

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Ivić, mag. educ. chem.

**ANALIZA USVAJANJA I UČINKOVITOSTI PRIMJENE DUŠIKA
(NUE) U OVISNOSTI O RAZINI DUŠIKA, AGROEKOLOŠKIM
UVJETIMA I GENOTIPU PŠENICE**

DOKTORSKI RAD

"Sveučilište u Osijeku, Fakultet
agrobiotehničkih znanosti
Osijek"

PRIMLJENO: 15.01.2026

KLASA: 643-03/26-01/02

URBROJ: 2158-94-02-26-01



Osijek, 2026.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Ivić, mag. educ. chem.

**ANALIZA USVAJANJA I UČINKOVITOSTI PRIMJENE DUŠIKA
(NUE) U OVISNOSTI O RAZINI DUŠIKA, AGROEKOLOŠKIM
UVJETIMA I GENOTIPU PŠENICE**

- Doktorski rad -

Osijek, 2026.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Ivić, mag.educ.chem.

**ANALIZA USVAJANJA I UČINKOVITOSTI PRIMJENE DUŠIKA
(NUE) U OVISNOSTI O RAZINI DUŠIKA, AGROEKOLOŠKIM
UVJETIMA I GENOTIPU PŠENICE**

- Doktorski rad -

Mentor: prof. dr. sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Povjerenstvo za ocjenu:

- 1. dr. sc. Zdenko Lončarić, redoviti profesor Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, predsjednik**
- 2. dr. sc. Andrijana Rebekić, redovita profesorica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, član**
- 3. dr. sc. Boris Lazarević, izvanredni profesor Agronomskog fakulteta u Zagrebu, član**

Osijek, 2026.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Ivić, mag.educ.chem.

**ANALIZA USVAJANJA I UČINKOVITOSTI PRIMJENE DUŠIKA
(NUE) U OVISNOSTI O RAZINI DUŠIKA, AGROEKOLOŠKIM
UVJETIMA I GENOTIPU PŠENICE**

- Doktorski rad -

Mentor: prof. dr. sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Javna obrana doktorske disertacije održana je _____ godine pred
Povjerenstvom za obranu:

1. dr. sc. Zdenko Lončarić, redoviti profesor Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, predsjednik
2. dr. sc. Andrijana Rebekić, redovita profesorica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, član
3. dr. sc. Boris Lazarević, izvanredni profesor Agronomskog fakulteta u Zagrebu, član

Osijek, 2026.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Doktorski rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Doktorski studij: Poljoprivredne znanosti

Smjer: Agrokemija

UDK:

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Poljoprivreda

Analiza usvajanja i učinkovitosti primjene dušika (NUE) u ovisnosti o razini dušika, agroekološkim uvjetima i genotipu pšenice

Marko Ivić, mag.educ.chem.

Doktorski rad je izrađen na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: prof. dr. sc. Brigita Popović, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Korištenje dušičnih mineralnih gnojiva omogućilo je povećanje prinosa kod ratarskih kultura, no većina dušičnih gnojiva se gubi iz tla što predstavlja značaja ekološki i ekonomski problem. Zbog toga se razvijaju strategije kako poboljšati učinkovitost korištenja mineralnih gnojiva naročito dušika. Glavni ciljevi ovoga istraživanja bili su utvrditi kako primjena dušičnih gnojiva utječe na agronomska svojstva različitih kultivara pšenice i na učinkovitost korištenja dušika te odrediti kultivare s najvećim NUE, odrediti komponente varijance i heritabilnosti za prinos i NUE pri visokoj i niskoj razini opskrbljenosti dušikom, identificirati odnos između NUE i njegovih komponenti te na kraju utvrditi korelaciju između selekcijskih indeksa stresa i prinosa te sadržaja proteina u uvjetima visoke i niske opskrbljenosti dušikom te odrediti najtolerantnije kultivare pšenice obzirom na navedena svojstva. U ovom istraživanju korišteno je 48 kultivara ozime pšenice različitih zemalja podrijetla i godina priznavanja. Poljski pokus je postavljen kroz dvije vegetacijske sezone na tri lokacije pri dvije razine gnojidbe dušikom. Rezultati su pokazali da gnojidba značajno utječe na povećanje prinosa, sadržaja proteina u zrnu te sadržaja dušika dostupnog pšenici, dok na učinkovitost korištenja i iskorištenja dušika gnojidba nije imala pozitivan utjecaj. U istraživanju je također utvrđeno da genotipovi i okolina te njihove interakcije imaju različite utjecaje na agronomska svojstva te da se kombinacijom različitih indeksa za stres mogu identificirati genotipovi otporni na reduciranu količinu dušika.

