

# Primjena N-min metode i računalnog modela za izračun doze dušika u uzgoju ozime pšenice

---

**Grubišić, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:218035>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Dino Grubišić.

Diplomski studij Bilinogojstvo

**PRIMJENA N-MIN METODE I RAČUNALNOG MODELA ZA IZRAČUN DOZE  
DUŠIKA U UZGOJU OZIME PŠENICE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2020.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Dino Grubišić,

Diplomski studij Bilinogojstvo

**PRIMJENA N-MIN METODE I RAČUNALNOG MODELA ZA IZRAČUN DOZE**  
**DUŠIKA U UZGOJU OZIME PŠENICE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član

**Osijek, 2020.**

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Cilj diplomskog rada.....	1
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	2
2.1. Pšenica .....	2
2.1.1. Važnost kulture.....	2
2.1.2. Specifičnosti uzgoja pšenice.....	3
2.1.3. Gnojdba pšenice dušikom .....	4
2.1.4. Razvoj pšenice po fazama .....	5
2.2. Dušik .....	6
2.2.1. Općenito o dušiku.....	7
2.2.2. Dušik u tlu .....	7
2.2.3. Dušik u biljci .....	12
<b>3. MATERIJALI I METODE</b> .....	17
3.1. Lokalitet i uzimanje uzoraka tla.....	17
3.2. Određivanje nitratnog dušika brzom test-metodom.....	18
3.3. Određivanje amonijskog dušika po Nessleru.....	20
3.4. N-min kalkulator .....	20
<b>4. REZULTATI</b> .....	22
4.1. Pedološki profil i osnovna kemijska analiza.....	22
4.2. N-min kemijska analiza i izračun .....	24
<b>5. RASPRAVA</b> .....	28
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	32
<b>7. POPIS LITERATURE</b> .....	33
<b>8. SAŽETAK</b> .....	36
<b>9. SUMMARY</b> .....	37
<b>10. POPIS TABLICA</b> .....	38
<b>11. POPIS SLIKA</b> .....	39
<b>12. POPIS GRAFIKONA</b> .....	40

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**

**BASIC DOCUMENTACION CARD**

## **1. UVOD**

Dušik se smatra jednim od najznačajnijih elemenata biljne ishrane. Količine duška u tlu nisu dostatne za postizanje visokih prinosa, stoga je gnojidba dušikom neizostavna agrotehnička mjera. Također, sama raspoloživost dušika u tlu ovisi o nizu čimbenika (klima, vegetacija, matični supstrat, starost tla i drugo). Mineralna gnojiva se u poljoprivrednoj proizvodnji intenzivno koriste za povećanje prinosa, ali prekomjerna primjena dušičnih gnojiva može rezultirati brojnim ekonomskim, zdravstvenim i ekološkim problemima. Tako neiskorišteni dušik ispiranjem može završiti u podzemnim vodama, te kroz potoke i rijeke ući u našu pitku vodu. Suprotno suvišku nedostatne količine dušika dovode do remećenja biljnih funkcija i u konačnici zaustavljanja rasta. Stoga je adekvatna primjena dušičnog gnojiva ključ za profitabilnu biljnu proizvodnju koja se treba temeljiti na analizi tla i naprednim gnojidbenim izračunima.

### **1.1. Cilj diplomskog rada**

Cilj ovog diplomskog rada je na temelju analize tla i N-min metode izračunati optimalnu dozu dušika za prihranu ozime pšenice.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Pšenica

Pšenica je biljka iz roda *Triticum*. Najpoznatija vrsta je *T. aestivum* ili obična pšenica. Ova trava kultivira se uzgaja zbog svojih sjemenki, a zbog svojih specifičnosti važna je u prehrani ljudi, životinja i u komercijalnoj upotrebi.

#### 2.1.1. Važnost kulture

U poljoprivredi, pšenica je jedna od najvažnijih kultura na svijetu (osim riže i kukuruza) i najvažnija žitarica u ovom dijelu svijeta. Prema Khanu i Shewryju (2009.), stare civilizacije Babilona, Egipta, Krete, Grčke i Rima temeljile su se na pšenici kao glavnoj biljci za prehranu i pripisivali su njezino postojanje različitim bogovima.

Pšenica je glavna prehrambena komponenta na svijetu zbog svoje agronomske prilagodljivosti, jednostavnosti skladištenja, prehrambene dobrobiti i sposobnosti brašna da proizvodi raznoliku ukusnu, zanimljivu i zadovoljavajuću hranu. Tijesto proizvedeno od pšeničnog brašna razlikuje se od onih proizvedenih od drugih žitarica po svojim jedinstvenim viskoelastičnim svojstvima. Ovo svojstvo je odgovorno za univerzalnu uporabu pšenice za širok spektar proizvoda. Među njima su kruh, rezanci, kolači, keksi, krafne, kroasane, peciva, pizze, pogača i chapatti (Khan i Shewry, 2009.).

Općenito je prihvaćeno da pšenica potječe iz doline rijeka Tigris i Eufrat i da je uzgoj pšenice kao prehrambene kulture vjerojatno započeo između 10 000 i 8 000 pr.n.e. U egipatskim grobnicama, starim 5 000 godina, otkriveni su hijeroglifi koji prikazuju žetvu i obradu pšenice. Kineski zapisi o pšenici datiraju iz 2 700 p.n.e. (Finnie i Awell, 2016.).

Promjene u korištenju pšenice u posljednja dva tisućljeća jasno pokazuju kako su ljudi u zapadnim zemljama progresivno usavršavali mljevenje brašna, posebno tijekom Industrijske revolucije u 19. stoljeću, kao i prosijavanje i preradu brašna kako bi dobili rafinirano bijelo brašno za proizvodnju kruha (Branlard i Chiron, 2016.; u Igrejas i Branlard, 2020.). Ovi naponi pridonijeli su porastu važnosti krušne pšenice za prehranu ljudi u usporedbi s drugim žitaricama poput ječma i raži. Ali eventualna dominacija krušne pšenice nad raženim kruhom također je rezultat potražnje potrošača za bijelim kruhom, relativnog porasta proizvodnje pšenice u brojnim zapadnim zemljama, evolucije prometa morskim i željezničkim prugama (Braudel, 1985.; u Igrejas i Branlard, 2020.) i poboljšanja u genoplazmi koju su postigli agronomi i genetičari pšenice. Prve hibridizacije razvio je de Vilmorin u Francuskoj od sredine devetnaestog stoljeća, a Strampelli u Italiji početkom dvadesetog stoljeća

(Bonjeanetal. 2011.; u Igrejas i Branlard, 2020.) zahvaljujući ponovnom otkrivanju Mendelovih zakona genetike.

### *2.1.2. Specifičnosti uzgoja pšenice*

Pšenica se uzgaja u kontinentalnoj klimi, a najpovoljnija temperatura je 14-20°C pri kojoj niče za 5-7 dana. Pri temperaturi od 7-8°C niče za 17-20 dana, a pri nižim temperaturama klijanje i nicanje još su sporiji. Kad ima 2-3 lista, ako je dobro ukorijenjena i ishranjena, može podnijeti i do -20°C, a prekrivena snježnim pokrivačem i niže temperature (Pajić, 2018.; Gooding i Davies,1997.).

Produljenje koleoptila izravno je povezano s temperaturom tla. Tla koja su previše hladna ili topla skraćuju duljinu koleoptila. Istraživanje pokazuje da su koleoptila najduža kada su temperature tla između 10 i 15 °C. To je jedan od razloga zašto u različitim područjima uzgoja pšenice postoji različitost u nastanku i uspostavljanju (GRDC Grownotes, 2016.).

Pšenici tijekom vegetacije trebaju pravilno raspoređene oborine i to u količini od 500 do 700 mm. Izraženu osjetljivost na sušu ima u razdoblju vlatanja, formiranja i nalijevanja zrna, a najviše ako je ovaj nedostatak vlage praćen visokim temperaturama od 25 do 30°C (iznad 30°C temperature za uzgoju pšenice su previsoke) (Pajić, 2018.).

Slabo kisela i neutralna tla sa umjerenom vlažnosti i velikom dubinom najbolja su za uzgoj pšenice. Zbog pojačane opasnosti od razvoja bolesti u monokulturi, pšenica se inače ne sije u monokulturi, već u predusjevu ide najčešće kukuruz. Međutim, najbolji predusjevi su zrnate mahunarke (grah, grašak, soja), krmne leguminoze te industrijsko bilje (uljana repica, suncokret, šećerna repa) (Pajić, 2018.).

Obrada tla za uzgoj pšenice ovisi o nekoliko čimbenika: tipu predusjeva, količini žetvenih ostataka i tipu zemljišta. Nakon ranijih predkultura obavlja se plitko oranje ili duboko tanjuranje radi unošenja biljnih ostataka i očuvanja vlage, a zatim oranje na punu dubinu s unošenjem osnovne količine mineralnog gnojiva. Dubina osnovne obrade iznosi u prosjeku 25 cm, a ovisi o tlu i klimatskim uvjetima. Radi se 2 do 3 tjedna prije sjetve kako bi se tlo sleglo (Pajić, 2018.).

Dopunskom ili predsjetvenom obradom tla (tanjurača, drljača ili sjetvospremač) stvara se usitnjeni površinski sloj. Poželjno je da bude orašasto-mrvičaste strukture do dubine sjetve. Kvalitetna priprema tla za sjetvu omogućava kvalitetnu sjetvu, brzo i ujednačeno nicanje.

### 2.1.3. Gnojidba pšenice dušikom

Dušik (N) je ključan za rast biljaka i obično se primjenjuje u umjerenim i visokim razinama tijekom pripreme sjemena, a bezvodni amonijak ili urea se često koriste.

Gnojidba žitarica i travnatih krmnih kultura organskim i anorganskim gnojivima dugo je prepoznata kao ključna za poboljšanje prinosa i gospodarskih povrata. Globalno gledano, dušično gnojivo se uvelike koristi za proizvodnju žitarica te čini oko 40% povećanja proizvodnje hrane po glavi stanovnika u posljednjih 50 godina. Procjenjuje se da dušična gnojiva opskrbljuju do 40% svjetskog prehrambenog proteina, a ovisnost će se povećati u budućnosti. Dušikovi spojevi također su prepoznati po mnogim potencijalnim štetnim utjecajima na okoliš i zdravlje (Keeney i Hatfield, 2008.).

Korištenje mineralnih gnojiva neizostavan je čimbenik uspješne poljoprivredne proizvodnje, a za željene rezultate, potrebno je prije svega provesti kemijsku analizu tla kako bi se utvrdila raspoloživost pojedinih hraniva u tlu i gnojidba obavila prema preporuci. Pravilna gnojidba obuhvaća osnovnu gnojidbu, predstjetvenu gnojidbu te prihranu. U jesen treba primijeniti gnojiva za osnovnu gnojidbu s naglašenim sadržajem fosfora i kalija (NPK 7:20:30; 0:20:30; 10:30:20; 8:26:26) te manji udio dušika, ovisno o potrebi tj. predkulturi (Pajić, 2018.).

Prihrana pšenice obavlja se u skladu sa etapama razvoja pšenice i raspoloživošću dušika u tlu. Treba je obaviti kada počinje meristemska aktivnost umnožavanja vegetacijskih organa i kod zametanja komponenti klasa. Prva prihrana iznimno je važna jer utječe na razvoj klorofila u listu, intenzivniju fotosintezu i brži rast biljaka. Druga prihrana obavlja se u trenutku zametanja klasića koja pada u početku vlatanja. Taj trenutak određuje se isključivo na temelju stanja razvoja usjeva pšenice kad se zametak klasa primjetno odvoji od čvora busanja (~2 cm). Treća prihrana u klasanju, ili pred oplodnju ima malo značenje za visinu priroda, ali često utječe na porast hektolitarske mase i veći sadržaj dušika u zrnu. Međutim, mnogi istraživači smatraju da treća prihrana nema utjecaja na kvalitetu zrna jer se tada pretežno akumuliraju niskomolekularnioblici dušika (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Dušik se vrlo lako može isprati iz tla ako nastupe uvjeti velike vlažnosti tla (obilna kiša ili neprekidno vlažno vrijeme). Prekomjerna dušična gnojidba koja se primjenjuje blizu sjemena može dovesti do problema s toksičnošću. (GRDC Grownotes, 2016.).

