

32. srečanje mladih raziskovalcev Pomurja



Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

Trajnostni vidik uporabe dušikovih nano gnojil v pridelavi navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.)

**Sustainability aspect of the use of nitrogen nano-fertilizers
in the production of common wheat (*Triticum aestivum* L.)**

Raziskovalno področje:

Kmetijstvo

Raziskovalna naloga

Avtor: Luka Šantavec

Mentor: dr. Marija Meznarič

Somentor: doc. dr. Primož Titan

Ljutomer, februar 2024

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Raziskovalno vprašanje in hipoteze.....	2
2	TEORETSKE OSNOVE	3
2.1	Navadna pšenica (<i>Triticum aestivum L.</i>).....	3
2.2	Potrebe navadne pšenice po dušiku	5
2.3	Dušikova nano gnojila	7
3	MATERIAL IN METODE	10
3.1	Zasnova poljskega poskusa in zbiranja podatkov.....	10
3.2	Statistična obdelava podatkov	13
4	REZULTATI	14
5	LOKACIJA POSKUSA.....	18
6	SKLEPI.....	19
7	DRUŽBENA ODGOVORNOST	20
8	FINANČNA ANALIZA.....	21
9	LITERATURA	22

KAZALO SLIK

Slika 1: Zrno pšenice.....	3
Slika 2: Navadna pšenica. (<i>triticum aestivum</i>)	5
Slika 3: Rumenenje listov pri pšenici	7
Slika 4: Nano urea	9
Slika 5: Poskus za preizkušanje dušikovega nano gnojila – nano urea v podjetju Cornus	12
Slika 6: Klorofilometer Hydro N tester.....	13
Slika 7: Lokacija rastlinjakov.....	18

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri prvem dognojevanju navadne pšenice.....	14
Graf 2: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri drugem dognojevanju navadne pšenice.....	15
Graf 3: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri tretjem dognojevanju navadne pšenice.....	15
Graf 4: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na končno višino rastlin navadne pšenice.....	16
Graf 5: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na skupno število zrn za posamezno rastlino navadne pšenice.....	17
Graf 6: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na skupno težo zrn za posamezno rastlino navadne pšenice.....	17

POVZETEK

Navadna pšenica (*Triticum aestivum L.*) je ena izmed vodilnih poljščin v Republiki Sloveniji. V setveni strukturi Republike Slovenije vsako leto zavzema približno 30.000 hektarjev. Podobno kot ostale poljščine, ki botanično spadajo v družino trave (znanstveno ime Poaceae) potrebuje za svojo rast in razvoj največ dušika. V preteklosti so bila dušikova mineralna gnojila najpogosteje obravnavana skozi njihov negativni vpliv na okolje. Po letu 2022 pa so obravnavana predvsem iz stališča, kako z alternativami metodami v prehrani rastlin zmanjšati odvisnost slovenskega kmetijstva od uvoza mineralnih dušikovih gnojil.

V raziskovalnem delu smo se osredotočili na problematiko, povezano z uporabo mineralnih dušikovih gnojil v pridelavi navadne pšenice. Znanost o nano-gnojilih predstavlja pomembno področje, ki lahko ponuja rešitve za težave, ki so povezane s proizvodnjo in uporabo običajnih (konvencionalnih) mineralnih dušikovih gnojil. Nano-gnojila ponujajo številne prednosti pred »konvencionalnimi« gnojili, kot so večja učinkovitost pri absorpciji hrani za rastline, odsotnost volatizacije, podaljšano delovanje itd.

Rezultati so pokazali, da je imelo vsakokratno dodajanje nano urea-e k znižanemu odmerku standardnega dušikovega gnojila pozitiven vpliv, tako na tvorbo klorofila kakor tudi na morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice. Dodatek nano urea-e je med drugim rezultiral v 8,5 % povišanju števila zrn na posamezno rastlino in več kot 20 % povišanje skupne teže zrn na posamezno rastlino.

Z izsledki raziskave lahko potrdimo smiselnost zamenjave standardnega dušikovega gnojila KAN 27% z dušikovim nanostrukturiranim gnojilom nano urea.

Ključne besede: Dušik, Klorofil, Morfo-agronomske lastnosti, navadna pšenica, nano urea

ABSTRACT

Common wheat (*Triticum aestivum L.*) is one of the leading crops in the Republic of Slovenia. In the sowing structure of the Republic of Slovenia, it occupies approximately 30,000 hectares each year. Like other crops, which botanically belong to the grass family (scientific name Poaceae), it needs a lot of nitrogen for its growth and development. In the past, nitrogen mineral fertilizers were most often discussed through their negative impact on the environment. After 2022, they are considered mainly from the point of view of how to use alternative methods in plant nutrition to reduce the dependence of Slovenian agriculture from the import of mineral nitrogen fertilizers.

In the research work, we focused on the problem related to the use of mineral nitrogen fertilizers in the production of common wheat. The science of nano-fertilizers represents an important field that can offer solutions to the problems associated with the production and use of conventional mineral nitrogen fertilizers. Nano-fertilizers offer many advantages over "conventional" fertilizers, such as greater efficiency in nutrient absorption for plants, absence of volatilization, prolonged action, etc.

The results showed that the addition of nano-urea to a reduced dose of standard nitrogen fertilizer calcium ammonium nitrate (27% Nitrogen) had a positive impact on both the formation of chlorophyll and the morpho-agronomic properties of common wheat. The addition of nano urea resulted, among other things, in an 8.5% increase in the number of grains per individual plant and more than a 20% increase in the total weight of grains per individual plant.

With our research work, we can confirm the feasibility of replacing the standard nitrogen fertilizer CAN 27% N with the nanostructured fertilizer nano urea.

Keywords: Chlorophyll, common wheat, morpho-agronomic traits, nano urea, nitrogen

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. Primožu Titanu za strokovno pomoč pri eksperimentalnem delu in dr. Mariji Meznarič za mentorstvo pri nalogi.

