaju količinsku i prostornu dostupnost tijekom vegetacijske sezone, jer ih lako i brzo usvajaju najprije mikroorganizmi, zatim korovi, a posljednji u hijerarhiji su usjevi/nasadi.

Zatim, nitratni ion NO_3^- se lako ispire iz rizosfere kretanjem vode (mass flow) i/ili difuzijom, ili se u kiselim uvjetima ($\text{pH} \leq 5$) gubi (denitrifikacija) u plinovitom obliku (N_2 ili NO_x), a amonijski ion NH_4^+ može efikasno ispariti, posebice iz suhog tla pri $\text{pH} \geq 7$ (volatizacija). Kruženje (ciklus) dužika u tlu najuže je povezan s prometom organske tvari tla te je akumulacija i razgradnja organske tvari (mikrobiološke mase, korijenja, žetvenih ostataka i dijela razgradljivog humusa) u tlu do mineralnih oblika hranjivih elemenata (tzv. mineralizacija organske tvari koju obavljaju mikroorganizmi) ključna za raspoloživost dužika i snabdjevanje biljaka dužikom, naravno uz N-gnojidbu i mikrobiološku simbiotsku i nesimbiotsku fiksaciju N_2 iz atmosfere.

Biljna proizvodnja oduvijek je ovisi o vremenskim uvjetima koji su najčešće veoma varijabilni, često i hiroviti, kako tijekom jedne vegetacijske sezone, tako i po godinama, a poljoprivrednici se tome moraju znati i moći prilagoditi. Vremenski uvjeti, a time i svi ostali (zemljišni, biljni, ekonomski i dr.) nikada nisu jednaki. Sve to utječe na ishranu usjeva pa gnojidba ne može biti svake godine identična. Možete li se sjetiti kad je posljednji put bila „normalna“ godina?

Dužik je u tlu vrlo pokretan i prolazi kroz mnoge složene promjene imobilizacije i mobilizacije, a lako se i brzo vraća u molekularno stanje u kojem je najstabilniji te mu je bioraspoloživa količina vrlo promjenjiva, kako u vremenu, tako i po dubini profila (Slika 1.). Stoga je podešavanje gnojidbe dužikom vrlo težak zadatak, osobito za ozime usjeve kad je mineralizacija najčešće blokirana uz intenzivno ispiranje iz rizosfere zbog suviška vlage u tlu te je primjena dužika u više malih doza jedino razumno i učinkovito rješenje. Kraći vremenski intervali između primjene gnojiva smanjuje rizik od gubitaka, bilo da se radi o ispiranju, sapiranju ili fiksaciji, odnosno imobilizaciji hraniva kemijskim fizikalnim ili biološkim putem, a nije niti potrebno donijeti odmah odluku o ukupno potrebnoj N-dozu. Istraživanja provedena u Kini pokazala su kako je strategija preciznog upravljanja dužikom smanjila primjenu N-gnojiva za 62 % (pšenica) i 36 % (kukuruz), povećala učinkovitost njegovog

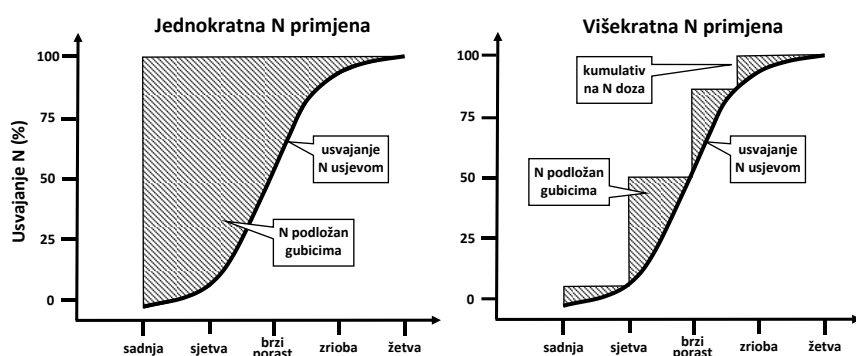


Slika 1. Prirodni ciklus dužika

[korištenja za 68-123 %, odnosno za kukuruz20-61 %](#). Ukupni gubici dušika smanjeni su za 81%, odnosno za kukuruz 57 %, te je smanjen ukupni intenzitet emisije stakleničkog plina N₂O za 54-68 %, odnosno 20-42 %.