Broj stranica: 118

Broj slika: 6

Broj tablica: 17

Broj literaturnih navoda: 111

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: ozima pšenica, učinkovitost korištenja dušika, indeksi stresa

Datum obrane:

Povjerenstvo za obranu:

- 1. dr. sc. Zdenko Lončarić, redoviti profesor Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, predsjednik**
- 2. dr. sc. Andrijana Rebekić, redovita profesorica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, član**
- 3. dr. sc. Boris Lazarević, izvanredni profesor Agronomskog fakulteta u Zagrebu, član**

Doktorski rad pohranjen je u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici i na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek

PhD thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Postgraduate university study: Agricultural sciences

Course: Agrochemistry

UDK:

Scientific Area: Biotechnical Sciences

Scientific Field: Agriculture

Analysis of nitrogen uptake and nitrogen use efficiency depending on nitrogen level, agroecological conditions and wheat genotype

Marko Ivić, mag.educ.chem

Thesis performed at University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Supervisor: Prof. dr. sc. Brigita Popović, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

The use of nitrogen mineral fertilizers has enabled increased yields in field crops, but most nitrogen fertilizers are lost from the soil, which represents a significant ecological and economic problem. Therefore, strategies are being developed to improve the efficiency of mineral fertilizer use, especially nitrogen. The main objectives of this research were to determine how the application of nitrogen fertilizers affects the agronomic properties of different wheat cultivars and nitrogen use efficiency, to identify cultivars with the highest NUE, to determine variance components and heritability for yield and NUE under high and low nitrogen supply levels, to identify the relationship between NUE and its components, and finally to determine the correlation between stress selection indices and yield and protein content under conditions of high and low nitrogen supply, and to identify the most tolerant wheat cultivars with regard to these properties. In this research, 48 winter wheat cultivars from different countries of origin and years of recognition were used. The field experiment was set up over two growing seasons at three locations under two levels of nitrogen fertilization. The results showed that fertilization significantly affects the increase in yield, grain protein content, and nitrogen content available to wheat, while fertilization did not have a positive effect on nitrogen use and utilization efficiency. The research also found that genotypes and environment, as well as their interactions, have different effects on agronomic properties, and that by combining different stress indices, genotypes resistant to reduced nitrogen amounts can be identified.

Number of pages: 118

Number of figures: 6

Number of tables: 17

Number of references: 111

Original in: croatian

Key words: winter wheat, nitrogen use efficiency, stress indices

Date of the thesis defense:

Reviewers:

- 1. dr. sc. Zdenko Lončarić, Full Profesor, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, president**
- 2. dr. sc. Andrijana Rebekić, Full Profesor, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, member**
- 3. dr. sc. Boris Lazarević, Associate Professor, Faculty of Agriculture Zagreb, member**

Thesis deposited in:

The National and University Library, the City and University Library, and the Josip Juraj Strossmayer University in Osijek.