Jurić i sur. (2008.) su na poljskom pokusu blizu Osijeka istraživali utjecaj različitih obrada tla i gnojidbe dušikom (130, 160 i 190 kg N/ha) na prinos i kakvoću pšenice (hektolitarska i

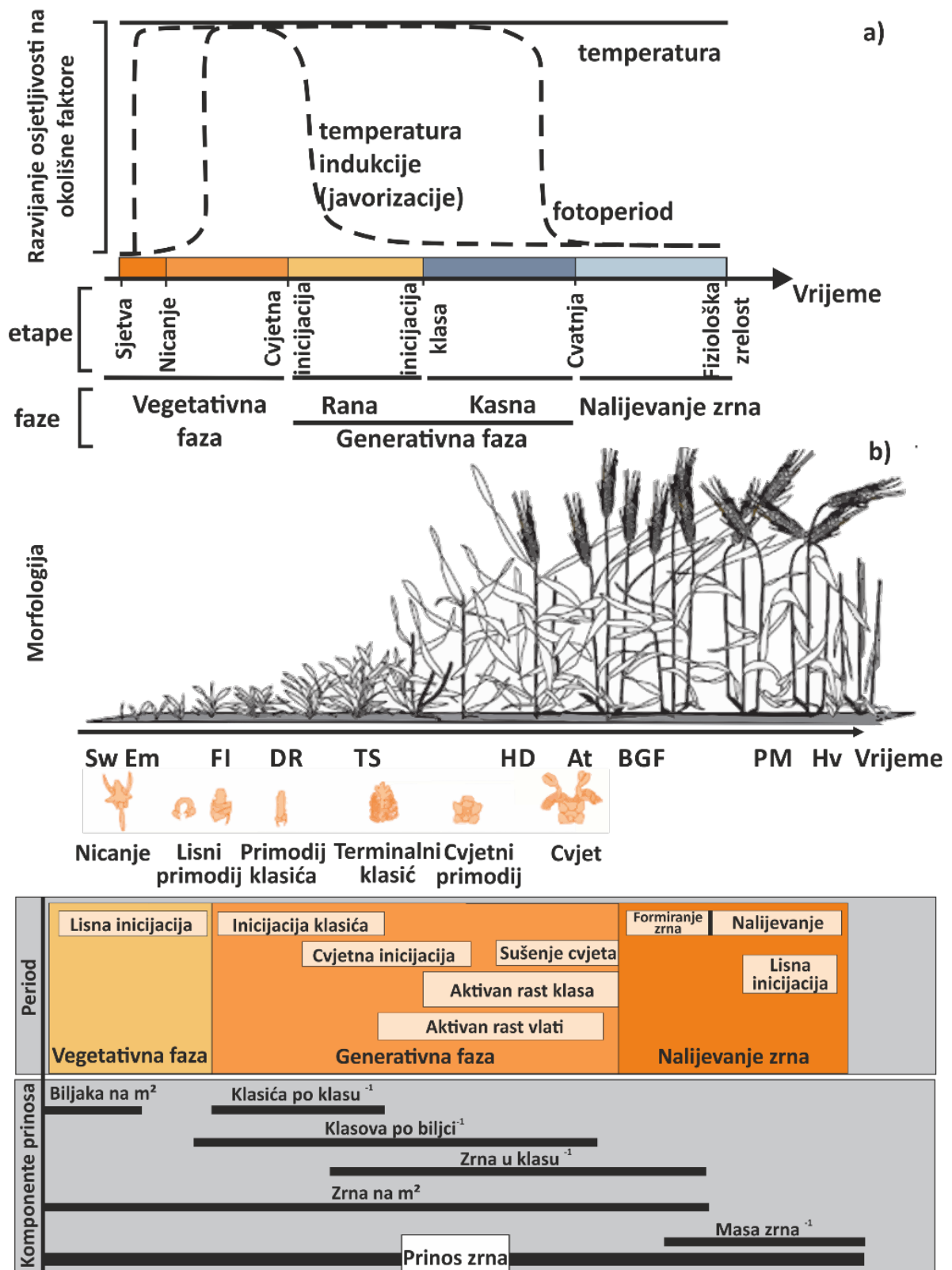


apsolutna masa). Istraživanje je pokazalo da dušik ima značajan utjecaj na prinos. S porastom količina dušika rastao je prinos ali se nije mijenjala kakvoća pšenice.

#### *2.1.4. Razvoj pšenice po fazama*

Faze rasta i razvoja pšenice podijeljene su na dva glavna razdoblja: vegetativno (klijanje, nicanje, busanje) i generativno (vlatanje, klasanje, cvatnja, oplodnja, formiranje zrna i zrioba) (Slika 1.) (Pospišil i Pospišil, 2013.). Postoje male razlike u klasifikaciji faza, pa tako formiranje i nalijevanje te dostizanje fiziološke zrelosti spadaju u treću fazu nalijevanja zrna.

Pšenica prolazi kroz 12 etapa organogeneze. U prvoj etapi formira se inicijalni meristem iz kojeg se dalje oblikuje konus rasta s prvobitnim začetcima organa. U drugoj fazi konus rasta diferencira se na začetke nodija i internodija stabljike, a formiraju se i začetci listova. Treća etapa počinje po završetku stadija jarovizacije. Izdužuje se konus rasta i formiraju se začetci budućih članaka vretena klasa. Četvrtu etapu organogeneze karakterizira formiranje klasića na klasu i određenje njihova konačnog broja. Etapa se poklapa sa početkom vlatanja. U petoj etapi u klasićima počinje formiranje cvjetova i pljevica i tada je biljci potrebna dovoljna količina hraniva i vode. Ukoliko u fazi nalijevanja zrna budu nepovoljni uvjeti za biljku, u klasiću će bit veći broj sterilnih i nenalivenih zrna. U šestoj etapi se formiraju prašnici, tučak i polenova zrnca. U polenovim zrnima se formiraju jednostanične mikrospore, a u tučku embrionalna vreća. Nepovoljni uvjeti u ovoj etapi uzrokuju smanjen prinos pšenice. U sedmoj etapi dolazi do izduživanja svih dijelova klasa. U osmoj etapi pšenica počinje klasati, dok se u devetoj etapi odvija proces cvatnje, oprašivanja i oplodnje. U desetoj etapi dolazi do formiranja zrna pšenice, u jedanaestoj dolazi do nalijevanja zrna sa hranivima koja se u dvanaestoj etapi pretvore u rezervnu tvar sjemena (Slika 1.) (Miljević, 2015.).



Slika 1. Organogeneza i fenofaze ozime pšenice. Izvor: Vukadinović i sur., 2014.

## 2.2. Dušik

### 2.2.1. Općenito o dušiku

Dušik je kemijski element sa simbolom N i atomskim brojem 7. Prvi ga je otkrio i izolirao škotski liječnik Daniel Rutherford 1772. godine.

Dušik dolazi iz atmosfere, ali se usvaja u mineralnom obliku i svrstava u grupu mineralnih elemenata. Sastavni je dio proteina, nukleinskih kiselina, fotosintetskih pigmenata, amina, amida i drugih spojeva koji čine osnovu života pa se kemija ovog elementa opravdano smatra najvažnijim dijelom 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 % po masi, odnosno ukupno  $3,8 \times 10^{15}$  t, ili  $86,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) u plinovitom obliku ( $\text{N}_2$ ) (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Dušik postoji kao dva stabilna izotopa,  $^{14}\text{N}$  (99,63%) i  $^{15}\text{N}$  (0,3%). Oni se mogu odvojiti kemijskom izmjenom ili toplinskom difuzijom. Umjetni radioaktivni izotopi su mase 10–13 i 16–24. Najstabilniji je poluživot od samo oko 10 minuta. Prvu umjetno izazvanu nuklearnu transmutaciju izvijestio je (1919.) britanski fizičar Ernest Rutherford, koji je bombardirao dušik-14 alfa česticama da bi tvorio jezgre i protone kisika-17 (Encyclopaedia Britannica, 2020.).

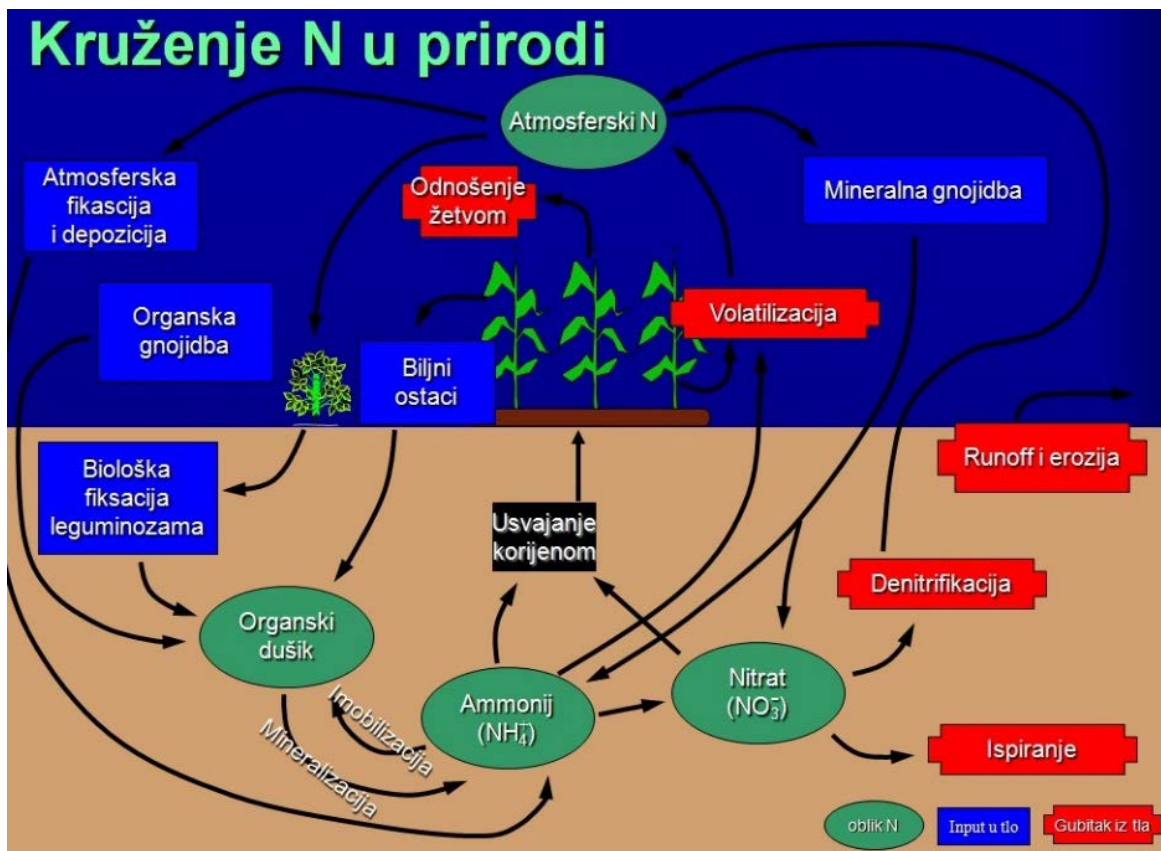
Dušik je važan za kemijsku industriju. Koristi se za izradu gnojiva, dušične kiseline, najlona, boja i eksploziva. Da bi se napravili ti proizvodi, dušik prvo mora reagirati s vodikom da bi se stvorio amonijak. To se vrši postupkom Haber. Na ovaj se način godišnje proizvede 150 milijuna tona amonijaka.