1 UVOD

Pridelava pšenice (*Triticum* spp.) temelji na dušikovih mineralnih gnojilih, kot sta kalcijev amonijev nitrat (27 in 34 % N) in sečnina (46 % N). Skupna poraba dušikovih mineralnih gnojil se je po vsem svetu povečala s 112,5 milijona ton leta 2015 na 118,2 milijona ton leta 2019 (Om Prakash in sod., 2022). Pričakuje se, da se bo svetovna poraba dušikovih mineralnih gnojil med letoma 2015 in 2050 podvojila (s 112 Mt leta 2015 na 236 Mt leta 2050) (Om Prakash in sod., 2022). Velik del ogljičnega odtisa, povezanega s pridelavo navadne pšenice (*Triticum aestivum* L.), je neposredno povezan s proizvodnjo dušikovih mineralnih gnojil. Najpogostejša oblika mineralnega dušika, ki se uporablja pri pridelavi pšenice, je nitrat (NO_3^-). Ocenjuje se, da se 50–70 % uporabljenega mineralnega dušika (zlasti v obliki nitrata NO_3^-) izgubi iz območje rizosfere s kombinacijo izpiranja, površinskega odtekanja, denitrifikacije, volatizacije in porabe mikrobov (Xu in sod., 2019). Dodani mineralni dušik, ki ga rastoče rastline niso v celoti izkoristile, predstavlja finančno izgubo in negativno vpliva na kakovost zraka in podtalnice. Ta presežek dušika lahko prispeva k povečanemu nastajanju prizemnega ozona, večji količini toplogrednih plinov, in tanjšanju zaščitne ozonske plasti visoko v zemeljskem ozračju (okoljski program, 2024). Poleg tega je uporaba mineranih dušikovih gnojil povezana z emisijami amoniaka. Volatizacija iz gnojil živalskega izvora in uporaba dušikovih mineralnih gnojil predstavlja 80–90 % skupnih emisij amoniaka na svetovni ravni. Emisije amoniaka so povezane z dvema glavnima vrstama okoljskih problemov: acidifikacijo in evtrofikacijo (OECD, 2024).

Znanost o nano-gnojilih predstavlja pomembno področje, ki lahko ponuja rešitve za težave, ki so povezane s proizvodnjo in uporabo običajnih (konvencionalnih) mineralnih gnojil. Nano-gnojila ponujajo številne prednosti pred »konvencionalnimi« gnojili, kot so večja učinkovitost pri absorpciji hranil za rastline, odsotnost volatizacije, podaljšano delovanje itd. (Bulović in sod., 2007; Shang in sod., 2019). Kot zanimiv proizvod raziskovalnega dela na znanstvenem področju nanotehnologij in nano-gnojil predstavlja nanostrukturirana urea ali »Nano urea«. Nano urea je izdelek, ki temelji na nanotehnologiji in je sestavljen iz delcev urea-e velikosti nanometrov. Pričakuje se, da bo imela uporaba nano urea-e v kmetijstvu več koristi, vključno z zmanjšanjem uporabe standardnih dušikovih mineralnih gnojil, izboljšanjem produktivnosti, zmanjšanjem onesnaževanja okolja in znižanjem stroškov, ki so povezani z uporabo mineralnih dušikovih gnojil (Subramanian, 2015; Torney, 2007).

1.1 Raziskovalno vprašanje in hipoteze

Namen raziskovalne naloge je bil ugotoviti vpliv uporabe dušikovega nano strukturiranega gnojila »nano urea« na rast in razvoj navadne pšenice ter njegov prispevek k zmanjšani uporabi dušikovih mineralnih gnojil v pridelavi navadne pšenice (*Triticum aestivum L.*).

Z opravljenim raziskovalnim delom smo potrdili ali ovrgli naslednje delovne hipoteze:

Hipoteza 1: Uporaba nano urea-e ugodno vpliva na intenziteto fotosinteze.

Hipoteza 2: Uporaba nano urea-e ugodno vpliva na morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice.

Hipoteza 3: Z uporabo nano urea-e lahko znižamo uporabo standardnih dušikovih mineralnih gnojil kot je kalcij amonijev nitrat KAN 27%.

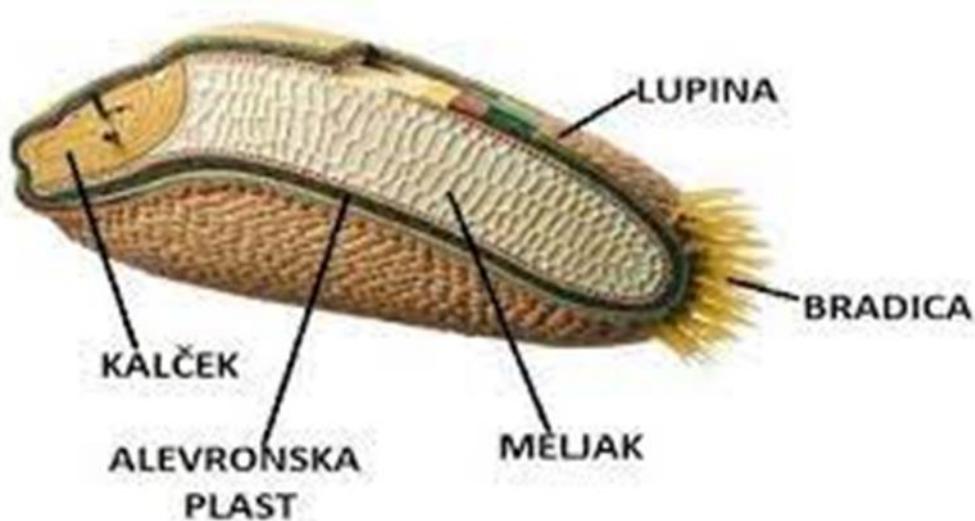
2 TEORETSKE OSNOVE

2.1 Navadna pšenica (*Triticum aestivum* L.)

Pšenica je ena najstarejših kulturnih rastlin in je znano, da so jo uporabljali že v Egiptu in Mezopotamiji. Botanično spada v družino trav in zraste do 1,5 m višine. Dandanes sta od 27 vrst najbolj razširjeni in uporabljeni dve in ena izmed teh je navadna pšenica (*Triticum aestivum* L.) (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).

Navadna ali tudi včasih poimenovana mehka pšenica ima v današnjem času velik pomen še posebej v Srednji in Zahodni Evropi. Je ključna sestavina v pridelavi osnovnih prehrambnih živil, kot je kruh, saj iz pšenice pridobimo moko. Njena posebnost je, da je genetsko spontani heksaploid, kar pomeni, da ima šest parov kromosomov (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).

Zrno je sploščene polkrožne oblike. Ločimo jajčasto, narobe jajčasto in eliptično različico. Vzdolž celotne trebušne strani poteka vdrta brazda, na drugi strani je pri dnu pod lupino kalček. Zgornji del zrna je odlačen in se zato imenuje bradica. Dlačice, izraščajo iz zgornje strani lupine. Za lupino sledi več plasti, katerih namen je zaščita notranjosti. Med temi lupinami so naložena tudi določena barvila, med zorenjem opazimo tudi klorofil. V notranjosti se nahaja endosperm in kalček (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).



Slika 1: Zrno pšenice.