U biljnoj proizvodnji primjenjuje se velik broj mineralnih gnojiva različitih kemijskih i fizikalnih svojstava, a najčešće su to vodotopiva gnojiva s brzim otpuštanjem (**QRF = Quick-release Fertilizers**) koja su brzo i predvidivo biljkama raspoloživa za usvajanje, jer im je krivulja otpuštanja hraniva u tlo neposredna i ne sinkronizira se niti se podudara s dinamičkim potrebama rasta usjeva. [Problemi s ispiranjem QRF gnojiva se vrlo često pojavljuju u uvjetima koji potiču ispiranje \(npr. lakša i dobro drenirana tla, visoka količina oborina, velika vlažnost tla, visoka podzemna voda, poplava i dr.\)](#).

[Usklađivanje ponude N](#) s vremenski (tj. unutar iste i između sezona) i prostorno (tj. između različitih i unutar jedne proizvodne parcele) promjenjivom potrebom usjeva važna je komponenta za održavanje optimalne visine prinosa uz smanjeni rizik ekološkog opterećenja okoliša. Višekratnu primjenu dušika tijekom vegetacijske sezone najbolje je provoditi temeljem količine mineralnog dušika u tlu i/ili njegovog statusa u usjevu. [Naime, kemijske analize tla pomažu u procjeni količine hraniva koje biljka trenutno \(u trenutku uzorkovanja tla\) može usvojiti iz tla, a analize biljne tvari koliko hraniva biljke moraju usvojiti u daljem tijeku vegetacije da bi postigle određeni prirod](#) te samo jedna vrsta analize (tla i biljke) često upućuju na različite zaključke. Dakle, precizno utvrđivanje potrebe u gnojidbi nije nimalo jednostavan, a niti apsolutno pouzdano,



Slika 2. Opća procjena potencijalnih N gubitaka kada se N-gnojivo primjenjuje jednokratno (lijevo) višekratno (desno).

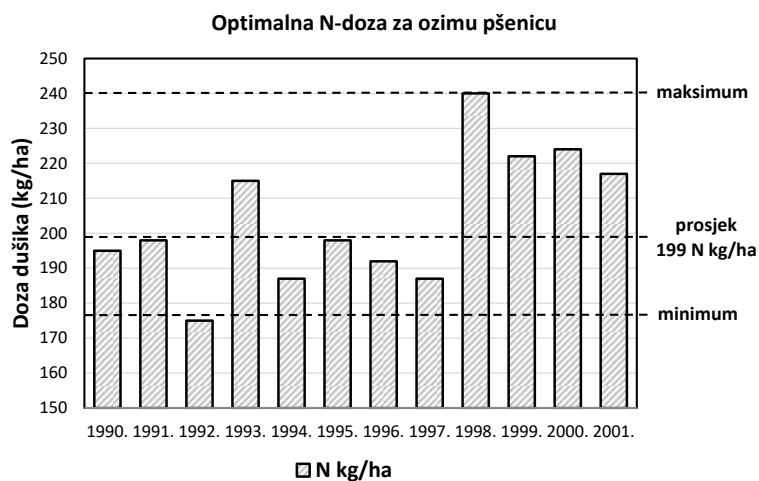
dušika prikladniji za rješavanje potreba za hranjivim sastojcima usjeva tijekom vegetacije, jer kraći vremenski raspon između primjene gnojiva smanjuje rizik gubitka (Slika 2.), a nije niti potrebno rano donijeti odluku o ispravnoj količini N gnojiva, npr. za cijelu sezonu ili dulji vremenski interval. Također, podijeljena N strategija primjene omogućuje poljoprivrednici da donesu nekoliko korektivnih odluka tijekom vegetacije, npr. u klanjanju radi poboljšanja kvalitete prinosa pšenice. Svaki put kad se donese odluka, N_{opt} se može prilagoditi stvarnim uvjetima uzgoja i statusu dušika u tlu i usjevu.