Dušični plin se koristi i za stvaranje neaktivne atmosfere. Na taj se način koristi za konzerviranje hrane i u industriji elektronike tijekom proizvodnje tranzistora i dioda. Velike količine dušika koriste se u žarenju od nehrđajućeg čelika i ostalih proizvoda od čeličane. Žaljenje je toplinska obrada koja čelik olakšava rad. Tekući dušik često se koristi kao rashladno sredstvo. Koristi se za skladištenje sperme, jajašca i drugih stanica za medicinska istraživanja i reproduktivnu tehnologiju. Također se koristi za brzo zamrzavanje namirnica, pomažući im da održavaju vlagu, boju, okus i teksturu (Royal Society of Chemistry, n.d.)

### 2.2.2. Dušik u tlu

Dušik značajno doprinosi kiselosti ekosustava izravnim taloženjem dušične kiseline, oksidacijom amonijaka i ispiranjem kationa, posebno kalcija, iz tla. Okolišu kojima su tla

već kisela ili imaju malu sposobnost izmjene i čiji su ekosustavi zasićeni dušikom brzo će izgubiti katione (Keeney i Hatfield, 2008.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.).



Slika 2. Kruženje dušika u prirodi. Izvor: Vukadinović i Vukadinović. 2011.

Još 1650-ih Johannes Rudolph Glauber opisao je ciklus dušika poput ptice bez krila koja leti dan i noć bez odmora; prodire između svih elemenata i nosi sa sobom duh života - iz „nitruma“ potiču minerali, biljke i životinje. Nikada ne propada; ona samo mijenja svoj oblik; on ulazi u tijela životinja u obliku hrane, a zatim se izlučuje. Na taj se način vraća u tlo, iz kojeg se njegov dio ponovo uzdiže u zrak isparavanjem, pa je opet među elementima (Keeney i Hathfield, 2008).

Kruženje dušika sastoji se od niza odvojenih reakcija povezanih u ciklus (Slika 2.) (Duraković i Redžepović, 2002.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.):

1. fiksacija dušika,
2. asimilacija dušika,
3. amonifikacija,
4. nitrifikacija i
5. denitrifikacija.

Keeney i Hathfield (2008.) navode da su istraživanja između 1880. i 1910. otkrila mnoge osnovne reakcije ciklusa dušika i postavila pozornicu za pet desetljeća snažnih i detaljnih studija N ciklusa. Denitrifikacija je prvi put dokazana u razdoblju od 1860. do 1880. U 1880. godini Gayon i Dupetite istraživali su denitrifikaciju i prvi put su joj dali to ime. Davy je 1813. prvi puta opisao blagotvorno djelovanje mahunarki na dušično tlo, a Buissingault je prvi puta to djelovanje i kvantificirao. Liebig nije bio uvjeren i stoga su klasični eksperimenti Lawesa, Gilberta i Puga uspostavljeni u Rothamstedu 1857. Nažalost, njihovi eksperimenti sterilnog pijeska uništili su populaciju *Rhizobiuma*, pa su tek u kasnim 1880.-im i ranim 1890.-im Hellriegel i Wilfarath potvrdili biološku N fiksaciju. Beijerinck je izolirao *Rhizobium* 1888. i *Azotobacter* 1901. godine, dok je Winogradsky identificirao *Clostridium* 1890. godine.

Fiksacija dušika je proces kojim se molekularni plin N<sub>2</sub> pretvara u reaktivne, biološki dostupne oblike dušika. Velika većina dušika na Zemlji prisutna je kao molekularni N<sub>2</sub>, a prije pojave poljoprivrednih i industrijskih revolucija biološka fiksacija dušika bila je jedini značajan proces stvaranja reaktivnog dušika. Kako je dušik ključan za održavanje života, kao i element koji često ograničava primarnu produktivnost, fiksacija dušika je bitan proces na globalnoj razini. Većina vodnih ekosustava u unutrašnjosti prima većinu svog reaktivnog dušika iz uzlaznih ekosustava, ali fiksacija također može biti važan unutarnji unos dušika (Marino i Howarth, 2009.; Raymond i sur., 2004.).

Ako biljka primi dovoljno dušika, njegova proizvodnja ugljikohidrata preusmjerava se u proizvodnju proteina, a opskrba korijenskim kvržicama se prekida. Ako je dušika malo, proizvodnja ugljikohidrata povećava se i korijenskim kvržicama postaje više dostupnih. Ovaj mehanizam povratnih informacija daje mahunarkama dodatnu konkurentnost, jer je za proizvodnju ugljikohidrata potrebna energija koja se bolje koristi u druge svrhe ako biljci nema potrebe za dodatnim dušikom (Parnes, 2013.).

Sljedeća faza u mineralizaciji dušika je amonifikacija. Taj dio procesa mineralizacije obuhvaća izdvajanje amonijaka iz oslobođenih aminokiselina tijekom dezaminizacije pod utjecajem enzima dezaminaza (Vukadinović i Vukadinović, 2011.):



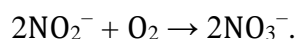
Amonifikacija je proces koji je jako ovisan o C/N omjeru organske tvari koja se mineralizira. Najpovoljniji C/N omjer je 20-25 : 1, odnosno organska tvar treba sadržavati 1,5-2,0 % dušika da bi u amonifikaciji došlo do oslobađanja amonijaka. U suprotnom slučaju, dolazi

do biološke imobilizacije dušika, odnosno mikroorganizmi izdvajaju samo CO<sub>2</sub>, a oslobođeni amonijak koriste za vlastite potrebe jer organska tvar sadrži puno energije, ali malo dušika. Smatra se da kod omjera C/N od 20-32 : 1 postoji ravnoteža između mobilizacije i imobilizacije, kod šireg omjera od 32 : 1 prisutna je biološka imobilizacija, a užeg od 2 : 1 mobilizacija dušika (Vymazal, 2007; Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Nitrifikacija podrazumijeva oksidaciju amonijaka do nitrata preko nitrita. Upravo zbog toga biokemizamnitrifikacije podrazumijeva dva koraka: nitritaciju i nitrataciju. Nitritacija je proces oksidacije amonijaka do nitrita i prikazuje se sljedećom kemijskom reakcijom (Wrage i sur., 2001.; Hooper, 1989.).



a nitratacija je oksidacija nitrita do nitrata i može se prikazati sljedećom reakcijom (Wrage i sur., 2001.; Hooper, 1989.):



Denitrifikacija je obrnuti proces od nitrifikacije. To je proces redukcije nitrata i nitrita u plinovite oblike dušika, uglavnom dušičnog oksida (N<sub>2</sub>O) i dušika (N<sub>2</sub>). Veliki raspon mikroorganizama može denitrificirati. Denitrifikacija je odgovor na promjene u koncentraciji kisika (O<sub>2</sub>) iz njihove neposredne okoline. Tek kada je O<sub>2</sub> ograničen, denitrifikatori prelaze s aerobnog disanja na anaerobno disanje koristeći nitrit (NO<sub>2</sub>) kao akceptor elektrona. Denitrifikacija je proces koji je sveprisutan u svim našim kopnenim i vodenim ekosustavima i javlja se u tropskim i umjerenim tlima, u prirodnim i intenzivno upravljanim ekosustavima, u morskom i slatkovodnom okruženju, u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, skladištima gnojiva i vodonosnicima. Povoljan je postupak uklanjanja nitrata (NO<sub>3</sub>) iz otpadnih voda, ali ima negativan učinak na uklanjanje vrijednog dušičnog gnojiva iz tla i oslobađanje stakleničkih plinova N<sub>2</sub>O i troposferskog onečišćenja NO (Jorgensen i Fath, 2014.).

Mnoge ljudske aktivnosti imaju značajan utjecaj na ciklus dušika. Sagorijevanje fosilnih goriva, primjena gnojiva na bazi dušika i druge aktivnosti mogu dramatično povećati količinu biološki dostupnog dušika u ekosustavu. Budući da raspoloživost dušika često ograničava primarnu produktivnost mnogih ekosustava, velike promjene raspoloživosti dušika mogu dovesti do ozbiljnih promjena dušičnog ciklusa u vodenim i u kopnenim ekosustavima. Industrijska fiksacija dušika eksponencijalno se povećavala od 1940-ih, a ljudska aktivnost udvostručila je količinu globalne fiksacije dušika (Vitousek i sur., 1997.).

U zemaljskim ekosustavima dodavanje dušika može dovesti do neravnoteže hranjivih tvari u drveću, promjene u zdravlju šuma i smanjenja biološke raznolikosti. Uz povećanu dostupnost dušika, često dolazi do promjene skladištenja ugljika, što utječe na više procesa nego samo dušični ciklus. U poljoprivrednim sustavima gnojiva se intenzivno koriste za povećanje biljne proizvodnje, ali neiskorišteni dušik, obično u obliku nitrata, može ispiranjem završiti u tlu, ući u potoke i rijeke te na kraju ući u našu pitku vodu. Proces stvaranja sintetičkih gnojiva za uporabu u poljoprivredi uzrokujući reakciju  $N_2$  s  $H_2$ , poznatim kao Haber-Bosch postupak, značajno se povećao u posljednjih nekoliko desetljeća. U stvari, danas gotovo 80% dušika koji se nalazi u ljudskim tkivima potječe iz Haber-Bosch procesa (Howarth, 2008.).

Obično, što se više pokušava „prisiliti“ dušik u tlo, veće su i šanse za gubitke. Ako je tlo plodno, pronalazi će način da se riješi dušika gotovo jednako brzo kao što ga poljoprivrednik inkorporira. Ako se dušik širi u amonijevom obliku, tlo može ili uzrokovati hlapljenje ili ga brzo nitrificirati (pretvoriti u nitratni oblik) i ubrzo nakon toga izgubiti kao plin denitrifikacijom. Ako je dušik u početku u nitratnom obliku, može doći do denitrifikacije ili se premjestiti u podzemne vode.

Ispiranje dušika događa se u klimatskim područjima s umjerenim do velikim količinama oborina. Čim se infiltracija povećava, dolazi do povećanja sadržaja dušika u vodama. Glavni dušični sastojci vode u tlu su nitratne soli i topljive organske tvari. Amonijeve soli se rijetko ispiru, jer tlo ima mehanizme za apsorpciju viška (Parnes, 2013.).

Ispiranje otopljenih organskih materijala odvodi ne samo dušik, već i sumpor te elemente u tragovima. Da bi se ispiranje smanjilo, pH tla treba održavati blizu neutralnog. To maksimizira biološku aktivnost koja pomaže u stabilizaciji topljivih organskih tvari. Također je kalcij u vapnu dobro vezivno sredstvo i smanjuje nestabilnost i topljivost organskih ostataka (Parnes, 2013.).

S druge strane, poželjna je određena nestabilnost organske tvari, jer se nestabilne organske tvari lako razgrađuju i otpustit će dušik, fosfor i sumpor koji tada postaju dostupni biljkama. Nestabilna organska materija odgovorna je i za sposobnost tla da zadrži elemente u tragovima u dostupnom obliku (Parnes, 2013.).

### 2.2.3. Dušik u biljci

Dušik igra središnju ulogu u biljnoj produktivnosti jer je glavna komponenta aminokiselina, proteina, nukleinskih kiselina i klorofila (Haynes, 1986.).

Iako dušik u biljci postoji u puno manjem postotku od ugljika (između 2 i 5%), biljke sakupljaju puno dušika i ugrađuju ga tijekom čitave vegetacije u organsku tvar (Haynes, 1986.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Obavljaju to tako da rade transformaciju mineralne u organsku formu. Stoga je raspoloživost dušika, zbog velike potrebe za njim, i zbog nedovoljne mobilizacije iz organskih rezervi, velike pokretljivosti nitrarnog oblika i gubitaka, vrlo često ograničavajući čimbenik rasta i prinosa (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Dušik u biljci toliko je bitan da je od 50.-ih godina prošlog stoljeća njegovo korištenje u agrikulturi imalo ključni utjecaj na uzgoj hrane u cijelom svijetu (Anaç i Martin-Prével, 2007.; Johnston, 1999.).