(Vir: http://pefprints.pef.uni-lj.si/3097/1/Murko_Poznavanje_zit_med_osnovnošolci_diplomsko_delo_2015.pdf, 27.2.2024)

Korenine so pri navadni pšenici enake kot pri vseh ostalih enokaličnicah. So šopaste oblike in večina jih zraste do 30 cm globine.. Pri odrasli dobi rasti je značilno, da ima pšenica prvotne in drugotne korenine. Naloga prvotnih korenin je, da preskrbujejo rastlino do oblikovanja razrastišča iz katerega potem poženejo drugotne korenine. Prvotnih korenin je po navadi do 6 in so močnejše ter gostejše. Za drugotne korenine pa je značilna bujna rast in pri jesenski žetvi že predstavljajo 50% koreninske mase. Pozimi jih večina odmre, vendar se le-te spomladi hitreje obnovijo in zrastejo, kot pa prvotne (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024)

Bil je tanko stebelce z jasnimi odebeljenimi ojačitvami ali kolenci. Odseki med kolenci so členki ali internodiji. Notranjost steba zapoljuje stržen, vendar le v kolencih, členki so votli. Nad zemljo je do 7 kolenc, pod zemljo, kjer so členki dolgi le nekaj milimetrov, pa do 9. Dolžina členkov se povečuje od spodaj navzgor (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).

List je zgrajen iz listne nožnice, dveh ušesc (*auriculae*), dveh jezičkov (*ligula*) in listne ploskve (*lamina*). Listna ploskev ima značilno za enokaličnice vzporedno razporeditev žil. Ploskev je dolga približno 60 cm, široka pa do 1,5 cm. Podolgovate celice iz katerih je zgrajena ploskva so lahko na eni strani obdane z voščenim poprhom Čeprav tudi pri mezofilu pšenice poteka fotosinteza nima tako izrazitega stebričastega in gobastega tkiva. Pri klasenju ni pomembno število listov ampak je pridelek odvisen od njihove oblike in lege. Novejše sorte bi naj imele kraje liste. Njihova trajnost je zelo odvisna od gnojenja, še zlasti z dušikom (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).

Klas pšenice sestavlja klasična socvetja, imenovana klaski, ki so pritrjeni na klasno vreteno (*rachis*). Iz botaničnega vidika je klas pšenice sestavljeno socvetje. Vreteno je preoblikovana bil s členki, ki so lahko kratki ali dolgi. Dolžina posameznega členka je podedovana in je pri navadni pšenici kasneje podlaga za botanično sistematizacijo. Vsak klasek ima od 4 do 7 cvetov ampak vsa niso plodni (<https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica>, 9.2.2024).



Slika 2: Navadna pšenica. (*triticum aestivum*)

(Vir: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Pšenica>, 27.2.2024)

2.2 Potrebe navadne pšenice po dušiku

Okvirne potrebe navadne pšenice po rastlinskih hranilih pri pričakovanem pridelku zrnja 7 ton na hektar znašajo med vegetacijo 170–140 kg / ha dušika, 110–140 kg / ha fosforja in 160–240 kg / ha kalija. Iz odvzema rastlinskih hranil je torej razvidno, da ima koruza med vegetacijo največje potrebe po dušiku. Dušik je namreč gradnik nukleinskih kislin, aminokislin, klorofila, encimov itd. Rastlinam dostopna je mineralna oblika dušika (nitratni ion NO_3^- in amonijev ion NH_4^+). Slaba lastnost dušika kot makro hranila je, da je zelo podvržen izpiranju (predvsem nitratna oblika) in izhlapevanju oziroma volatizaciji (predvsem amonijski oblika). Zaradi tega celotno količino dušika, ki ga navadna pšenica potrebuje tekom vegetacije razdelimo na več delov, oziroma obrokov. V kmetijski praksi pravimo, da pšenico dognojujemo (Bavec, 2003).

Dognojevanje navadne pšenice je potrebno skrbno načrtovati, saj preveliki odmerki dušika povzročajo večjo stopnjo občutljivosti na bolezni ter poleganje, prenizki odmerki dušika pa zmanjujejo pridelek in poslabšujejo kakovost žita. Količino dušika in čas dognojevanja določimo na podlagi gostote posevka in zalog dušika v tleh, nakar izberemo še ustrezno gnojilo.

V spomladanskem obdobju rasti in razvoja pšenice je dušik tisti element, ki vpliva na količino in kakovost pridelka. Kritične faze za pomanjkanje dušika so v fazi razraščanja (formira se število klasov, opravimo prvo dognojevanje), v fazi kolenčenja (formira se dolžina klasa, opravimo drugo dognojevanje) in v fazi klasenja (formira se teža zrnja in kakovost, opravimo tretje dognojevanje) (Bavec in Bavec, 2014).

Prvo dognojevanje opravimo takoj, ko se prične spomladanska rast, to je, ko se temperatura zraka dvigne nad 5°C. Odmerek dušika je odvisen od vsebnosti dušika v tleh, stanja posevkov po prezimivti, vremenskih razmer v zimskem času ter od pričakovanega pridelka. Odmerek dušika za prvo dognojevanje dobimo tako, da od ciljne vrednosti 120 kg/ha odštejemo količino mineralnega dušika v tleh, ugotovljeno s pomočjo hitrega talnega testa. Za prvo spomladansko dognojevanje za ozimno pšenico v večini primerov zadostuje 40 do 70 kg dušika/ha, kar zadostimo s 150 do 260 kg KAN/ha (Sušin 2005, Sušin, 2006).

Drugo dognojevanje opravimo, ko na rastlinah lahko otipamo eno do dve kolenci, oziroma ko so rastline visoke okoli 15 cm. V naših rastnih razmerah je to v prvi polovici aprila. Z drugim dognojevanjem vplivamo na razvoj klaskov in cvetnih zasnov v klaskih. Za drugo dognojevanje ozimne pšenice priporočamo okvirni odmerek 40-60 kg dušika/ha oziroma 150 do 220 kg KAN/ha. Za določitev natančnejšega odmerka dušika za drugo dognojevanje si pomagamo z uporabo hitrega rastlinskega nitratnega testa, ki temelji na koncentraciji nitratov v rastlinskem soku bili rastlin (Sušin 2005, Sušin, 2006).

Za dobro kakovost zrnja pšenice je pomembno tretje dognojevanje, ki ga opravimo v obdobju od začetka klasenja do cvetenja. S tretjim dognojevanjem podaljšamo obdobje polnjenja zrn, povečamo težo zrn in vsebnost beljakovin. Tretje dognojevanje se običajno opravi s 30 – 50 kg dušika/ha oziroma 110 – 180 kg KAN/ha (Sušin 2005, Sušin, 2006).



Slika 3: Rumenenje listov pri pšenici

(Vir: <https://www.ivr.si/skodljivec/virus-pritlikavosti-psenice/>, 28.2.2024)

2.3 Dušikova nano gnojila

Nanotehnologija je postala pomembno področje raziskav v kmetijstvu (Pramanik in sod., 2020; Sarkar in sod., 2021). Večina deležnikov jih dojema kot obetavno tehnologijo (Mukherjee in sod., 2019). Ena najbolj obetavnih aplikacij Nanotehnologije v kmetijstvu je uporaba nano sečnine, nano različice sečnine, ki je ena najpogosteje uporabljenih dušikovih gnojil (Jangir in sod., 2021). Nano sečnina ima več prednosti pred tradicionalno sečnino, vključno s povečano topnostjo in učinkovitostjo. Rast prebivalstva in podnebne spremembe so privedle do večjega povpraševanja po proizvodnji hrane in potrebi po bolj trajnostnih načinih izvajanja kmetijstva (Shubha in sod., 2021). Prav tako so ta sintetična gnojila škodovala okolju in zdravju ljudi. Zato moramo najti trajnostne alternative sintetičnim gnojilom, ki lahko sledijo naraščajoči potrebi

po hrani, hkrati pa zmanjšujejo škodo, ki jo povzročajo okolju (https://www.researchgate.net/publication/371138618_Nanostructured_Urea_Fertilizer_Nano_Urea_A_Promising_Approach_to_Sustainable_Agriculture, 2024).