KAZALO

1. UVOD	2
1.1. Pregled literature.....	5
1.1.1. Oblici dušika dostupni biljkama (NO_3^- i NH_4^+)	5
1.1.2. Mehanizmi usvajanja i metabolizma dušika	7
1.1.3. Utjecaj dušika na morfologiju i fiziologiju pšenice	8
1.1.4. Definicija i komponente učinkovitosti korištenja dušika (NUE)	10
1.1.5. Učinkovitost usvajanja dušika (NUpE)	10
1.1.6. Učinkovitost iskorištenja dušika (NUE)	12
1.1.7. Međusobna ovisnost i značaj NUpE i NUE u različitim agroekološkim uvjetima 13	
1.1.8. Genetska varijabilnost i nasljednost svojstava povezanih s NUE	14
1.1.9. $G \times E$ interakcije i selekcijska strategija za poboljšanje učinkovitosti primjene dušika (NUE).....	16
1.1.10. Seleksijski indeksi za evaluaciju genotipova pod stresom niske opskrbljenosti dušikom.....	17
1.1.11. Fiziološki i morfološki indikatori adaptacije pšenice na smanjenu opskrbu dušikom 19	
1.1.12. Uloga genetske selekcije u razvoju kultivara tolerantnih na stres dušičnog deficita u kontekstu klimatskih promjena	21
1.1.13. Povijesni napredak u selekciji za NUE.....	22
1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja	25
2. MATERIJALI I METODE RADA	26
2.1. Poljski pokusi.....	26
2.2. Analiza biljnog materijala.....	27
2.2.1. Uzorkovanje biljnog materijala za određivanje sadržaja dušika	28
2.2.2. Razaranje biljnog materijala.....	28
2.2.3. Određivanje sadržaja dušika	29
2.3. Analiza agronomskih svojstava	30
2.4. Statistička obrada podataka.....	31
2.5. Izračun selekcijskih indeksa u stresnim uvjetima	33
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	35
3.1. Vremenske prilike na ispitivanim lokacijama	35
3.2. Svojstva tla i sadržaj dušika na ispitivanim lokacijama	38
3.3. Utjecaj genotipa na agronomska svojstva pri LN i HN	38

3.4.	Utjecaj lokacije na agronomska svojstva pri LN i HN	42
3.5.	Utjecaj gnojidbe na agronomska svojstva	43
3.6.	Analiza linearnih korelacija između agronomskih svojstava	44
3.7.	Doprinos izvora variranja na agronomska svojstva	50
3.8.	Heritabilnost svojstava i genetska korelacija	50
3.9.	Utjecaj godine priznavanja sorte na agronomska svojstva	52
3.10.	Analiza varijance za prinos i indeksa	53
3.11.	Analiza varijance za sadržaj proteina i indeksa	53
3.12.	BLUP vrijednosti za prinos i selekcijske indekse	54
3.13.	BLUP vrijednosti za protein u zrnu i selekcijske indekse	55
3.14.	Korelacijska analiza za prinos i devet indeksa	56
3.15.	Korelacijska analiza za sadržaj proteina i devet indeksa	57
3.16.	Identifikacija genotipova ozime pšenice tolerantnih na stres	58
3.17.	Analiza glavnih komponenti za devet indeksa, prinos zrna i sadržaj proteina pod HN i LN tretmanima	60
4.	RASPRAVA	62
4.1.	NUE i povezanost reakcije s genotipom i ostalim svojstvima	62
4.2.	Važnost utjecaja genetskih komponenti u analizi NUE	63
4.3.	Selekcija genotipova osime pšenice tolerantnih na nisku razinu dušika pomoću indeksa za procjenu stresa	67
4.4.	Nedostaci korištenja indeksa za selekciju otpornosti na stres	69
4.5.	Izazovi i budući pravci istraživanja	70
5.	ZAKLJUČCI	72
6.	LITERATURA	73
7.	SAŽETAK	85
8.	SUMMARY	86
9.	PRILOZI	87
10.	ŽIVOTOPIS	120