Biljke apsorbiraju dušik iz tla kao  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$  ione. Nitrati se slobodno kreću prema korijenu biljaka dok biljke apsorbiraju vodu. Jednom unutar biljke  $\text{NO}_3^-$  se asimilira za proizvodnju složenijih spojeva. Kako biljke trebaju vrlo velike količine dušika, snažan korijenski sustav je neophodan za omogućavanje neograničenog unosa. Biljke sa zbijenim korijenom mogu pokazati znakove nedostatka dušika čak i kada je u tlu prisutna adekvatna količina dušik.

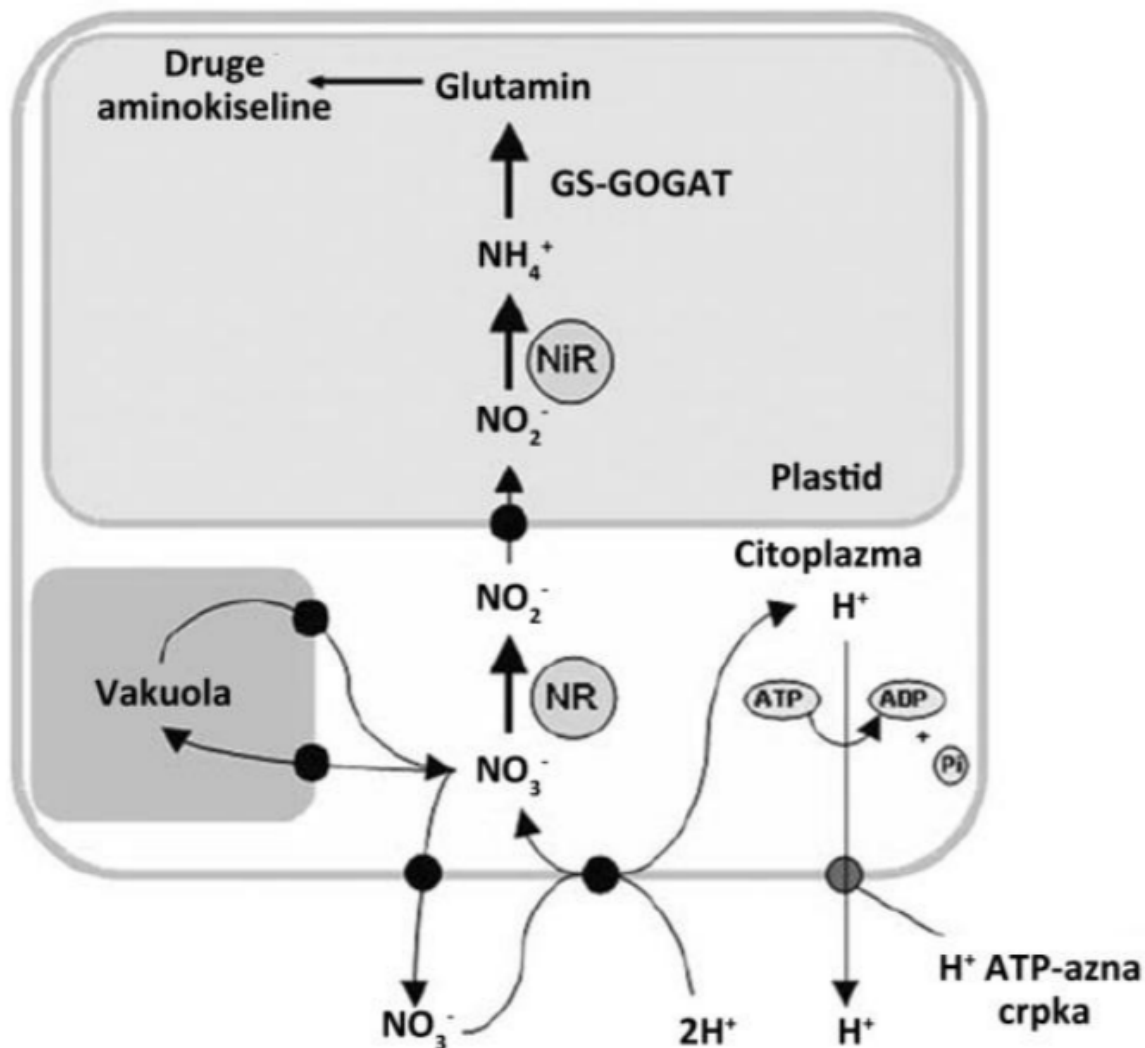
Kod zaustavljanja disanja korijena inhibitorima ili snižavanjem temperature, intenzitet usvajanja dušika se smanjuje što ukazuje na aktivan način usvajanja dušika. Ipak, usvajanje dušika, posebice nitrata, vrlo je brz proces. Krivulja usvajanja pokazuje tipičan vremenski prirast po eksponencijalnoj ovisnosti do određene veličine, iza čega slijedi linearno usvajanje, što je karakteristično za indukciju transportnog sustava. Kod viših pH vrijednosti tla ( $\text{pH} \geq 7$ ) biljke preferiraju amonijski oblik dušika, a kod nižih ( $\text{pH} < 6$ ) nitrarni (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Biljka koja je dobro opskrbljena dušikom brzo raste i ima veliku količinu zdravog, zelenog lišća. Odgovarajuća količina dušika omogućava rast do pune zrelosti i dobar usjev. Biljka koja nema dovoljno dušika obično je mala i razvija se sporo jer joj nedostaje dušik koji je potreban za proizvodnju odgovarajućih strukturnih i genetskih materijala. Takva biljka obično je blijedozelene ili žućkaste boje jer joj nedostaje klorofil. Stariji listovi često postaju



nekrotični i odumiru dok biljka preusmjerava dušik iz manje važnih starijih tkiva u važnija mlađa tkiva.

S druge strane, kada biljke dobiju previše dušika, mogu rasti toliko brzo da razviju protoplazmu brže nego što mogu sagraditi dovoljno potpornog materijala u zidovima stanica. Takve biljke su često prilično slabe i sklone mehaničkim ozljedama (Slika 3.).



Slika 3. Shema usvajanja N-NO<sub>3</sub>. Izvor: Vukadinović i Vukadinović, 2011.

Kada su u tlu prisutna oba oblika mineralnog dušika, ioni NH<sub>4</sub><sup>+</sup> kompetitivno inhibiraju usvajanje nitrata što je značajno za praksu jer se kod nas najčešće koriste amonijsko-nitratna dušična gnojiva, a vrlo rijetko isključivo nitratna gnojiva (npr. NaNO<sub>3</sub> ili Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Također se zapaža kod nekih biljaka jak antagonizam između iona NO<sub>3</sub><sup>-</sup> i Cl<sup>-</sup>, što također ima praktičan značaj jer je primjena kalijevih gnojiva često količinski jednaka primjeni dušičnih, kod nekih usjeva (npr. repa) i veća, a najčešće se koristi KCl, vrlo rijetko skuplji K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a izuzetno rijetko KNO<sub>3</sub> (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Vukadinović i Vukadinović (2011.) navode da se metabolizam biljaka mijenja s obzirom na to kakav je oblik dušika u pitanju. Dušik se ne mora odmah ugraditi u organsku tvar jer se nitratni oblik dušika kod dobre N-opskrbe akumulira u pojedinim organima, posebice lišću i peteljka, a biljka ga koristi nakon redukcije u procesu sinteze proteina.

Količina dušika u biljci ovisi i o klimi u kojoj se biljka nalazi. U tundri i u pustinjama količina preuzetog dušika iz tla značajno je manja nego u šumama s umjerenom klimom ili travnatim dolinama (Haynes, 1986.).

Usvajanje većih količina amonijskog oblika dušika može biti štetno, naročito kod mladih biljaka, a kod starijih to izaziva znatan utrošak ugljikohidrata zbog potrebne tvorbe ketokiselina koje vežu suvišak amonijaka. Mogućnost akumulacije nitrata je povoljna okolnost jer se redukcija i ugradnja obavljaju kad je to fiziološki potrebno. Ipak, preveliko nagomilavanje nitrata nije povoljno za biljke jer njegovom naknadnom i brzom redukcijom dolazi do intenziviranja procesa disanja, razgradnje rezervnih ugljikohidrata i pojačane proteosinteze. Posljedice su produženje vegetacije, formiranje prevelike količine lišća na štetu priroda, povećan sadržaj topljivih oblika dušika (aminokiselina i amida) što kod nekih biljnih vrsta (npr. šećerna repa) štetno utječe na kakvoću (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Povećan sadržaj nitrata u biljkama može biti posljedica i suše (povećana koncentracija vodene faze tla), visoke temperature, zasjenjenosti biljaka u gustom usjevu ili oblačnog vremena (zbog reducirane sinteze bjelančevina), nedostatka P, K ili Ca ili prevelike doze N-gnojiva (posebice nakon smanjenog prinosa prethodnog usjeva, nakon uzgoja leguminoza i sl.). Proces nitratne redukcije zahtijeva puno energije jer se redukcija odvija uz promjenu oksidacijskog broja dušika od +5 do -3. Potreban je Mo koji je sastavni dio nitrat reduktaze, Mn za rad PS II i fotooksidaciju vode u njemu (važno za sintezu NADH). Dobra ishranjenost kalijem potpomaže sintezu nitratne reduktaze pa se smatra da je kalij kofaktor u procesu redukcije dušika. Istraživanja pokazuju da K u tom procesu može djelomično biti zamijenjen rubidijem (do 50% potrebe) (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Intenzitet nitratne redukcije najveći je u mladom lišću gdje je i najveća količina N. Nakupljanje nitrata u lišću ili peteljka pokušava se iskoristiti za procjenu N statusa biljaka, posebice kod vrsta kao što je šećerna repa gdje višak reduciranog dušika na kraju vegetacije može izazvati ekspanziju formiranja novog lišća (retrovegetacija) uz pad koncentracije saharoze. Također, mjerenje intenziteta nitratne redukcije u svrhu prognoze

prinosa i utvrđivanja potrebe za prihranom sve se više koristi kod različitih biljnih vrsta, a ne samo kod šećerne repe (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Opskrbljenost biljaka dušikom ima izuzetan značaj u tvorbi prinosa i njegove kakvoće. Dušik je izraziti „prinosotvorni“ element. Suvišak dušika na početku vegetacije može biti vrlo štetan jer se biljke tada plitko ukorjenjuju, a to u kasnijim fazama rasta, posebice u sušnim uvjetima, može izazvati znatne probleme u opskrbljivanju biljaka svim hranivima i vodom. Različite biljne vrste, kultivari ili hibridi različito reagiraju na ishranu dušikom (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Višak dušika rezultira intenzivnim rastom vegetacijskih organa zajedno sa plavo-zelenom bojom lišća. Nastanak "luksuzne" prehrane dušika ima nekoliko negativnih posljedica. Sitna zrna, stvaraju previše mase lišća koje zbog slabog mehaničkog tkiva i velike mase lako padaju s kasnijim sazrijevanjem. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

U prisutnosti viška dušika, biljka reagira preusmjerenjem energije, ugljikohidrata, vode i minerala kako bi ih metabolizirala.

Posljedično, sve je izbačeno iz bilance (Parnes, 2013.):

- šećeri i škrob nisu dostupni
- biljka je pretjerano sočna
- gomolji nakupljaju vodu i trule
- biljke su slabe i padaju
- cvjetanje i plodnja kasne
- plodovi sazrijevaju neravnomjerno
- elementi u tragovima, kao što su bor i bakar, nedostaju.

Ako je dušika malo, rast se zaustavlja i sve su biljne funkcije poremećene. Unutar biljke dušik se može retranslocirati pa tako može prijeći iz starijeg lišća u mlađe. Nedostatak dušika ispoljava se kao svijetlo zeleno lišće koje u kasnijim fazama može prijeći i klorozu. Biljka s takvim promjenama na lišću ukazuje na nedostatak proteina u biljci, a može ukazivati i na nedostatak dušika u tlu i razne druge simptome. Može ukazati na to da je tlo previše hladno, previše vlažno ili previše suho, pa čak i da je biljka pod napadom insekta ili bolesti.