[Kemijska analiza tla je u odnosu na analizu biljnog tkiva znatno jeftinija i brža, ali u proizvodnim uvjetima, osobito na plodnim tlima, često ne postoji pouzdana veza između raspoloživosti hranjivih tvari u tlu i njihove koncentracije u biljnom tkivu](#). Stoga za pouzdano utvrđivanje N-gnojidbe treba poznavati prosječni prinos usjeva (tzv. [očekivani, realni ili dostižan prinos](#)) na užem agroekološkom području, a ne samo trenutni status hraniva temeljem analize tla i/ili biljne tvari. Zbog toga, kad želimo utvrditi učinkovitu i ujedno profitabilnu gnojidbu potrebno je primijeniti kemijsku analizu biljaka, kemijsku i fizikalnu analizu tla i vizualnu dijagnozu. To je najsigurniji put za optimizaciju doze hraniva i postizanje očekivanog prinosa uz manji trošak i uz sprečavanje štete po okoliš. Treba naglasiti da je suvremena analiza biljne tvari visoko automatizirana, točan i brz proces, a u visoko razvijenim zemljama njena cijena je zanemariva u odnosu na trošak gnojidbe. [Također, analiza biljne tvari može se provesti osim analizom biljnog tkiva i brzom analizom iscijeđenog soka različitih tkiva i biljnih organa \(npr. lišća, ploda, peteljki i dr.\) ili senzorima za mjerenje refleksije lišća \(i krošnji drveća\) koja je povezana s koncentracijom klorofila](#).

jer potrebna količina hraniva koja se daje gnojidbom i njihov omjer mijenjaju se ovisno o svojstvima i promjenama vremenskih uvjeta (npr. vlaga, temperatura, oblik i količina hraniva, pH i dr., biljnoj vrsti, kultivaru ili hibridu, stadiju razvitka biljke), odnosno velikom broju biljnih i okolišnih faktora.

Rezultati istraživanja pokazuju da je [podijeljena strategija primjene](#)