1. UVOD

Pšenica (*Triticum aestivum* L.) je uz kukuruz i rižu jedna od najvažnijih ratarskih kultura kako u svijetu tako i u Republici Hrvatskoj. Najveći svjetski proizvođači pšenice su Europska Unija, Kina, Indija, Rusija i SAD. Godišnja svjetska proizvodnja pšenice u 2020 godini iznosila je 761 milijuna tona na 219 milijuna hektara (FAOSTAT 2022.). Procjenjuje se da će do 2025. godine potražnja za pšenicom iznositi 840 milijuna tona (Murchie i sur., 2008.) što je posljedica povećavanja broja svjetskog stanovništva i razvoja stočarstva. Zadovoljavajući potrebu za povećanom potražnjom i proizvodnjom pšenice stvara se veći pritisak na osnovne resurse kao što su voda, tlo i zrak. S obzirom da procijenjeno globalno povećanje potražnje od 1,7% godišnje (Rosengrant i Agcaoili, 2010.) ne prati prosječno godišnje povećanje proizvodnje pšenice od 1,1% (Dixon i sur., 2009.), potrebno je pronaći nove strategije i rješenja koja bi smanjila utjecaj negativnih faktora na proizvodnju pšenice kao što su klimatske promjene, ograničena količina prirodnih resursa te biotički i abiotički stres. Naime, poznato je da na količinu i kvalitetu proizvedene pšenice utječe veliki broj faktora, a jedan od ključnih je količina i dostupnost dušika u tlu.

Dušik je najvažniji element u ishrani bilja, a maseni udio u suhoj tvari kod biljaka iznosi 2-5% (Vukadinović i Lončarić, 1999.). Jedan je od glavnih gradivnih elemenata proteina, nukleinskih kiselina, klorofila i drugih metabolita. Iako 78% atmosfere čini elementarni dušik u plinovitom obliku, kao takvoga ga većina biljaka ne može usvojiti. Biljke prvenstveno usvajaju dušik u obliku nitrata (NO_3^-) i amonijevih (NH_4^+) iona (Crawford i Forde, 2002.). Put tih iona u biljku i kroz nju uključuje aktivan proces usvajanja, redukcije nitrata, asimilaciju, translokaciju te remobilizaciju (Masclaux-Daubresse i sur. 2008.). Uvjeti niske razine dušika u tlu utječu na rast, razvoj i produktivnost ozime pšenice. Direktne promjene vide se u ekspresiji gena, metabolizmu, brzini rasta i samom prinosu pšenice. Istraživanja pokazuju kako biljke pokazuju određene biokemijske i fiziološke reakcije kao odgovor na ograničenu dostupnost dušika kao hranjiva. Te promjene uključuju povećano usvajanje dušika preko transportera koji imaju veliki afinitet za dušikove ione, remobilizaciju dušika iz starijih listova u mlađe listove i plodove te nakupljanje antocijanina u plodovima (Ono i sur., 1996.; Chalker-Scott, 1999.; Ding i sur., 2005.; Diaz i sur., 2006.). Manjak dušika kod ozime pšenice se manifestira u smanjenju prinosa i kvalitete zrna (niži sadržaj proteina), a simptomi manjka dušika su kloroza listova, niža visina i tanja stabljika te slabije busanje.

Za razliku od prirodnih ekosustava gdje sadržaj dušika u tlu odgovara potrebama flore, agrološki ekosustavi naročito u proizvodnji pšenice zahtijevaju upotrebu mineralnih gnojiva kako bi se postigli optimalni prinosi. Jedan od ekoloških benefita racionalne upotrebe gnojiva s ciljem povećanja prinosa po jedinici površine je sprječavanje pretvaranja pojedinih ekosustava (livade i šume) u obradive površine. Prema podacima iz 2017. godišnje se u svijetu u tlo unosi između 107,7 milijuna tona dušičnih gnojiva (FAOSTAT 2022.), te se u narednim godinama procjenjuje da će taj broj rasti do 240 milijuna tona (Good i sur., 2004.). Od ukupne količine dodanog dušika u obliku dušičnog gnojiva biljka usvoji 30-50% (Peoples i sur., 1995.), dok ostatak dušika ostaje u tlu ili se u nepovoljnim uvjetima može premjestiti erozijom, izgubiti iz tla u obliku plinova (amonijak, dušik ili dušikovi oksidi) i iona (ispiranje nitrata). Osim što negativno utječe na okoliš, prekomjerno korištenje dušičnih gnojiva negativno utječe i na ekonomsku isplativost proizvodnje pšenice (Mortimer i sur., 2004.).