Dušik u tlu treba biti prisutan tijekom cijelog životnog ciklusa biljke. S obzirom na to da su zalihe dušika ograničene, konkurencija je jaka. Moguće je da su iz tog razloga biljke

evoluirale tako da metabolizaciju dušika stavljaju na prvo mjesto, iznad svih ostalih procesa (Parnes, 2013.).

Ako sunčeva svjetlost ne može osigurati dovoljno energije za metabolizaciju dušika, biljka akumulira nitrata i slobodne aminokiseline. Akumulacija slobodnih aminokiselina može privući insekte.

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Lokalitet i uzimanje uzoraka tla

Za potrebe izrade diplomskog rada korišteni su podaci dobiveni s pokusnog polja u Čelijama, Vukovarsko – srijemskoj županiji, na kojem se provodio gnojidbeni pokus na ozimnoj pšenici. Geografska pozicija pokusnog polja je N 45.4293, E 18.7980 (Slika 4.). Za izračun gnojidbene doze i testiranje N-min kalkulatora odabrane su tri gnojidbene parcele veličine 6 m X 12 m na kojima je u jesen pod osnovnu gnojidbu dodano 50 % predviđenih potreba N (Parcela 1 – 25 kg N ha<sup>-1</sup>, Parcela 2 – 55 kg N ha<sup>-1</sup> i 85 kg N ha<sup>-1</sup>) što odgovara ukupno predviđenoj dozi dušika od: 50 kg N ha<sup>-1</sup>, 110 kg N ha<sup>-1</sup>, 170 kg N ha<sup>-1</sup>. Ostatak gnojiva (prva i druga prihrana) izvršena je na temelju izračuna N-min kalkulatorom.



Slika 4. Pokusno polje na lokalitetu Čelije Izvor: Projekt „Gnojidbeni poljski pokusi - Optimizacija gnojidbe usjeva dušikom“

Uzorci tla uzorkovani su prije prve prihrane pšenice KAN-om početkom busanja u veljači, a drugo uzorkovanje izvršeno je početkom vlatanja u travnju. Uzorkovanje je provedeno na tri dubine (0-30, 30-60 i 60-90 cm) uzimajući 4 uzorka po parceli koja su tvorila jedan prosječni uzorak. Odmah po vađenju uzoraka izmjerena je vlažnost tla sondom (Moiusteremeter). Uzorci su prevezeni u laboratorij i u roku od 24h (uzorci su čuvani u plastičnim vrećicama na temperaturi od 4°C) u svježim uzorcima provedeno je određivanje nitratnog i amonijačnog dušika.

Također na pokusnom polju izvršeno je pedološko istraživanje i provedena je osnovna kemijska analiza tla (Đurđević, 2014.; Škorić, 1977.).

- a) aktualni pH (u vodi) i izmjenjivi pH (u 1 mol·dm<sup>-3</sup>KCl) elektrometrijski, pH-metrom
- b) hidrolitička kiselost tla (Hy) aktivirana alkalnim hidrolitskim solima (Na-acetat ili Ca-acetat) pri čemu dolazi do zamjene H<sup>+</sup> (i Al<sup>+</sup>) iona s adsorpcijskog kompleksa tla alkalnim ionima iz acetata
- c) Organsku tvar bikromatnom metodom koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom u sumpornoj kiselini. Koncentracija organskog ugljika u uzorcima određena je spektrofotometrijski
- d) CaCO<sub>3</sub>volumetrijski po Scheibleru mjerenjem volumena CO<sub>2</sub> koji se iz karbonata tla razvija djelovanjem 10 % HCl (klorovodične kiseline).
- e) AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i AL-K<sub>2</sub>O AL-metodom ekstrakcijom tla s amonijlaktatom

### **3.2. Određivanje nitratnog dušika brzom test-metodom**

Određivanje doze nitratnog dušika vrlo je važno za optimizaciju procesa uzgoja, uštedu novca i očuvanje okoliša. Određivanje nitratnog dušika izvršeno je brzom test metodom.

Svaka biljka ima svoje potrebe da dušikom u određenom i stoga je vrlo važno testirati biljku u pravo vrijeme kako bi gnojidba dušikom bila optimalna. Na primjer, ozimu pšenicu treba testirati u busanju i pred vlatanje, bundevu i krastavac kad su vitice duge 25 cm, a kukuruz kada su biljke između 15 i 25 cm visine (Đurđević, 2014.).

Za određivanje nitratnog dušika brzom test-metodom koristi se svježi uzorak tla, koji može u hladnjaku biti maksimalno 24h. Pribor za mjerenje je sljedeći: Reflectoquant, Merckovi mjerni štapići, epruvete i čaše od 100 ml.



Slika 5. Reflectoquant Izvor: Fisher Scientific, 2020.

Korištene kemikalije su sljedeće (Đurđević, 2014.):

- zasićena otopina NaCl napravljena tako da se NaCl otopi u deioniziranoj vodi do pojave taloga,
- otopina za ekstrakciju, napravljena tako da se 40 ml zasićene otopine NaCl dopunis deioniziranom vodom do 1000 ml) ili KCl.

Ekstrakt tla koristi se za mjerenje koncentracije nitrata uz pomoć specijaliziranog uređaja (Reflectoquant, slika 5). U ekstrakt uranja se štapić za nitratni test, a uređaj automatski očitava koncentraciju nitrata mjerenjem intenziteta boje koja se razvila na aktivnim reakcijskim površinama štapića za brzi nitratni test. Testne trakice imaju dvije reakcijske zone koje sadrže reagente za redukciju nitrata do nitrita i reakciju nitrita s Griessovim reagensom. U reakciji nitrata s reagensima testne trakice nitrati se reduciraju u nitrite koji reagiraju s Griessovim 33 reagensom gdje kao krajnji produkt nastaje azo-spoj crvenkaste boje određenog intenziteta. Rezultati na uređaju su izraženi u  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (Đurđević, 2014.).

### 3.3. Određivanje amonijskog dušika po Nessleru

Ova metoda zasniva se na primjeni Nesslerovog reagensa, odnosno alkalne otopine živina jodida ( $\text{Hg}_2\text{I}_2$ ) u kalijevu jodidu (KI) i hidroksidu ( $\text{OH}^-$ ). Amonijski oblik dušika ( $\text{N}_2$ ) djelomično se nalazi u vodenoj fazi tla, a većinskim dijelom je adsorbiran na koloide tla. Zbog te činjenice za ekstrakciju se koristi otopina KCl (kalijev klorid) jer se  $\text{K}^+$  (kalij) zamjenjuje s  $\text{NH}_4^+$  (amonijev kation) unutar kristalne rešetke i na površini koloida tla, ovisno o tipu sekundarnog minerala. Dokazivanje tog kationa obavlja se karakterističnom reakcijom s Nesslerovim reagensom uz razvijanje kompleksa žute boje, prema reakciji:



### 3.4. N-min kalkulator

N-min metodom se utvrđuje količina mineralnih oblika dušika (raspoloživi N), prije sjetve za proljetne kulture, a pred busanje i vlatanje za ozima žita, u zoni do koje dopire trenutno korijenov sustav, jer je količina mineralnog dušika određena prethodnim usjevom (gnojenje, rezidualni N, žetveni ostaci), zemljišnim i klimatskim prilikama. Stoga, umjesto pojedinačnog utvrđivanja, N-min metoda predstavlja sintezu svih djelujućih čimbenika raspoloživosti dušika (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

N-min kalkulator namijenjen je N-prihrani i N-startnoj gnojidbi ozimih žitarica, kukuruza i šećerne repe. Kompjuterski model preporuke prihrane pšenice na temelju N-min metode (<http://ishranabilja.com.hr>) uzima u obzir sve potrebne parametre (sadržaj mineralnih oblika N u tlu, vlagu tla, vrijeme uzimanja uzoraka i teksturu tla) za procjenu N-doze (Slika 6.)

Metoda je izmijenjena u odnosu na originalnu verziju (Scharpf i Wehrmann, 1977.) jer je eksperimentalno utvrđeno otežano usvajanje amonijevog dušika zimi za agroekološke uvjete istočne Hrvatske, te se učinkovitost njegovog usvajanja prilagođava ovisno o teksturi, a također se korigira i potreba N ovisno o fenofazi i sklopu ozimih žita (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). U kalkulator se unose svi potrebni podatci (koncentracija nitratnog i amonijačnog dušika, postotak vlage tla, teksturna klasa, fenofaza pšenice, sklop usjeva, te vrsta usjeva). Nakon unosa podataka kalkulator automatski izračunava dozu dušika obzirom na planirani usjev te korisniku preračunava dozu u količine mineralnog gnojiva najčešće dostupnog na tržištu (Slika 6.).



Preporuka N-prihrane temeljem N <sub>min</sub> metode za pšenicu i ječam					
Usjev i tlo:		Broj analiza:		Analiza (1/2):	
Tekstura tla:	srednja	Kemijska analiza		dubina tla (cm)	
Fenofaza:	početak busanija			0-30	30-60
Sklop:	normalan	Vlaga tla (%)		22.00	18.00
Biljna vrsta:	pšenica	N-NH <sub>4</sub> (ppm)		7.25	4.50
Urea i UAN se ne preporučuju za prvu prihranu!					
Ne više od 50 kg N/ha (piv. ječam<=40)!					
		N-NH <sub>4</sub> (kg/ha)		39.04	23.05
		N-NO <sub>3</sub> (ppm)		7.50	5.25
		N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)		51.67	28.65

Dubina cm	Vrsta	Fenofaza	Tekstura	Sklop	Vlaga %	N-NH <sub>4</sub> ppm	N-NO <sub>3</sub> ppm
30	1	4	2	2	22.0	7.25	7.50
60	1	4	2	2	18.0	4.50	5.25
90	1	4	2	2	16.0	2.00	2.00

Upute:

1. U žuto obojena polja unesite podatke + Tab!
2. Konc. N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> su u mg·kg<sup>-1</sup> svježeg tla.
3. Ostale podatke kodirajte prema priloženim tablicama!
4. Negativne vrijednosti označavaju suvišak N.
5. Ograničenje doze N prestaje s početkom vlatanja (fenofaza 6).

Usjev:	
1	pšenica oz.
2	ječam oz.
3	ječam piv.
Tekstura	
1	laka
2	srednja
3	teška

Fenofaza:	
1	1. list
2	dva lista
3	tri lista
4	poč. busanija
5	puno bus.
6	poč. vlatanja

Sklop:	
1	rijedak
2	normalan
3	gust

Planirani prinos t/ha						
N-prihrana	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Potreba N kg/ha	23	32	41	50	59	68
KAN 27% kg/ha	84	118	151	184	185	185
AN 33.5% kg/ha	68	95	122	149	149	149
UREA 46% kg/ha	50	69	89	108	109	109
UAN 30% l/ha	58	82	105	128	128	128

Program: Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović ©, Osijek 2011. (Modificirana metoda: Schopf, H.C. und Wehrmann, J., 1977.)

Slika 6. Sučelje N-min kalkulatora (Izvor: ishrana-bilja.com.hr)

## 4. REZULTATI

Proučavani lokalitet dio je panonskog i peripanonskog prostora gdje se prosječna temperatura povećava od zapada prema istoku i od sjeverozapada prema sjeveroistoku i iznosi od 9 do 11 °C. Ukupne prosječne godišnje količine oborina variraju od istoka ( $\approx 600$  mm) do zapada ( $\approx 800$  mm).

### 4.1. Pedološki profil i osnovna kemijska analiza

Na području Vukovarsko-srijemske županije je za pokusno polje odabrana oranica u blizini sela Čelije. Prije postavljanja gnojidbenog pokusa, uzeti su uzorci na cjelokupnoj tabli agrokemijskom sondom do 30 cm dubine. Ukupno su uzeta tri prosječna uzorka tla. Istovremeno je otvoren i pedološki profil do dubine matičnog supstrata radi determinacije tipa tla (Slika 7.).