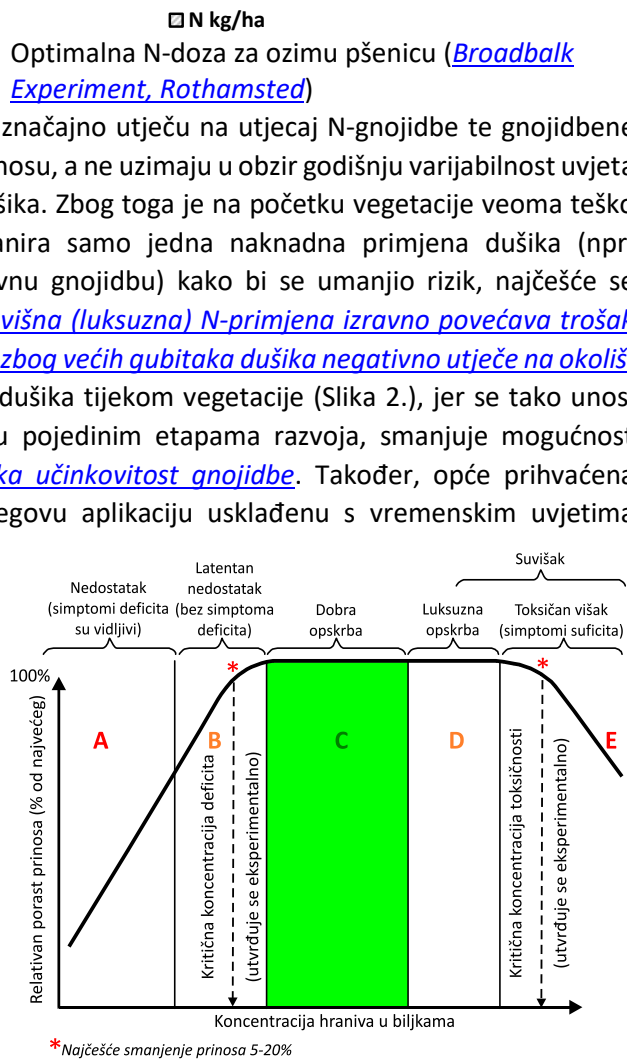
S ekonomskog aspekta biljne proizvodnje optimalna primjena dušika podrazumijeva N-doza koja daje najveći financijski povrat obzirom na cijenu proizvodnje, a označava se kao ekonomski optimalna doza ili N_{opt} . Međutim, svaki poljoprivrednik dobra zna da N_{opt} znatno varira po godinama i parcelama, čak i na istoj razini prinosa. U Rothamsted Research (Harpenden, Engleska) se od 1843 god. na istoj lokaciji obavljaju gnojidbeni pokusi i na jednom polju/pokusu s ozimom pšenicom u razdoblju 1990.-2001. god. optimalna potreba dušika (N_{opt}) znatno je varirala, od 176 N kg ha⁻¹ u 1992. do 240 N kg ha⁻¹ 1998. godine, dok je prosjek bio 199 kg N kg ha⁻¹ (Slika 3.). Primjena, kao i raspoloživost dušika iz tla znatno varira po godinama, jer to ovisi o sezonskim vremenskim uvjetima, odnosno intenzitetu mineralizacije organske tvari, kao i gubicima dušika iz tla. Vremenski uvjeti tla utječu na raspoloživost vode i hranjivih tvari za usjeve pa tako suša može znatno smanjiti usvajanje hraniva, napose dušika i znatno umanjiti prinos.



Niz interakcija između vremenskih uvjeta i svojstva tla odvija se promjenjivim intenzitetom i/ili smjerom, odnosno vremenski uvjeti značajno utječu na utjecaj N-gnojidbe te gnojidbene preporuke koje se isključivo temelje na očekivanom prinosu, a ne uzimaju u obzir godišnju varijabilnost uvjeta uzgoja često imaju za posljedicu netočnu primjenu dušika. Zbog toga je na početku vegetacije veoma teško pouzdano odrediti potrebnu N-dozu pa kad se planira samo jedna naknadna primjena dušika (npr. predstjetveno, startno ili u prihrani, uključujući osnovnu gnojidbu) kako bi se umanjio rizik, najčešće se pretjeruje s N-dozom (tzv. „luksuzna N-gnojidba“). Suvišna (luksuzna) N-primjena izravno povećava trošak uzgoja, smanjuje njenu učinkovitost i kvalitetu prinosa i zbog većih gubitaka dušika negativno utječe na okoliš. Međutim, puno bolje rješenje je višekratna primjena dušika tijekom vegetacije (Slika 2.), jer se tako unosi njegova manja količina dovoljna za ishranu usjeva u pojedinim etapama razvoja, smanjuje mogućnost gubitaka i povećava kako agronomska, tako fiziološka učinkovitost gnojidbe. Također, opće prihvaćena strategija višekratne primjene dušika omogućuje njegovu aplikaciju usklađenu s vremenskim uvjetima tijekom vegetacije. Naime, od uvođenja N_{min} metode (Scharpf & Wehrmann, 1975.) potreba za mineralnim dušikom tla relativno se lako i brzo utvrđuje što omogućuje pouzdanu N-prihranu usjevu.

Najjednostavnija (i najstarija) metoda utvrđivanja potrebe za N-gnojidbom je vizualna dijagnostika koja se u suštini temelji na procjeni boje i gustoće usjeva. Premda, kemijska analiza tla i biljaka omogućuje predviđanje manjka ili suviška pojedinih elemenata prije pojave vizualnih simptoma (što će zasigurno umanjiti prinosa), većina poljoprivrednika i dalje koristi vizualnu prosudbu za odluke o N-prihrani.