Ena od alternativ je nano sečnina, nova vrsta dušikovih gnojil s potencialnimi koristmi za trajnostno kmetijstvo. Nano sečnina je izdelek, ki temelji na nanotehnologiji in je sestavljen iz delcev sečnine, ki so nano velikosti med 20 in 50 nm. Pričakuje se, da bo uporaba nano sečnine v kmetijstvu imela več koristi, vključno z zmanjšanjem uporabe gnojil, izboljšanjem pridelka, zmanjšanjem onesnaževanja okolja in zmanjšanjem stroškov gnojil. Nano sečnina je nova vrsta dušikovih gnojil, narejenih z razgradnjo običajne sečnine na drobne koščke, imenovane nanodelci, kateri vsebujejo več dušikovih delcev. V svoji uporabi dušika ima okoli 80 % višjo učinkovitost proti navadnim gnojilom. Postopek pretvorbe vključuje zmanjšanje velikosti sečnine na nano merilo s fizikalnimi ali kemičnimi metodami. Pri tem je prednost, da se ne porablja toliko energije in surovin. Nastali produkt je bel prašek z visoko vsebnostjo dušika, ki se lahko uporablja kot gnojilo, ki je v primerjavi s ostalimi gnojili ne onesnažuje okolju (https://www.researchgate.net/publication/371138618_Nanostructured_Urea_Fertilizer_Nano_Urea_A_Promising_Approach_to_Sustainable_Agriculture, 2024).

V rastlini je dušik iz nano urea-je na voljo vse skozi življenski cikel rasti medtem, ko se večina navadnih gnojil po 3-4 dneh večinoma izpere. Še dodatna prednost nano urea-je je, da se absorbira v rastlino skozi liste in je lahko takojšnji učinek pri rastlini. Pri navadnih gnojilih pa absorpcija poteka skozi korenine. Nano urea-ja še ima možnost prilagodljivosti glede časa in načina uporabe. Nanodelci se lahko prilagodijo Agro kemičnim sredstvom in omogočijo počasnejšo sproščanje dušika. To so dokazali s poskusi. Pri urea-ji se je po 320 sekundah po stiku z vodo sprostilo 99 % dušika. Za nano urea-jo pa se je v roku 3820 sekund sprostilo samo 86% dušika. Preostali dušik se je sproščal se teden dni kasneje. Pri poskusih je bilo dokazano, da je za enako količino pridelka bilo potrebno približno 50 % manj urea-je (https://www.researchgate.net/publication/371138618_Nanostructured_Urea_Fertilizer_Nano_Urea_A_Promising_Approach_to_Sustainable_Agriculture, 2024).

Nano urea ima velik potencial v kmetijstvu, kot trajnostno gnojilo. Njena velika učinkovitost, zmanjšan vpliv na okolje in visok donos predstavlja zanimivo alternativo navadni urea-ji. Kljub temu ima pred seboj še veliko izzivov, kot so visoka cena, omejena razpoložljivost in malo raziskani dolgotrajni vplivi (https://www.researchgate.net/publication/371138618_Nanostructured_Urea_Fertilizer_Nano_Urea_A_Promising_Approach_to_Sustainable_Agriculture, 2024).



Slika 4: Nano urea.

(Vir: <https://nanourea.in/en/nano-urea>, 27.2.2024)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 Zasnova poljskega poskusa in zbiranja podatkov

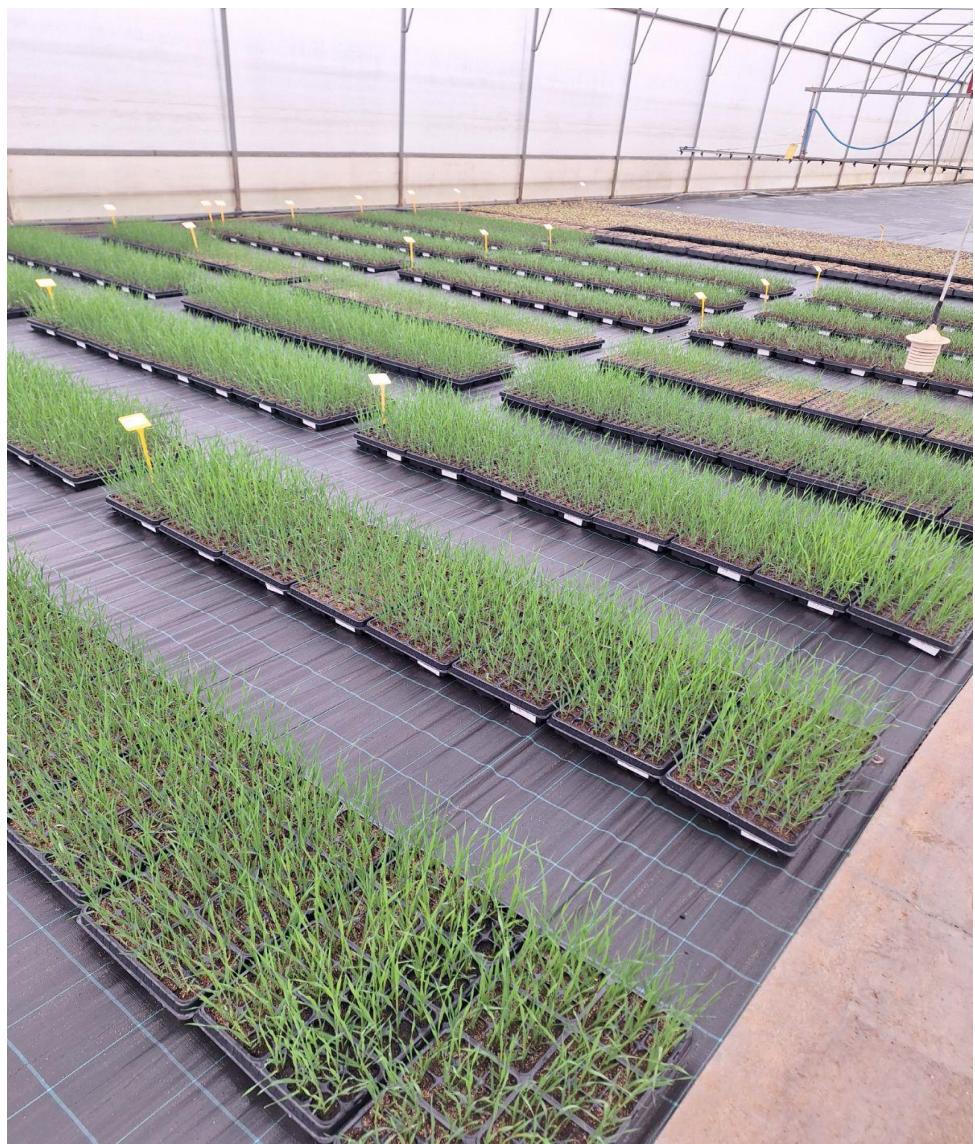
Raziskovalna naloga, ki temelji na preučevanju vpliva dušikovih nano gnojil na preskrbo navadne pšenice z dušikom, je bila izvedena v obdobju med 1. 9. 2023 in 15. 2. 2024 v rastlinjaku podjetja Cornus (www.cornus.si; Slika 7). Za namen preizkušanja je bila navadna pšenica (kultivar Nexera 86) posejana v plastične platoje dimenzij 50 cm (širina) × 40 cm (dolžina) z osemdesetimi sadilnimi mesti (slika 5). Posamezno obravnavanje je obsegalo štiri platoje in je bilo izvedeno v treh ponovitvah. Obravnavana faktorja v poskusu sta bila oblika dušikovega gnojila (KAN 27% in Nano urea) in celokupna količina dodanega dušika. Kot rastni medij smo uporabili substrat CGS20, ki je namenjen študijam povezanimi z rastlinsko prehrano. Natančen opis rastnega medija oziroma substrata CGS20 je dosegljiv na povezavi: <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/suppl/2017/07/09/161182.DC1/161182-1.pdf>. Da ne bi prihajalo do antagonizmov med dodanim rastlinskimi hranili smo pH substrata vzdrževali med 5,5 in 6,5. Vsa obravnavanja v poskusu so zbrana v preglednici 1.