Slika 7. Ritska crnica (Humoglej) u Čelijama. Izvor: Projekt „Gnojidbeni poljski pokusi - Optimizacija gnojidbe usjeva dušikom“

Na temelju analize morfoloških te nekih fizikalnih i kemijskih svojstava (Tablica 1.) izvršena je determinacija tipa tla prema hrvatskoj klasifikaciji (Škorić, 1986.).

Građa pedološkog profila je: P – PG<sub>so</sub> – G<sub>so</sub> (Slika 7.).

Boja antropogenog (P) horizonta je crne boje, sitno grudvaste do grudvaste strukture. Uslijed provedenih hidromelioracijskih zahvata snižena je razina podzemna vode, što je vidljivo kroz prisustvo prijelaznog PGso horizonta (Slika 7.). Rezultati predloženi u tablici 1. pokazuju da se radi o tlu umjereno do jako alkalne reakcije, jer se pH (H<sub>2</sub>O) kreće u granicama 8.11 – 8.78. Visoke vrijednosti reakcije tla mogu se dovesti u vezu i sa sadržajem zemnoalkalijskih karbonata, koji s dubinom raste. Najviše vrijednosti ima vrlo jako karbonatni prijelazni horizont (36.33 % CaCO<sub>3</sub>). Opskrbljenost biljkama pristupačnim kalijem (AL-K<sub>2</sub>O) je dobra, a fosforom (AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) siromašna. Teksturno je najteži prijelazni horizont s 27.72 % glinastih čestica.

Tablica 1. Fizikalno-kemijska svojstva profila ritske crnice u Čelijama

Horizont	Dubina	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	mg 100g <sup>-1</sup> tla		CaCO <sub>3</sub> , %	Glina, %	Tekstura
				AL- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL- K <sub>2</sub> O			
P	0 - 46	8,11	7,10	11,00	23,59	2,11	25,06	PrI
PGso	46 - 70	8,78	8,15	1,80	20,20	36,33	27,72	PrGI
Gso	70 - 120	8,71	8,26	0,80	16,88	26,19	20,68	PrI

Tumač kratica: PrI = praškasta ilovača; PrGI = praškasto glinasta ilovača.

Rezultati analiza osnovnih kemijskih svojstava prosječnih uzoraka pokazuju da je pokus postavljen na parceli slabo do umjereno alkalne reakcije, dobre opskrbljenosti biljkama pristupačnim oblicima fosfora i kalija (AL-K<sub>2</sub>O i AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) kao i dobre opskrbljenosti tla organskom tvari (Tablica 2.).

Tablica 2. Rezultati kemijskih analiza prosječnih uzoraka tla

Uzorak	pH(H <sub>2</sub> O)	Organska tvar %	pH(KCl)	mg 100g <sup>-1</sup> tla		CaCO <sub>3</sub> , %
				AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL-K <sub>2</sub> O	
1	8,37	3,12	7,43	17,20	26,64	3,38
2	8,06	2,98	7,01	18,70	28,12	2,11
3	8,14	3,06	7,17	17,10	27,05	1,69

#### 4.2. N-min kemijska analiza i izračun

Nakon provedene N-min analize uzorkovanog tla, najniže izmjerene vrijednosti nitratnog iona u busanju, utvrđene su na dubini od 0-30 cm (minimalna koncentracija 0,50 mg NO<sub>3</sub>- kg<sup>-1</sup>), dok su najviše vrijednosti izmjerene na dubini od 60-90 cm (6,75 mg NO<sub>3</sub>- kg<sup>-1</sup>) (Tablica 3.). Koncentracije amonijskog iona kretale su se od 4,28 mg NH<sub>4</sub>+ kg<sup>-1</sup> na dubini od 60-90 cm pa do 9,05 mg NH<sub>4</sub>+ kg<sup>-1</sup> također na istoj dubini.

Tablica 3. N-min analiza tla provedena na tri dubine u busanju

Parcela	Planirana razina N	Dubina uzorkovanja	mg NO <sub>3</sub> - kg <sup>-1</sup>	mg NH <sub>4</sub> + kg <sup>-1</sup>	Vlaga tla %
			1	1	%
1.	50	0-30 cm	1,50	5,35	22,0
1.	50	30-60 cm	2,00	4,38	21,7
1.	50	60-90 cm	1,75	4,28	16,8
2.	110	0-30 cm	0,50	7,33	22,2
2.	110	30-60 cm	3,50	6,33	20,9
2.	110	60-90 cm	4,00	6,43	17,1
3.	170	0-30 cm	3,50	8,13	21,8
3.	170	30-60 cm	5,00	8,13	22,2
3.	170	60-90 cm	6,75	9,05	17,6

Pred vlatanje poslije prve prihrane najniža izmjerena vrijednost nitratnog iona od 0,00 mg NO<sub>3</sub>- kg<sup>-1</sup> utvrđena je na dubini od 0-30 cm i to na parceli 1., kao i najniža vrijednost amonijskog oblika dušika (4,05 mg NH<sub>4</sub>+ kg<sup>-1</sup>). Najviše vrijednosti nitratnog iona za razliku od busanja izmjerene su na Parceli 2. 9,0 mg NO<sub>3</sub>- kg<sup>-1</sup>, dok su najviše vrijednosti

amonijskog oblika dušika zabilježene na Parceli 3. ( $9,33 \text{ mg NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ ) na kojoj je je u jesen i dodana najveća doza dušika ( $85 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tablica 4.).

Tablica 4. N-min analiza tla provedena na tri dubine pred vlatanje

Parcela	Planirana razina N	Dubina uzorkovanja	mg NO <sub>3</sub> - kg <sup>-1</sup>	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>	Vlaga tla %
1.	50	0-30 cm	0,00	4,05	20,5
1.	50	30-60 cm	0,50	4,08	18,5
1.	50	60-90 cm	0,5	3,55	16,7
2.	110	0-30 cm	4,50	4,88	19,8
2.	110	30-60 cm	8,50	7,20	19,2
2.	110	60-90 cm	9,00	5,88	17,2
3.	170	0-30 cm	5,00	9,33	21,9
3.	170	30-60 cm	4,50	9,08	20,1
3.	170	60-90 cm	5,25	8,12	18,6

Svi dobiveni podatci provedenom analizom tla korišteni su za izračun doze dušika. Nakon prvog uzorkovanja tla u fenofazi busanja N-min kalkulatorom izračunata je doza dušika potrebna za ostvarivanje različitih prinosa zrna pšenice (od  $5,0 \text{ t ha}^{-1}$  do  $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ ). Preporučene doze dušika iznosile su od minimalnih  $28 \text{ kg N ha}^{-1}$  do visokih  $119 \text{ kg N ha}^{-1}$  potrebnih za ostvarivanje  $8 \text{ t ha}^{-1}$  prinosa zrna ozime pšenice. Za provedbu diplomskog rada primijenjena je u prvoj prihrani na sve tri parcele doza dušika potrebna za ostvarivanje  $7,0 \text{ t ha}^{-1}$  prinosa ozime pšenice (parcela 1. –  $101 \text{ kg N ha}^{-1}$ , parcela 2. -  $93 \text{ kg N ha}^{-1}$ , parcela 3. -  $64 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) (Tablica 5., 6., 7.). Pred početak fenofaze vlatanja, izvršena je druga analiza tla na tri dubine i izvršen je izračun N-min kalkulatorom. Primijenjen doze dušika iznosile su za prinos od  $7 \text{ t ha}^{-1}$ , za parcela 1. –  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ , parcela 2. -  $42 \text{ kg N ha}^{-1}$ , parcela 3. -  $52 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Tablica 5., 6., 7.).

Tablica 5. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 25 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

<b>Izračun Parcela 1.</b> <b>25 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen</b>	<b>Planirani prinos t ha<sup>-1</sup></b>						
	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>8,0</b>
<b>Potreba N - 1. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	65	74	83	92	101	110	119
<b>Potreba N - 2. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	42	47	51	56	60	65	69
<b>Ukupno:</b>	107	121	134	148	161	175	188

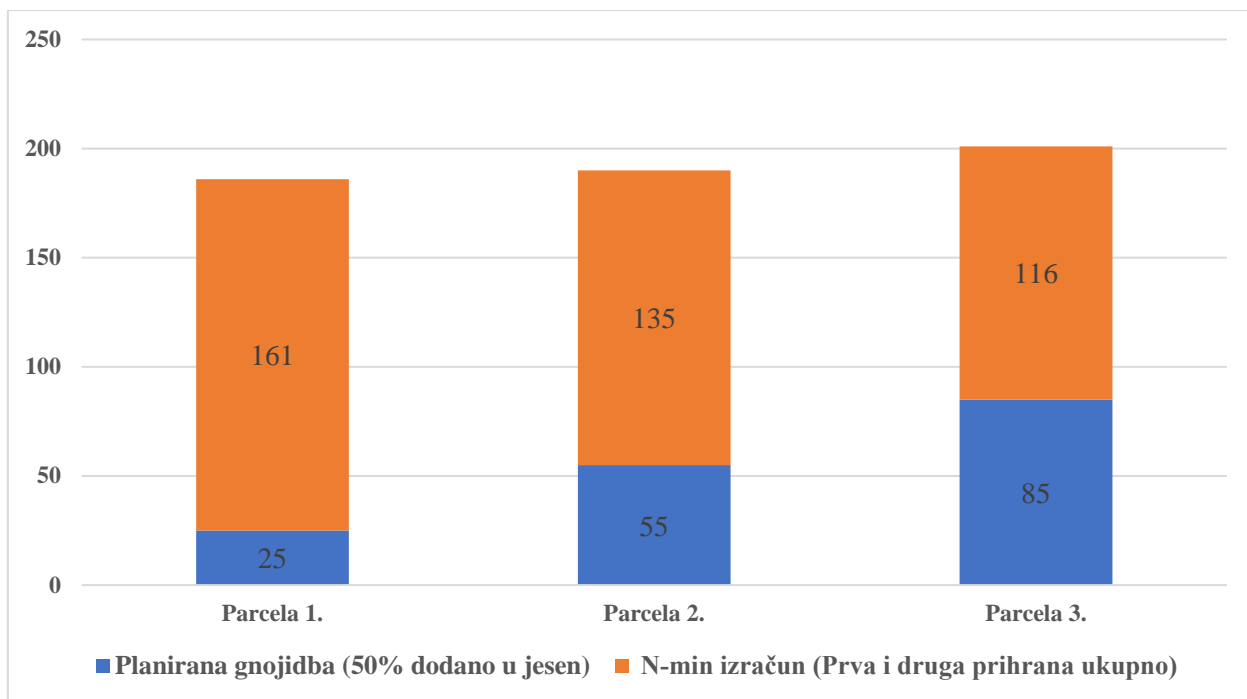
Tablica 6. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 55 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

<b>Izračun Parcela 2.</b> <b>55 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen</b>	<b>Planirani prinos t ha<sup>-1</sup></b>						
	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>8,0</b>
<b>Potreba N - 1. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	57	66	75	84	93	102	111
<b>Potreba N - 2. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	24	28	33	37	42	46	51
<b>Ukupno:</b>	81	94	108	121	135	148	162

Tablica 7. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 85 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

<b>Izračun Parcela 3.</b> <b>85 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen</b>	<b>Planirani prinos t ha<sup>-1</sup></b>						
	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,0</b>	<b>7,5</b>	<b>8,0</b>
<b>Potreba N - 1. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	28	37	46	55	64	73	82
<b>Potreba N - 2. prihrana kg ha<sup>-1</sup></b>	16	25	34	43	52	61	70
<b>Ukupno:</b>	44	62	80	98	116	134	152

Ukupno dodana količina dušika po parcelama je iznosila za parcelu 1. 186 kg ha<sup>-1</sup>, parcelu 2. 190 kg ha<sup>-1</sup> i parcelu 3. 201 kg ha<sup>-1</sup> (Grafikon 1.).