Biljka je najbolji pokazatelj opskrbe dušikom, kao i svih ostalih *biogenih (esencijalnih)* elemenata tijekom vegetacije. Naime, analiza biljne tvari (lišća i/ili drugih organa) iznimno je učinkovita tehnika determiniranja potrebe biljaka za gnojidbom. Budući je kritična koncentracija N kardinalna točka raspoloživosti koja najčešće ima nelinearan odnos s usvojenom količinom dušika, produkcija biomase je opći fenomen za mnoge vrsta usjeva jer se mijenja tijekom rasta i razvoja biljaka. Zbog toga je potrebno usjev analizirati kroz razvojne stadije i to točno određeni dio biljke, jer



Slika 4. Odnos koncentracije hranjivih tvari u biljkama i relativna proizvodnja

Budući je kritična koncentracija N kardinalna točka raspoloživosti koja najčešće ima nelinearan odnos s usvojenom količinom dušika, produkcija biomase je opći fenomen za mnoge vrsta usjeva jer se mijenja tijekom rasta i razvoja biljaka. Zbog toga je potrebno usjev analizirati kroz razvojne stadije i to točno određeni dio biljke, jer

optimalna koncentracija N znatno varira između pojedinih biljnih organa. Kada koncentracija biljnih hraniva dopušta 80-95 % maksimalne visine prinosa ona odgovara tzv. *kritičnoj razini*, a raspon koncentracije hraniva između kritične razine i maksimalne proizvodnje označava se kao dobra, adekvatna ili dostatna ishrana (Slika 4.). *Povećanim usvajanjem biogenih elemenata raste i sinteza organske tvari pa se uslijed razblaženja (tzv. Steembjerg efekt) snižava koncentracija elemenata, ali je pritom njihov sadržaj (ukupna količina) u biljkama veći.* Zbog toga se, uglavnom u znanstvene svrhe, često se koristi indeks ishranjenosti dušikom (***NNI = N Nutrition Index***) koji označava omjer između stvarne (trenutne) i kritične N koncentracije kod određene količine biomase (suhe tvari). Naime, kritična konc. N biljaka smanjuje se povećanjem biomase pa ***NNI >1*** ukazuje na dobru, a ***NNI <1*** ukazuje na nedostatnu opskrbu dušikom, što pomaže u preciznijem određivanju potrebe usjeva za dušikom.

Analize biljne tvari (u suhom i svježem stanju), jednako kao i analize tla, zahtijevaju kalibraciju (utvrđivanje *graničnih vrijednosti*) u terenskim uvjetima. Premda kemijska analiza tla daje puno brže podatke o raspoloživoj količini hraniva u tlu prema analizi biljne tvari, što je najčešće znatno i jeftinije, *u proizvodnim uvjetima, posebice na plodnim tlima, često ne postoji pouzdana veza između raspoloživosti hranjivih tvari u tlu i njihove koncentracije u biljnom tkivu*, jer na usvajanje hraniva iz tla utječu mnogobrojni faktori, što se ne može simulirati kemijskom ekstrakcijom hraniva iz tla.

Biljna tvar se može analizirati i u svježem stanju, posebice kad se koriste brzi, semikvantitativni analitički testovi, npr. za potrebe N-prihrane, ili rješavanja akutnog deficita nekih drugih biogenih elemenata. Danas postoji više jednostavnih, polukvantitativnih, terenskih testova kojima se u proizvodnim (ne laboratorijskim) uvjetima može dovoljno pouzdano utvrditi status dušika u biljkama. *Općenito, nitratni testovi soka biljaka u odnosu na mjerenje ukupnog N znatno su osjetljiviji jer biljke brže reagiraju na raspoloživost N-NO₃ u odnosu na N-NH₄ dušik.* Brze test-metode biljne tvari temelje se na analizi soka (koriste se još od 1920.) iscijeđenom iz lišća ili drugih biljnih organa (peteljki, gomolja i dr.), zatim mjerenjem refleksije i/ili apsorpcije specifičnih valnih duljina svjetlosti lišća (npr. klorofilometri ili SPAD tester), ali i drugim suvremenim metodama (Slike 5., 6. i 7.)