Preglednica 1: Dinamika dodajanja dušikovih gnojil tekom vegetacije navadne pšenice

Obravnavanje - T			Razraščanje		Kolenčenje		Klasenje	
			40% N	NU (L/ha)	35% N	NU (L/ha)	25% N	NU (L/ha)
T1	100 % RDN	170 Kg N/ha	70	-	60	-	40	
		KAN (27 %) Kg/ha	259		222		148	
T2	75 % RDN	130 Kg N/ha	70	-	60	-	0	
		KAN (27 %)	259		222		0	
T3	66 % RDN	112.2 Kg N/ha	70	-	42,2	-	0	
		KAN (27 %)	259		156		0	
T4	100 % RDN + Nano urea (NU)	170 Kg N/ha	70	-	60	-	40	1,550
		KAN (27 %)	259		222		148	
T5	75 % RDN + Nano urea (NU)	130 Kg N/ha	70	-	60	1,550	0	1,550
		KAN (27 %)	259		222		0	
T6	75 % RDN + Nano urea (NU)	130 Kg N/ha	70	-	60	3,100	0	3,100
		KAN (27 %)	259		222		0	
T7	66 % RDN + Nano urea (NU)	112.2 Kg N/ha	70	-	42,2	1,550	0	1,550
		KAN (27 %)	259		156		0	
T8	66 % RDN + Nano urea (NU)	112.2 Kg N/ha	70	-	42,2	3,100	0	3,100
		KAN (27 %)	259		156		0	
T9	50 % RDN + Nano urea (NU)	85 Kg N/ha	35	1,550	30	1,550	20	1,550
		KAN (27 %)	130		111		74	
T10	50 % RDN + Nano urea (NU)	85 Kg N/ha	35	3,100	30	3,100	20	3,100
		KAN (27 %)	130		111		74	

Legenda: RDN – priporočen odmerek dušika, ki znaša 170 kg/ha, KAN – kalcijev amonijev nitrat, NU – nano urea

Tekom vegetacijo (en dan pred aplikacijo dušikovih gnojil in 5 ter 10 dni po aplikaciji) smo z uporabo klorofilmetra (Hydro N tester) določili intenziteto tvorbe klorofila. Klorofilometer Hydro N tester je prikazan na sliki 6. Za vsako posamezno meritev (vrednost) je bilo pri tem potrebno na srednjih listih pšenične rastline narediti 30 odčitkov oziroma odtisov velikosti 1,8 cm². Po končanem cvetenju pšenice je bila določena končna višina rastline. Za določanje višine smo uporabili leseno palico z merilom, na kateri so bili določeni odseki po en centimeter. V času tehnološke zrelosti pšenice, smo zbrali še podatke o skupnem številu in teži zrn na posamezno rastlino pšenice. Podatki o višini, skupnem številu in teži zrn so bili zbrani na desetih reprezentativnih rastlinah navadne pšenice.



Slika 5: Poskus za preizkušanje dušikovega nano gnojila – nano urea v podjetju Cornus
(Vir: Titan, 2024)



Slika 6: Klorofilmeter Hydro N tester

(Vir: Titan, 2022)

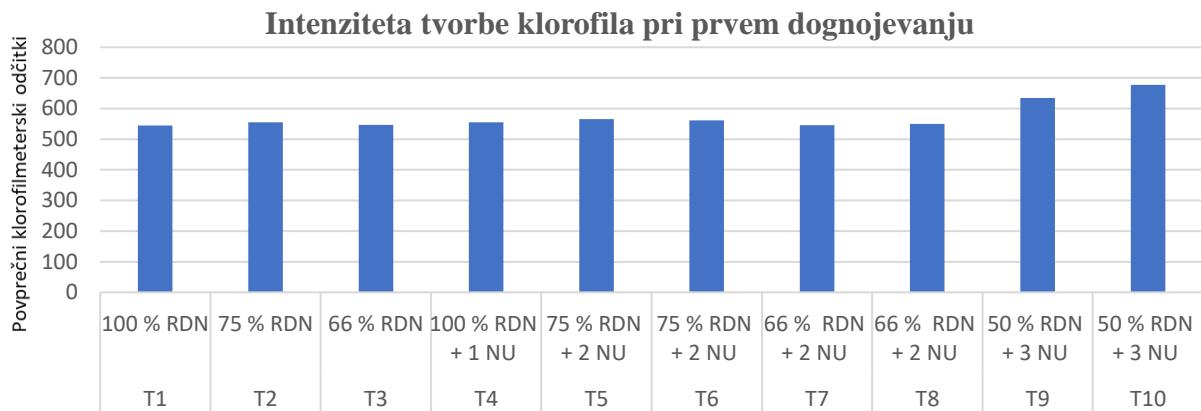
3.2 Statistična obdelava podatkov

Opravljena je bila statistična obdelava podatkov s statističnimi analizami, tabelarnimi in grafičnimi prikazi rezultatov, ki so nastali z uporabo programa Excel. Rezultate povprečne vrednosti tvorbe klorofila, višine rastlin in števila ter teže zrn na posamezno rastlino pšenice smo prikazali kot srednjo vrednost.