Kako bi se pronašao maksimalan omjer dobivenog prinosa i količine dušika u tlu Moll i suradnici su 1982. godine definirali pojam učinkovitost korištenja dušika (NUE) kao prinos zrna po jedinici dostupnog dušika (ukupna količina dušika prisutna u tlu i dodanom dušičnom gnojivu). Dvije komponente NUE su učinkovitost usvajanja dušika (NUpE) i učinkovitost iskorištenja usvojenog dušika (NUE) (Moll i sur., 1982.), gdje se NUpE računa kao ukupna količina dušika u nadzemnom dijelu biljke u žetvi/berbi podijeljena s raspoloživim dušikom u tlu, a NUE kao suha masa zrna podijeljena s ukupnom količinom dušika u nadzemnom dijelu biljke u žetvi. Stoga se učinkovitost korištenja dušika kod pšenice može povećati poboljšanjem usvajanja i/ili iskorištenja dušičnih gnojiva.

Neki od načina kojima se može smanjiti upotreba dušičnih gnojiva su: selekcija genotipova, istraživanje svojstava korijena, precizna visoko-propusna fenotipizacija, standardizirani poljski pokusi, nove tehnike za učinkovitiju primjenu gnojiva, dobra praksa ophođenja prema parcelama te identifikacija fizioloških, metaboličkih i genetičkih procesa vezanih za dušik (Sandhu i sur., 2021.).

Zadatak koji se stavlja pred oplemenjivače je proizvodnja novih visokoprinosnih kultivara pšenice (s većim vrijednostima NUE) u uvjetima manjka dušika to jest u uvjetima dušičnog stresa. Povećanje produktivnosti kroz korištenje novih sorti s poboljšanim genetskim potencijalom za prinos dovelo je do toga da je prinos pšenice utrostručen u zadnjih 50 godina (Pingali, 2012.).

Postojanje i dostupnost genetičke varijabilnosti za NUE kod pšenice je ono što omogućuje oplemenjivanje i selekciju novih sorti s boljom korištenjem dušika. Heritabilnost unutar svakog sustava proizvodnje i jačina interakcije između genotipa i sustava proizvodnje su ključni čimbenici za usporedbu strategija oplemenjivanja, tj. direktne ili indirektno selekcije unutar konvencionalnih (sustava visokih ulaganja) i organskih (sustava niskih ulaganja) gospodarstava (Annicchiarico i sur., 2010.). Procjene heritabilnosti na razinama visokih i niskih ulaganja zajedno s genetičkim korelacijama između razina ulaganja, korištene su za usporedbu relativne učinkovitosti direktne nasuprot indirektnoj selekciji kako bi se dale preporuke za program selekcije čiji je cilj stvaranje kultivara za poljoprivredu niskih ulaganja ili organsku poljoprivredu (Brancourt-Hulmel i sur., 2005.; Przystalcki i sur., 2008.; Annicchiarico i sur. 2010.; Cormier i sur., 2013.; Šarčević i sur., 2014.).

Selekcija novih kultivara s očekivanom većom učinkovitošću korištenja dušika u uvjetima dušičnog stresa može se provoditi direktno putem stvaranja stresnih uvjeta (bez dodatne primjene dušičnih gnojiva) ili indirektno u optimalnim uvjetima proizvodnje. Direktna selekcija u stresnoj okolini ima prednost u slučaju unakrsnih interakcija genotipa i sustava proizvodnje (Ceccarelli, 1996.; Annicchiarico i sur., 2010.; Cormier i sur., 2016.). S druge strane, izostanak ove interakcije omogućuje provođenje selekcije kultivara za obje ciljane okoline (optimalnu i stresnu) samo u optimalnim uvjetima, budući da je u takvim uvjetima heritabilnost za prinos kao i očekivana uspješnost selekcije općenito viša nego u uvjetima dušičnog stresa (Šarčević i sur. 2014.; Cormier i sur., 2016.; Guttieri i sur. 2017.).