Slika 5. Prijenosni mjerac klorofila (tzv. SPAD; valne duljine 650 nm i 940 nm), konc. N-NO₃ (točnost 5%) i temperature lista s GPS-om



Slika 6. Kompaktni brzi tester nitratnih iona pomoću ion selektivne membrane.



Slika 7. Mobilni reflektometar s test trakama za mjerenje 20 parametara (pH, N-NO₃, N-NH₄, K, Ca, Mg, Fe itd.)

Koncentracija klorofila dobro korelira s koncentracijom dušika u lišću što je utvrđeno mnogobrojnim pokusima (Slika 5.), ali i drugi faktori utječu na mjerenje, npr. nedostatak sumpora, suša, starost lišća, odnosno etapa razvoja, kao i sortna (genetska) specifičnost koja se lako zapaža zbog različite boje lišća u istim uvjetima uzgoja. [Dakle, zbog što veće pouzdanosti mjerenja konc. klorofila potrebno je strogo se pridržavati propisanog protokola.](#)

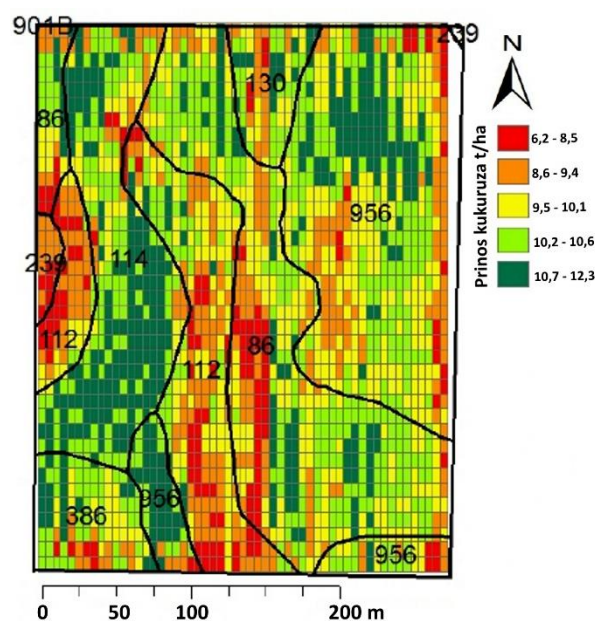
[Danas se sve češće koriste i testeri s ion selektivnim elektrodama i drugim senzorima](#) (Slika 6.). [Ove metode su vrlo brze, jeftine i pogodne za primjenu na terenu svaki put kada se pojave simptomi poremećaja ishrane biljaka ili postoji potreba za određivanje trenutka i/ili doze hraniva za prihranu.](#) Ne treba zaboraviti da je brzina analize na štetu većeg broja informacija pa je dobro kod primjene brzih kemijskih metoda ispitati i svojstva tla.

Suvremena poljoprivreda, naročito biljna proizvodnja, ubrzano prihvaćaju i primjenjuju tehnologiju tzv. [pametne poljoprivrede \(Smart Farming\)](#) koristeći, obrađujući i primjenjujući velik broj podataka pomoću brzih komunikacijskih tehnologija (**ICT = Information and Communication Technologies**). Nakon napretka u uzgoju i oplemenjivanju/genetici bilja, [pametna poljoprivreda](#) (često nazivana i [treća zelena revolucija](#)), integrira **ICT** rješenja, odnosno preciznu agrotehniku s korištenjem interneta (**IoT = Internet of Things**), [senzorima](#) i [aktuatorima](#), [sustavima za geopozicioniranje](#), brojnim podacima o prostoru, klimi, tlu, biljkama, tehnologiji i dr., [bespilotnim letjelicama \(tzv. dronovi\)](#), [robotici](#) itd.