4 REZULTATI

Rezultati raziskovalnega dela so pokazali, da ima različni odmerek dodanega standardnega dušikovega gnojila KAN 27% in nano dušikovega gnojila nano-urea signifikanten (pomemben) vpliv na intenziteto tvorbe klorofila in morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice.

Iz grafikona 1 je razvidno, da ima različen odmerek standardnega dušikovega gnojila KAN 27% pri prvem dognojevanju navadne pšenice sicer vpliv na tvorbo klorofila, vendar pa so bile največje vrednosti določene z uporabo klorofilmetra, dosežene pri devetem in desetem obravnavanju, kjer je bila poleg najnižjega odmerka dušikovega gnojila KAN 27% uporabljen納 nano urea.

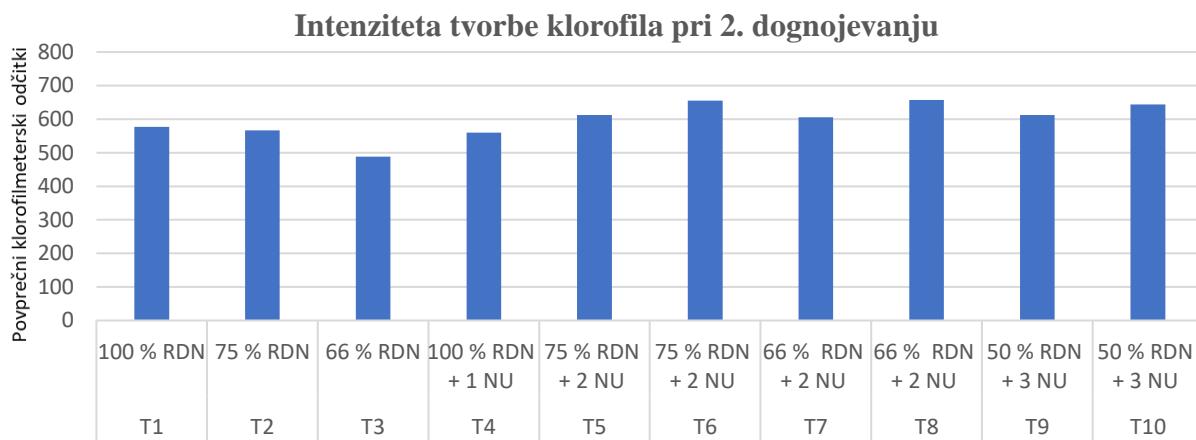


Graf 1: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri prvem dognojevanju navadne pšenice.

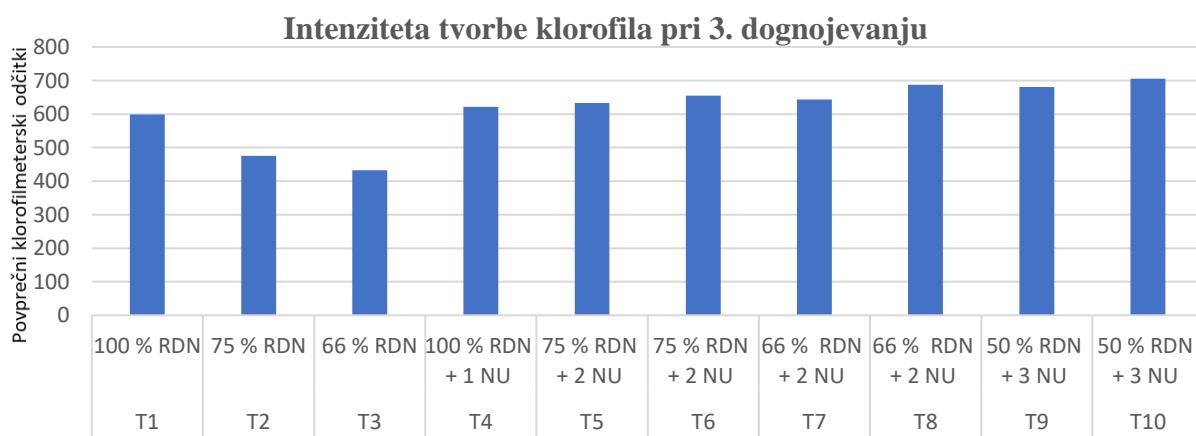
Legenda: RDN – priporočen odmerek dušika, ki znaša 170 kg/ha, NU – nano urea

Drugo in tretjo dognojevanje navadne pšenice tudi potrjujeta smiselnost uporabe nanostrukturiranega dušikovega gnojila nano-urea kot substituta za standardno dušikovo gnojilo KAN 27% (grafikon 2 in 3). Pri tem lahko trdimo še, da večji kot je delež nano urea-e v celotnem odmerku dodanega dušika intenzivnejša je tvorba klorofila. To potrjujeta deveto in deseto obravnavanje, kjer gre vedno za najnižji dodatek standardnega dušikovega gnojila in najvišji odmerek nano-urea. Vrednosti za povprečne klorofilometerske odčitke pri drugem in tretjem dognojevanju pšenice so bile pri devetem in desetem merjenju vedno za več kot 8 %

višje, kot v primerjavi s prvim merjenjem, kjer gre za najvišji odmerek standardnega dušikovega gnojila.



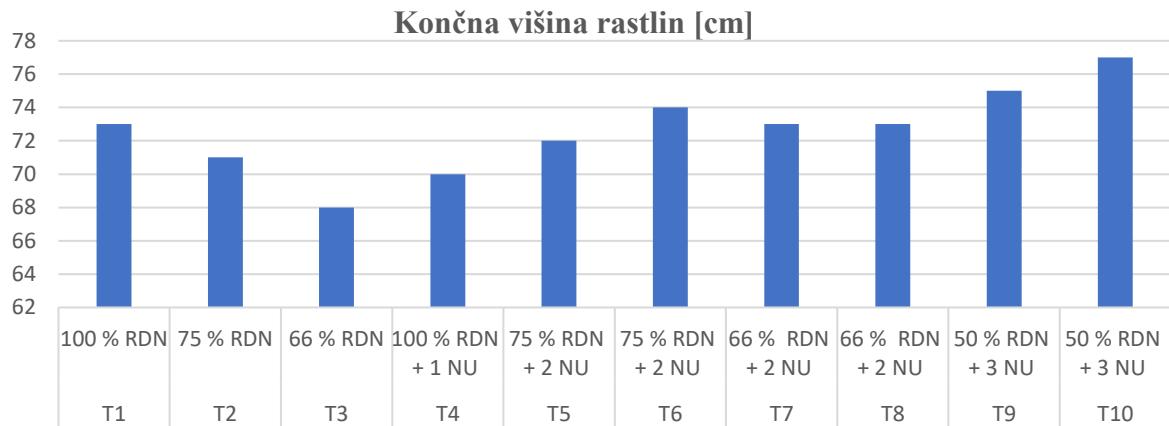
Graf 2: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri drugem dognojevanju navadne pšenice.