Grafikon 1. Prikaz ukupne potrebne količine dušika kg ha<sup>-1</sup> za ostvarivanje prinosa od 7 t ha<sup>-1</sup> (Planirano /primijenjeno u jesen + N-min izračun)

## 5. RASPRAVA

Ukupna količina N u tlu ovisi od niza čimbenika kao što su klima, vegetacija, topografija terena, matični supstrat, starost tla, tip tla i drugo. Zbog toga je vrlo teško pravilno izračunati i primijeniti optimalnu količinu dušika za usjeve. Najveći problem predstavlja nepravilna i nepravovremena primjena neodgovarajućih doza dušika (premale ili prevelike doze) osobito kod prihrane ozime pšenice. Zašto je to tako govori nam činjena kako prosječni gubitak dušika na obradivim površinama iznosi oko 70,5 kg N ha<sup>-1</sup> (Vukadinović i Vukadinović, 2011.) (Tablica 8.).

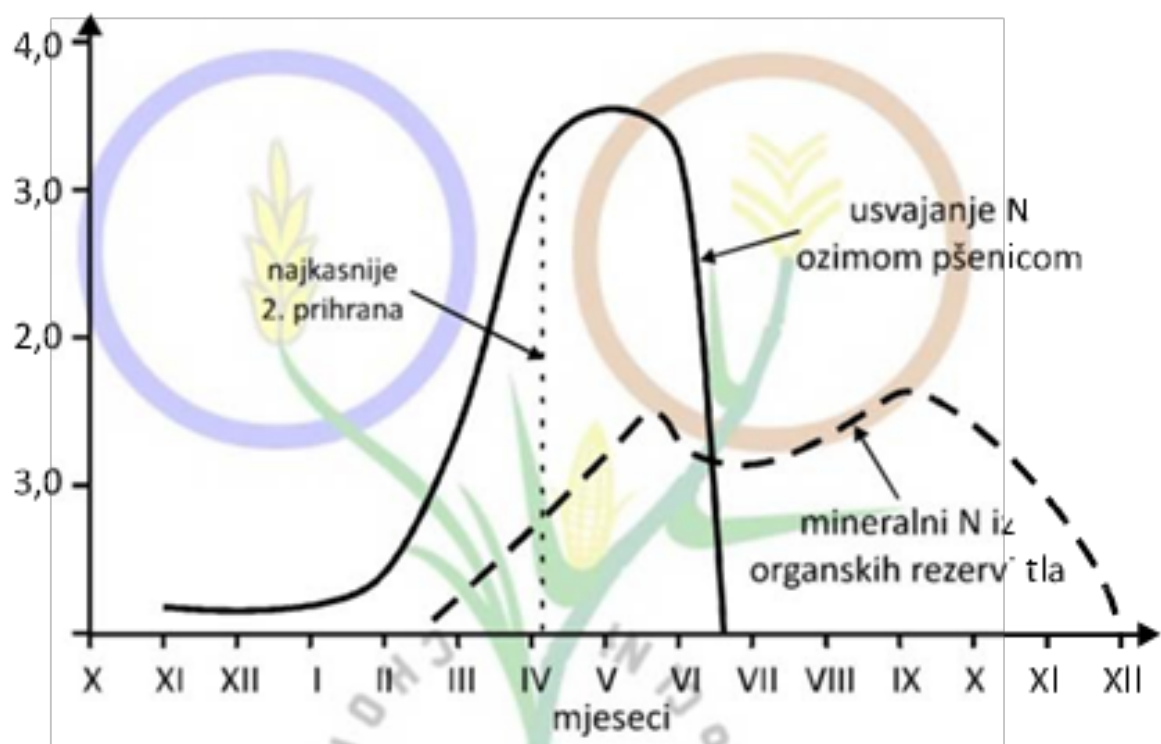
Tablica 8. Prosječni dotok i gubitak dušika na poljoprivrednim površinama. Izvor: Vukadinović i Vukadinović 2011.

	<b>Dotok N u tlo</b>	<b>kg N/ha/god.</b>
1.	Mineralna gnojidba	60,00
2.	Organska gnojidba	40,00
3.	Simbiozna fiksacija	10,00
4.	Nesimbiotska fiksacija	6,80
5.	Kiša i navodnjavanje	5,30
6.	Unos sjemenom (sjetva)	1,30
	<b>Ukupno dobitak:</b>	<b>123,40</b>
	<b>Gubitak N iz tla</b>	<b>kg N/ha/god.</b>
1.	Odošenje žetvom	120,00
2.	Erozija	27,40
3.	Ispiranje	26,10
4.	Denitrifikacija, volatizacija	?
	<b>Ukupno gubitak:</b>	<b>173,50</b>

Pšenica do proljetnog kretanja vegetacije akumulira rezerve hraniva koje se lako transformiraju u građevne jedinice organske tvari. Kapacitet biljaka za akumulaciju najviše



ovisi o veličini biljaka i temperaturi. Pšenica akumulira biljna hraniva, posebice nitrate, kada je temperatura viša od 0 °C. Na proučavanim parcelama primijenjene su u jesen tri različite doze dušika (niska srednja i visoka) s ciljem utvrđivanja optimalne doze dušika za prinos od 7 t ha<sup>-1</sup> zrna pšenice primjenom naprednog kalkulatora temeljenog na N-min metodi. Iako je proučavano tlo bilo dobro opskrbljeno organskom tvari (Tablica 2.) sam proces mineralizacije ne može značajno utjecati na povećanje raspoloživosti mineralnog dušika u tlu jer se bolje „poklapa“ s proljetnim kulturama (kukuruz) (Vukadinović i Vukadinović, 2011.; Hall, 2008.) (Slika 8.)



Slika 8. Dnevno usvajanje dušika ozimom pšenicom i intenzitet mineralizacije. Izvor: Vukadinović i Vukadinović 2011.

Razine nitratnog iona u tlu su bila u skladu s provedenom gnojidbom u jesen. Niske koncentracije izmjerene pred busanje vjerojatno su bile pod utjecajem oborina (topljenje snijega) i dobre kanalske mreže odnosno provedenih hidromelioracijskih zahvata (drenaža i neposredna blizina dobre kanalske mreže) te je vjerojatno došlo do većeg ispiranja osobito na parceli 2. i 3. (Tablica 6. i 7.). Da bi potvrdili te navode potrebno bi bilo dodatno analizirati koncentraciju nitrata u podzemnim vodama i u kanalima. Očekivano razine amonijskog oblika dušika bile su više kod svih analiziranih uzoraka u fenofazi busanja i vlatanja. Razlog tomu je mogućnost vezanja amonijskog iona na apsorpcijski kompleks tla

te se na taj način sprečava veće ispiranje amonijskog oblika dušika (Yang i sur. 2004.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Kako bi mogli ostvariti visoke prinose potrebna je povoljna i pravovremena (osobito dušikom) mineralna ishrana i to od I – V etape organogeneze odnosno od nediferenciranog rasta vegetacijskog vrha do faze formiranja cvjetnih zametaka. Pšenice tijekom svog rasta i razvoja u prosjeku iznosi po toni prinosa uključujući i pripadajući dio žetvenih ostataka 27,5 kg N, 14,0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 17,5 kg K<sub>2</sub>O (Russell i sur. 2006.; Jug i sur. 2017.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Prva prihrana mora biti usklađena s kapacitetom akumulacije biljaka, uzrastom biljke, klimatskim prilikama i fizikalnim svojstvima tla. Naime, u početku proljetnog kretanja pšenici je neophodna visoka koncentracija nitrata u tlu od 20 – 30 mg kg<sup>-1</sup>, što se postiže prvom prihranom pšenice. Obzirom na vrlo lako ispiranje nitrata iz površinskog sloja tla, prihrana se ne smije napraviti prerano (npr. po smrznutom snijegu kada je lako ući s mehanizacijom na proizvodnu parcelu). Također, pretjerana doza dušika može imati značajne posljedice na prinos pšenice. Uslijed porasta koncentracije iona u vodenoj fazi tla, uz nizak intenzitet metabolizma korijena kod niskih temperatura tla, zaustavlja se usvajanje vode tj. dolazi do fiziološke suše, a kod viših temperatura do produženja vegetacije uz pad transpiracije (Jug i sur. 2017.; Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Kada se temperatura tla ustali iznad 5°C, dolazi do povećanja volumena stanica što za posljedicu ima nagli rast potrebe za dušikom što predstavlja pravi moment za drugu prihranu. Trenutak kada treba provesti drugu prihranu određuje se na temelju stanja usjeva i to u trenutku zametanja klasića, odnosno kada se zametak klasa primjetno odvoji od čvora busanja. Zbog toga je vrlo važno što točnije izračunati količinu potrebnog dušika za prihranu ozime pšenice. Doze koje su izračuna N-min kalkulatorom bile su u skladu s potrebama pšenice ali i trenutačnom koncentracijom dušika u vodenoj fazi tla. Najviša ukupna doza (jesenska primjena dušika + prihrana izračunata N-min kalkulatorom) iznosila je visokih 201 kg N ha<sup>-1</sup> (Grafikon 1.). Obzirom da je prema akcijskom programu o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla granična vrijednost unosa dušika u tlo 180 kg N ha<sup>-1</sup>, tu dozu bi trebalo smanjiti za 20 kg dušika. Odnosno, možemo konstatirati kako je došlo do većeg ispiranja dušika od jeseni do početka busanja (Tablica 7.). Prema tome, za proučavani tip tla trebalo bi smanjiti dozu dušika u jesen ili smanjiti ciljani prinos (Tablica 5. i tablica 6.). Tu tvrdnju pokrjepljuje i činjenica da je primjena od

25 kg dušika u jesen plus izračun doze dušika N-min kalkulatorom bila viša samo za šest kilograma od preporučene doze (Grafikon 1.).

## 6. ZAKLJUČAK

Zbog male količine u tlu, a velikih potreba u ishrani bilja, u suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji primjena dušika gnojidbom nezamjenjiva agrotehnička mjera.

Utvrđeno je da je optimalna gnojidba odnosno doza koja je usklađena s načelima dobre poljoprivredne prakse za navedeni tip tla i ostvarivanje ciljanog prinosa od  $7 \text{ t ha}^{-1}$  sastavljena od niže doze dušika primijenjene u jesen pod osnovnu obradu ( $25 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) i izračuna prihrane N-min kalkulatorom na temelju analize tla (prva prihrana  $101 \text{ kg N ha}^{-1}$  i druga prihrana  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

Također potrebno je naglasiti kako ne postoji dva ista tla, te da utvrđivanje bilance dušika u tlu predstavlja složen problem pa se vrlo rijetko mogu utvrditi svi uzroci uobičajeno negativne bilance. Zbog toga je potrebno biti oprezan i pokušati primijeniti načela dobre poljoprivredne prakse, te uz N-min analizu tla primjenjivati i napredne metode u vidu N-min kalkulatora kako bi eventualne greške (smanjenje profita ali i zagađenje okoliša) sveli na minimum.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Anaç, D., Martin-Prével, P. (Eds.). (2007): Improved crop quality by nutrient management (Vol. 86). Springer Science & Business Media.
2. Böhmer, M., Scharpf, H.C., Wehrmann, J. (1977): Mineralstickstoffvorrat und -nachlieferung im Boden, Komponente der Stickstoffversorgung der Pflanzen. Landwirtsch. Forsch. Sonderh.34, 45–54, Kongressband.
3. Duraković, S., Redžepović, S. (2002.): Uvod u opću mikrobiologiju. Kugler, Zagreb.
4. Đurđević, B. (2014): Praktikum iz ishrane bilja. Osijek: Poljoprivredni fakultet
5. Encyclopaedia Britannica (2020): Datum pristupa 8. srpnja 2020. Web stranica: <https://www.britannica.com/science/nitrogen/Biological-and-physiological-significance#ref280546>.
6. Finnie, S., Atwell, W. A. (2016): Wheat Flour (No. Ed. 2). American Association of Cereal Chemists, Inc (AACC).
7. Fisher Scientific (2020): Datum pristupa: 10. kolovoza 2020. Web stranica: <https://www.fishersci.ca/shop/products/emd-millipore-reflectoquant-rqflex-plus-potassium-test-strips/m1179450001>
8. Gooding, M. J., Davies, W. P. (1997): Wheat production and utilization: systems, quality and the environment. CAB international.
9. GRDC Grownotes (2016): Wheat. Datum pristupa: 8. srpnja 2020. Web stranica: [https://grdc.com.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0026/370673/GrowNote-Wheat-North-04Physiology.pdf](https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0026/370673/GrowNote-Wheat-North-04Physiology.pdf)
10. Hall, R. (2008.): Soil essentials. Managing your farm's primary asset. Landlinks.
11. Haynes, R. J. (1986): Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando, FL: Academic Press.
12. Hooper, A.B. (1989): Biochemistry of the nitrifying lithoautotrophic bacteria. U: Autotrophic bacteria (Schlegel, H.G., Bowien, B., ured.), Springer, New York. str. 239-265
13. Howarth, R.W. (2008): Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. Harmful algae, 8(1), 14-20.