Mogućnost integriranja agrometeoroloških informacija (podaci o prošlim vremenskim prilikama i vjerojatnim budućim scenarijima) kao i drugih brojnih podataka o tlu (npr. laka tla sklona su brzom vlaženju i podložnija promjenama raspoloživosti N u odnosu na teža) što znatno utječe na donošenje pouzdanih odluka o vremenu, načinu primjene i N-dozu. Zbog toga se prostorne i vremenske varijacije moraju integrirati, jer zajedno sa svojstvima tla utječu na N_{opt} pa se može pretpostaviti kako upravljanje dušikom neće biti učinkovito ako se vremenske prilike ne povezuju s prostornom varijabilnošću proizvodnih parcela.



Slika 8. [Monitor prinosa u kombajnu](#)



Slika 9. [Karta prinosa kukuruza](#)

Pametna poljoprivreda [poštujući postulate održivosti](#) može zasigurno povećati produktivnost utemeljenu na preciznijem i učinkovitijem pristupu što je prepoznato u SAD gdje ~80 % poljoprivrednika već koristi neku vrstu tehnologija pametne poljoprivrede, ali u Europi to još uvijek nije više od 24 %.

Premda je varijabilnost unutar jedne proizvodne površine jasno prepoznatljiva, ali tek pojavom tehnologija koje koristi precizna poljoprivreda bilo je moguće točno locirati problematične dijelove, a onda i utvrditi uzrok

drugim tehnikama. Naime, mjerenjem prinosa u žetvi (*monitori prinosa; senzori mase i protoka volumena*; Slika 8.) uz [GPS geopozicioniranje](#) moguće je izraditi kartu prinosa (Slika 9.) visoke rezolucije i prema njoj automatski podešavati u slijedećoj vegetacijskoj sezoni gnojidbu, osobito dušikom (npr. nedovoljna ishranjenost, promjene u teksturi i strukturi u brže ispiranje N itd.). Monitori prinosa ugrađeni u kombajn, prethodno se moraju kalibrirati za vrstu usjeva, a mjere u stvarnom vremenu količinu zrna i njegovu vlagu, memoriraju količinu i lokaciju na svakom dijelu parcele i kreiraju kartu prinosa.

[Za potrebe N-prihrane usjeva sve više se koristi snimanje refleksije svjetlosti usjeva \(danas uglavnom pomoću dronova, satelita ili na traktor\) temeljem čega se izračunavaju indeksi vegetacije, najčešće NDVI indeks \(Normalized Difference Vegetation Index ili normalizirani indeks vegetacije\), ali se eksperimentira i s drugim indeksima koji su specifični i prilagođeni tlu i vrsti usjeva \(npr. prilagodba tlu kao što je SAVI = Reflectance Soil Adjusted Vegetation Indeks, EVI = Enhanced Vegetation Index, NNI = Nutrition Nitrogen Index\) i dr. N-senzori postavljeni na traktor skeniraju multispektralno usjev u stvarnom vremenu \(tijekom N-prihrane\), izračunavaju optimalnu N-dozu te raspodjeljivač gnojiva primjenjuje tzv. varijabilnu dozu N- gnojiva u pokretu.](#)

N-senzori mogu biti pasivni (mjere refleksiju prirodne svjetlosti) ili aktivni koji koriste umjetni izvor svjetlosti što im omogućuje mjerenje [fluorescencija klorofila \(emitiranje svjetlosti klorofila kad se elektroni brzo vraćaju iz pobuđenog stanja\)](#) pa na rezultat skeniranja usjeva vrlo malo utječe promjena intenziteta i kvalitete dnevne/prirodne svjetlosti, a mogu se primjenjivati i noću. Ispitivanjima na terenu dokazano je da primjena N-senzora povećava učinkovitost N-prihrane, usjevi su ujednačeni, ujednačeno sazrijevaju, a prinos zrna bolje kvalitete.

U Osijeku, 6. veljače 2021. god.