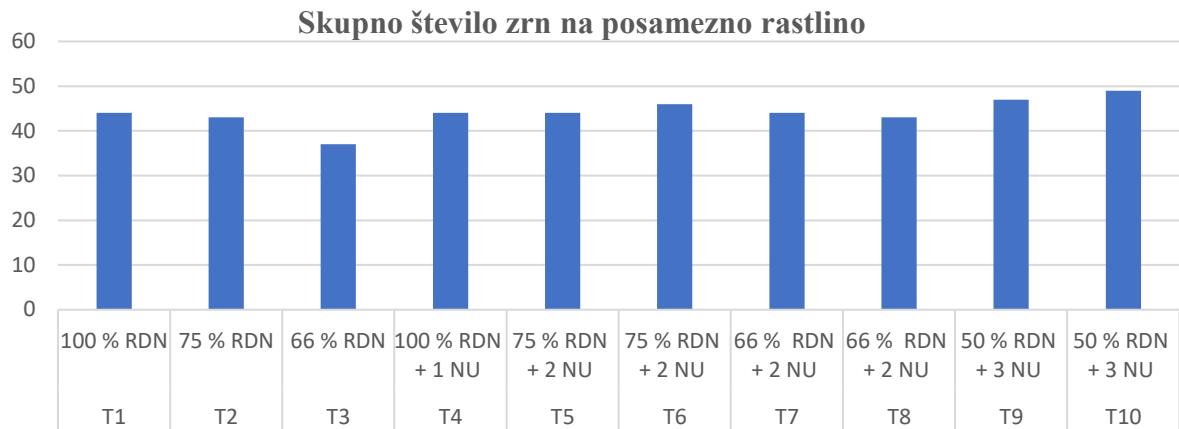
Graf 3: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na intenziteto tvorbe klorofila pri tretjem dognojevanju navadne pšenice.

Iz grafikonov 4, 5 in 6 je razvidno, da ima substitucija standardnega dušikovega gnojila KAN 27% z nano strukturiranim gnojilom nano-urea pozitiven vpliv tudi na morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice kot so končna višina rastline, skupno število zrn na posamezno

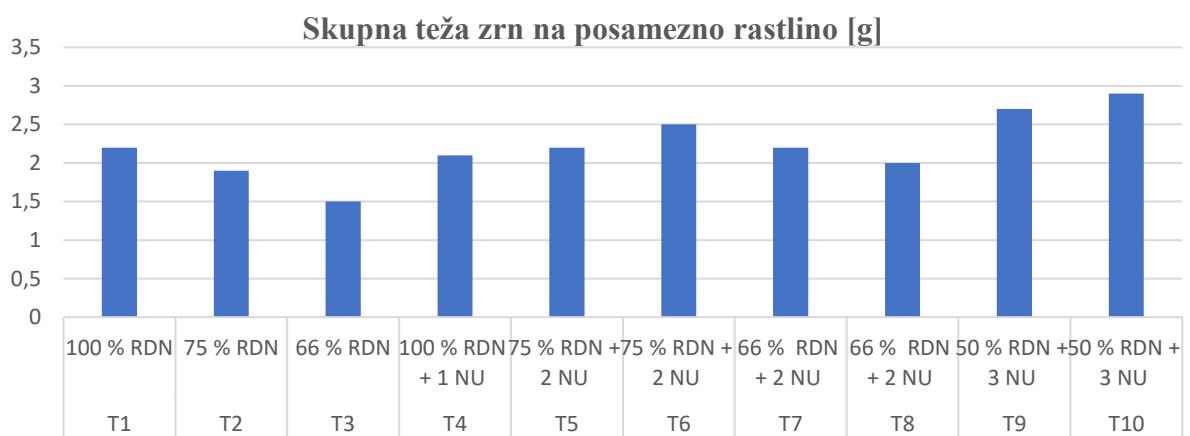
rastlino in skupna teža zrn na posamezno rastlino. Glede končne višine rastlin, je polovična zamenjava KAN-a z nano urea-o rezultirala z rastlinami navadne pšenice, višimi v povprečju za več kot 4 cm. Vsakokratno dodajanje nano-urea k polovičnemu odmerku standardnega dušikovega gnojila je imelo pozitiven vpliv tudi na skupno število zrn na posamezno rastlino in skupno težo zrn na posamezno rastlino. V primerjavi s prvim obravnavanjem, je deseto obravnavanje (trikratni dodatek dušikovega nano gnojila) v rezultatih prikazalo kar 8,5 % povišanje števila zrn na posamezno rastlino in več kot 20 % povišanju skupne teže zrn na posamezno rastlino. Na osnovi doseženih rezultatov lahko trdimo, da ima substitucija gnojila KAN z nano gnojilom nano urea pozitiven vpliv na intenziteto fotosinteze kakor tudi morfo-agronomske lastnosti, ki vplivajo na višino pridelka navadne pšenice na enoto površine.



Graf 4: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na končno višino rastlin navadne pšenice.



Graf 5: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na skupno število zrn za posamezno rastlino navadne pšenice.



Graf 6: Vpliv odmerka standardnega dušikovega gnojila KAN 27 % in nano urea-e na skupno težo zrn za posamezno rastlino navadne pšenice.

5 LOKACIJA POSKUSA



Slika 7: Lokacija rastlinjakov.
(Logarovci 63, Križevci pri Ljutomeru, 46°32'20"N 16°06'40"E)
Vir: <https://earth.google.com>

6 SKLEPI

Z opravljenim raziskovalnim delom smo preverili vpliv zamenjave standardnega dušikovega gnojila KAN 27% z inovativnim nanostrukturiranim gnojilom nano urea na fotosintezo in morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice.

Z opravljenim raziskovalnim delom smo potrdili ali ovrgli naslednje delovne hipoteze:

Hipoteza 1: Uporaba nano urea-e ugodno vpliva na intenziteto fotosinteze. – HIPOTEZA JE POTRJENA.

Hipoteza 2: Uporaba nano urea-e ugodno vpliva na morfo-agronomske lastnosti navadne pšenice. – HIPOTEZA JE POTRJENA.

Hipoteza 3: Z uporabo nano urea-e lahko znižamo uporabo standardnih dušikovih mineralnih gnojil kot je kalcij amonijev nitrat KAN 27%. – HIPOTEZA JE POTRJENA.