14. Johnston, A.E. (1999): Organic manures and mineral fertilizers. In Improved crop quality by nutrient management (pp. 7-11). Springer, Dordrecht.
15. Jorgensen, S. E., Fath, B. D. (2014): Encyclopedia of ecology. Newnes.
16. Jug, D., Jug, I., Vukadinović, Vesna., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017.): Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tala (HDPOT), Osijek
17. Keeney, D.R., Hatfield, J.L. (2008): The nitrogen cycle, historical perspective, and current and potential future concerns. U Nitrogen in the Environment (pp. 1-18). Academic Press.
18. Khan, K., Shewry, P.R. (2009): Wheat: chemistry and technology. AACCI International.
19. Likens, G., Benbow, M. E., Burton, T. M., Van Donk, E., Downing, J. A., & Gulati, R. D. (2009): Encyclopedia of Inland Waters. Amsterdam: Elsevier.
20. Marino, R., Howarth, R.W. (2009): Nitrogen fixation. In: G. E. Likens (ed), Encyclopedia of Inland Waters. Elsevier, NY, USA
21. Miljević, I. (2015): Utjecaj vremenskih prilika na proizvodnju ozime pšenice na po miljević (Završni rad). Web stranica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:328652>. Datum pristupa: 8. srpnja 2020.
22. Pajić, S. (2018.): Agrotehnika proizvodnje pšenice. Hrvatska poljoprivrednošumarska savjetodavna služba. Web stranica: <https://www.savjetodavna.hr/wpcontent/uploads/publikacije/AgrotehnikaPseniceWeb102018.pdf>. Datum pristupa: 8. srpnja 2020.
23. Parnes, R. (2013): Soil Fertility A Guide to Organic and Inorganic Soil Amendments. Web stranica: <https://www.nofa.org/soil/html/index.php>. Datum pristupa: 8.7.2020.
24. Pospišil, A., Pospišil, M. (2013): Ratarstvo-praktikum. Agronomski fakultet, Zagreb.
25. Raymond, J., Siefert, J.L., Staples, C.R., Blankenship, R.E. (2004): The natural history of nitrogen fixation. Molecular biology and evolution, 21(3), 541-554.
26. Royal Society of Chemistry (n.d.) Nitrogen. Web stranica: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/7/nitrogen>. Datum pristupa: 8. srpnja 2020.

27. Russell, A.E., Laird, D.A., Mallarino, A.P. (2006.): Nitrogen Fertilization and Cropping System Impacts on Soil Quality in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal*, 70(1): 249–255
28. Škorić A. (1973): *Pedološki praktikum*. Sveučilište u Zagrebu. Poljoprivredni fakultet. Zagreb.
29. Škorić, A. (1986): *Postanak, razvoj i sistematika tla*. Knjiga, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
30. Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Tilman, D.G. (1997): Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*, 7(3), 737-750.
31. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011): *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet, Osijek
32. Vukadinović, V., Jug, I., i Đurđević, B. (2014): *Ekofiziologija bilja*. Sveučilišni udžbenik. Neformalna savjetodavna služba, Osijek
33. Vymazal, J. (2007): Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the total environment*, 380(1-3), 48-65.
34. Wrage N., Velthof G., van Beusichem M., Oenema O. (2001): Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 12-13.
35. Yang, S., Li, F., Sukhdev, S.M., Wan, P., Suo, D., Wang, J. (2004.): Long-Term Fertilization Effects on Crop Yield and Nitrate Nitrogen Accumulation in Soil in Northwestern China. *Agron. J.* 96:1039–1049.

## 8. SAŽETAK

Zbog niza čimbenika koji utječu na raspoloživost dušika u tlu, iznimno je teško pravilno izračunati i primijeniti optimalnu količinu dušika za usjeve. Cilj ovoga rada bio je izračunati količinu potrebnog dušika za prihranu ozime pšenice primjenom računalnog modela (kalkulatora) temeljenog na N-min metodi. Za izračun gnojdbene doze dušika i testiranje N-min kalkulatora, odabrane su tri parcele veličine 6x12 m na kojima je provedena kemijska analiza tla, te u jesen dodano 50% predviđenih potreba dušika prema unaprijed planiranoj gnojidbi (25 kg N ha<sup>-1</sup>, 55 kg N ha<sup>-1</sup> i 85 kg N ha<sup>-1</sup>). Nakon toga provedena je N-min analiza u busanju i početku vlatanja na tri dubine (0-30, 30-60 i 60-90 cm) te pomoću N-min kalkulatora izračunate doze dušika potrebne za prvu i drugu prihranu. Utvrđeno je da je optimalna gnojidba za navedeni tip tla i ostvarivanje ciljanog prinosa od 7 t ha<sup>-1</sup> sastavljena od niže doze dušika primijenjene u jesen pod osnovnu obradu (25 kg N ha<sup>-1</sup>) i izračuna prihrane N-min kalkulatorom na temelju analize tla (prva prihrana 101 kg N ha<sup>-1</sup> i druga prihrana 60 kg N ha<sup>-1</sup>).



## 9. SUMMARY

Due to a number of factors that affect the availability of nitrogen in the soil, it is extremely difficult to correctly calculate and apply the optimal amount of nitrogen for crops. The aim of this study was to calculate the amount of nitrogen required for winter wheat supplementation using a computer model (calculator) based on the N-min method. To calculate the nitrogen fertilization dose and test the N-min calculator, three plots of 6x12 m were selected, on which was performed a chemical analysis of the soil, and 50% of the predicted nitrogen needs were added in the fall, according to the pre-planned fertilization (25 kg N ha<sup>-1</sup>, 55 kg N ha<sup>-1</sup> and 85 kg N ha<sup>-1</sup>). After that, N-min analysis was performed in drilling and beginning of drilling at three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm) and using the N-min calculator to calculate the nitrogen doses required for the first and second top dressing. It was found that the optimal fertilization for the specified soil type and achieving the target yield of 7 t ha<sup>-1</sup> consisted of a lower dose of nitrogen applied in the fall under basic tillage (25 kg N ha<sup>-1</sup>) and calculation of fertilization N-min calculator based on soil analysis (first top dressing 101 kg N ha<sup>-1</sup> and second top dressing 60 kg N ha<sup>-1</sup>).

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalno-kemijska svojstva profila ritske crnice u Čelijama

Tablica 2. Rezultati kemijskih analiza prosječnih uzoraka tla

Tablica 3. N-min analiza tla provedena na tri dubine u busanju

Tablica 4. N-min analiza tla provedena na tri dubine pred vlatanje

Tablica 5. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 25 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

Tablica 6. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 55 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

Tablica 7. Izračun doze dušika N-min kalkulatorom prva i druga prihrana (primijenjeno 85 kg N ha<sup>-1</sup> u jesen)

Tablica 8. Prosječni dotok i gubitak dušika na poljoprivrednim površinama

## 11. POPIS SLIKA

Slika 4. Organogeneza i fenofaze ozime pšenice

Slika 5. Kruženje dušika u prirodi

Slika 6. Shema usvajanja N-NO<sub>3</sub>

Slika 4. Pokusno polje na lokalitetu Čelije

Slika 5. Reflectoquant

Slika 6. Sučelje N-min kalkulatora

Slika 7. Ritska crnica (Humoglej) u Čelijama

Slika 8. Dnevno usvajanje dušika ozimom pšenicom i intenzitet mineralizacije

## 12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prikaz ukupne potrebne količine dušika  $\text{kg ha}^{-1}$  za ostvarivanje prinosa od  $7 \text{ t ha}^{-1}$

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku  
Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo; smjer: Ishrana bilja i tloznanstvo

Primjena N-min metode i računalnog modela za izračun doze dušika u uzgoju ozime  
pšenice

**Dino Grubišić**

**Sažetak:**

Zbog niza čimbenika koji utječu na raspoloživost dušika u tlu, iznimno je teško pravilno izračunati i primijeniti optimalnu količinu dušika za usjeve. Cilj ovoga rada bio je izračunati količinu potrebnog dušika za prihranu ozime pšenice primjenom računalnog modela (kalkulatora) temeljenog na N-min metodi. Za izračun gnojidbene doze dušika i testiranje N-min kalkulatora, odabrane su tri parcele veličine 6x12 m na kojima je provedena kemijska analiza tla, te u jesen dodano 50% predviđenih potreba dušika prema unaprijed planiranoj gnojidbi (25 kg N ha<sup>-1</sup>, 55 kg N ha<sup>-1</sup> i 85 kg N ha<sup>-1</sup>). Nakon toga provedena je N-min analiza u busanju i početku vlatanja na tri dubine (0-30, 30-60 i 60-90 cm) te pomoću N-min kalkulatora izračunate doze dušika potrebne za prvu i drugu prihranu. Utvrđeno je da je optimalna gnojidba za navedeni tip tla i ostvarivanje ciljanog prinosa od 7 t ha<sup>-1</sup> sastavljena od niže doze dušika primijenjene u jesen pod osnovnu obradu (25 kg N ha<sup>-1</sup>) i izračuna prihrane N-min kalkulatorom na temelju analize tla (prva prihrana 101 kg N ha<sup>-1</sup> i druga prihrana 60 kg N ha<sup>-1</sup>).

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

**Mentor:** Izv. Prof. dr. sc. Boris Đurđević

**Broj stranica:** 42

**Broj grafikona i slika:** 9

**Broj tablica:** 8

**Broj literaturnih navoda:** 35

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** pšenica, dušik, n-min, kalkulator

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član

**Rad je pohranjen:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Graduatethesis**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnological Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Plant production, Herb nutrition and soil science**

Application of N-min method and computer model for nitrogen rates calculation in winter wheat

**Dino Grubišić**

### **Abstract:**

Due to a number of factors that affect the availability of nitrogen in the soil, it is extremely difficult to correctly calculate and apply the optimal amount of nitrogen for crops. The aim of this study was to calculate the amount of nitrogen required for winter wheat supplementation using a computer model (calculator) based on the N-min method. To calculate the nitrogen fertilization dose and test the N-min calculator, three plots of 6x12 m were selected, on which was performed a chemical analysis of the soil, and 50% of the predicted nitrogen needs were added in the fall, according to the pre-planned fertilization (25 kg N ha<sup>-1</sup>, 55 kg N ha<sup>-1</sup> i 85 kg N ha<sup>-1</sup>). After that, N-min analysis was performed in drilling and beginning of drilling at three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm) and using the N-min calculator to calculate the nitrogen doses required for the first and second top dressing. It was found that the optimal fertilization for the specified soil type and achieving the target yield of 7 t ha<sup>-1</sup> consisted of a lower dose of nitrogen applied in the fall under basic tillage (25 kg N ha<sup>-1</sup>) and calculation of fertilization N-min calculator based on soil analysis (first top dressing 101 kg N ha<sup>-1</sup> and second top dressing 60 kg N ha<sup>-1</sup>).

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnological Sciences Osijek

**Mentor:** Boris Đurđević, PhD, professor

**Number of pages:** 42

**Number of figures:** 9

**Number of tables:** 8

**Number of references:** 35

**Original in:** Croatian

**Keywords:** wheat, nitrogen, N-min, calculator

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

**1. Prof. dr. sc. Irena Jug, chairman**

**2. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor**

**3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, member**

**Thesis deposited:** Library, Faculty of Agrobiotechnological Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.