V raziskovalnem delu smo se osredotočili na problematiko, povezano z uporabo mineralnih dušikovih gnojil v pridelavi navadne pšenice. Pred nekaj leti je bila ta problematika osredotočena zgolj na okoljski vidik, kot je onesnaževanje površinskih voda, podtalnice, zraka in negativnega vpliva na biotsko raznovrstnost. Zadnja dogajanja v regiji in na globalni ravni pa so izpostavila tudi popolno odvisnost slovenskega kmetijstva od uvoza mineralnih dušikovih gnojil ter dejstvo, da se lahko cenovna politika mineralnih gnojil spremeni dejansko čez noč. Velika večina slovenskih polj je vsako leto posejana s pšenico. V preteklosti (pred približno tridesetimi leti) je bil ta delež še večji, vendar je zaradi uvedbe obveznega kolobarja ta delež danes nekoliko nižji. Ob upoštevanju vsega navedenega je uvedba novih inovativnih tehnologij, kot je na primer uporaba nanostrukturiranih gnojil (npr. nano urea), predstavlja pomemben korak k izboljšanju konkurenčni in trajnostni pridelave navadne pšenice. Z našim raziskovalnim delom lahko potrdimo smiselnost zamenjave standardnega dušikovega gnojila KAN 27% z dušikovim nanostrukturiranim gnojilom nano urea.

7 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Proizvodnja sintetičnega dušika, ki se v kmetijstvu uporablja kot gnojilo, predstavlja za okolje obremenitev. Posledice prekomerne uporabe dušikovih mineralnih gnojil so izpiranje nitratov in nitritov v površinske vode in podtalnico kar ima neposreden negativen vpliv na človekovo zdravje. Kljub uvajanju digitalizacije v kmetijstvo in razvoju novih visoko produktivnih sort navadne pšenice poteka uporaba dušikovih mineralnih gnojil v kmetijski praksi pogosto brez ustreznih strokovnih podlag.

Proizvodnja mineralnih dušikovih gnojil je povezana tudi z velikanskimi emisijami ogljikovega dioksida in toplogrednimi plini, predvsem zaradi velike porabe zemeljskega plina, ki se uporablja za Haber-Boschev proces visokotlačne sinteze amonijaka. Lahko rečemo, da je proizvodnja dušikovih mineralnih gnojil zelo odvisna od fosilnih energentov kar potegne za sabo visoko volatilnost (nihanje cen) na trgu z dušikovimi mineralnimi gnojili. Cene mineralnih dušikovih gnojil so v današnjih geo-političnih razmerah zelo nepredvidljive, kar zahteva uvedbo alternativnih rešitev za oskrbo rastlin z dušikom v splošno kmetijsko prakso. Introdukcija nano-strukturiranih dušikovih gnojil kot je nano urea v pridelavo navadne pšenice predstavlja zelo zanimivo področje tako na raziskovalni kakor tudi na komercialni in naravovarstveni ravni.

8 FINANČNA ANALIZA

Glede na podatke iz lanskega leta (2023) smo lahko izračunali, koliko je sploh profita pri uporabi Nano urea-je. V letu 2023 se je odkupna cena in povprečen pridelek pšenice zmanjšal (uvoz pšenice iz Ukrajine, poplave). Odkupna cena je v letu 2023 znašala 165 €/t. V letu 2023 se je povprečni pridelek pšenice zmanjšal za približno 8% in je bil v povprečju samo 5,1 t/ha. Če upoštevamo izsledke naše raziskave, se masa pridelka z uporabo Nano ure-je poveča za 20%, na podlagi česar lahko izračunamo kolikšen bi bil povprečen pridelek v letu 2023 pri 50% zamenjavi gnojila KAN 27% z Nano urea-jo. Ta količina bi v povprečju znašala 6,1 t/ha in bi glede na odkupno ceno imeli 165 € profita. Tu je še potrebno izpostaviti, da natančne cene profita ni mogoče določiti, saj ni mogoče izračunati razlike v ceni uporabe različnih gnojil, ker Nano urea še ni prisotna na evropskem trgu. Lansko leto je tudi bilo zelo slabo za kmetijstvo zaradi poplav in bi v boljših sezонаh imeli več pridelka ter večjo odkupno ceno in posledično tudi večji profit.

9 LITERATURA

Bavec, F. (2003). Maribor. Od njive do mejice in kruha, Univerzitetni učbenik, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede.

Bavec, F., Bavec, M. (2014). Review of analysis for nitrogen supply in maize and winter wheat – case of developing countries i.e. Slovenian experiences. Nova Science Publishers. 141–153.

Bulović, V.; Mandell, A.; Perlman, A. 2007. Molecular Memory Device. US7157750B2

Facts about Nitrogen Pollution: <https://www.unep.org/facts-about-nitrogen-pollution> (15.2.2024).

Om Prakash R.; Kinjal, M.; Mehak, S.; Mohini Prabha, S.; Jasneet, S.; Archana, K.; Bhallan Singh, S., Nitrogen Use Efficiency in Wheat: Genome to Field. IntechOpen eBooks. 2022, 11, Book Chapter.

Shang, Y.; Hasan, Md. K.; Ahammed, G. J.; Li, M.; Yin, H.; Zhou, J. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: a review. *Molecules*. 2019, 24, 2558.

Subramanian, K. S.; Manikandan, A.; Thirunavukkarasu, M.; Rahale, C.S. Nanofertilizers for balanced crop nutrition. *Nanotechnol. Food Agric.* 2015, 69–80.

SUŠIN, J.. Dognojevanje pšenice na podlagi hitrega rastlinskega nitratnega testa. *Kmečki glas*. 25. maj 2005, letn. 62, št. 21, str. 8-9. ISSN 0350-4093. [COBISS.SI-ID 1942888]

SUŠIN, J.. Dognojevanje pšenice : določanje odmerka dušika s hitrim nitratnim rastlinskim testom. *Kmetovalec : strokovna kmetijska revija*. mar. 2006, letn. 74, št. 3, str. 6-7. ISSN 1318-4245. [COBISS.SI-ID 2136680]

Torney, F.; Trewyn, B.G.; Lin, V. S.-Y.; Wang, K. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nat. Nanotechnol.* 2007, 2, 295-300.

Trends and Drivers of Agri-environmental Performance in OECD Countries, 2024.
Xu, R.; Tian, H.; Pan, S.; A. Prior, S.; Feng, Y.; D. Batchelor, W.; Chen, J.; Yang, J. Global ammonia emissions from synthetic nitrogen fertilizer applications in agricultural systems: Empirical and process- based estimates and uncertainty. Global change biology. 2019, 25(1), 314-326.

Wikipedia. Pšenica (elektronski vir): <https://sl.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1enica> (9.2.2024).

ResearchGate (elektronski vir):

[https://www.researchgate.net/publication/371138618 Nanostructured Urea Fertilizer Nano Urea A Promising Approach to Sustainable Agriculture](https://www.researchgate.net/publication/371138618_Nanostructured_Urea_Fertilizer_Nano_Urea_A_Promising_Approach_to_Sustainable_Agriculture) (17.2.2024).

Napotki za izdelavo raziskovalne naloge (elektronski vir):
<https://www2.arnes.si/~ljzotks2/gzm/dokumenti/napotki.html> (2.12.2023).