1.1. Pregled literature

Dušik (N) je ključni makroelement potreban za optimalan rast, razvoj i produktivnost pšenice (*Triticum aestivum* L.) jer sudjeluje u sintezi aminokiselina, proteina, klorofila, nukleinskih kiselina i koenzima, a njegovo prisustvo određuje razinu fotosintetske aktivnosti, translokaciju asimilata i ukupni agrofiziološki potencijal biljke. U nastavku se razmatraju glavni aspekti biološke osnove primjene dušika u pšenici, uključujući oblike dostupne biljkama, mehanizme usvajanja i metabolizma, te utjecaj na morfološke i fiziološke karakteristike biljke.

1.1.1. Oblici dušika dostupni biljkama (NO_3^- i NH_4^+)

Najvažniji i najčešće prisutni oblici dušika koji su dostupni biljkama u tlu su nitratni (NO_3^-) i amonijevi (NH_4^+) ioni. Razlike u njihovim fizikalno-kemijskim svojstvima, načinu usvajanja, metabolizmu i utjecaju na biljke čine njihovo razumijevanje ključnim za optimizaciju dušične ishrane u poljoprivredi.

Nitratni ion (NO_3^-) je dominantni oblik dušika u aeriranim i dobro dreniranim tlima, osobito u umjerenim klimatskim uvjetima. Nastaje oksidacijom amonijaka putem nitrifikacije, procesa koji provode autotrofne bakterije roda *Nitrosomonas* (amonijev ion u nitritni) i *Nitrobacter* (nitritni ion u nitratni). Zbog svoje visoke topljivosti i mobilnosti, NO_3^- se lako kreće kroz profil tla, čime postaje pristupačan korijenu biljke, ali i podložan ispiranju (leaching) i gubicima iz tla. Biljke usvajaju nitrate putem specijaliziranih transportera u korijenu: nisko-afinitetni (LATS – Low Affinity Transport System) i visoko-afinitetni sustavi (HATS – High Affinity Transport System), ovisno o koncentraciji nitrata u zoni korijena. Transport je često vezan uz protonski (H^+) sustav, gdje dolazi do kros-membranskog prijenosa nitrata u zamjenu za protone (Crawford i Forde, 2002). Jednom usvojen, nitrat se reducira u nitrit (NO_2^-) pomoću enzima nitrata reduktaza (NR) u citoplazmi, a zatim se nitrit reducira u amonij u plastidima pomoću nitrit reduktaze (NiR). Dobiveni NH_4^+ potom ulazi u ciklus sinteze aminokiselina putem GS/GOGAT sustava. Zbog svoje pokretljivosti i neakumulativnosti u biljci, nitratni oblik se često povezuje s višom biomasom i vegetativnim rastom, ali slabijim sadržajem proteina u zrnu ako gnojidba nije pravodobno izvedena (Barraclough i sur., 2010; Gaju i sur., 2011).

Amonijev ion (NH_4^+) je preferirani oblik u tlima slabije aeracije, pri nižim pH vrijednostima, kao i u anaerobnim uvjetima. Za razliku od nitrata, NH_4^+ je manje mobilan jer se adsorbira na

negativno nabijene čestice tla (koloide), pa je njegov rizik od ispiranja manji, ali može izazvati fitotoksičnost ako se akumulira u višim koncentracijama u rizosferi (Lea i Azevedo, 2007). Usvajanje amonijevog iona se provodi putem AMT (Ammonium Transporter) proteina, od kojih su neki visoko afinitetni. Usvojeni amonijevi ioni ne zahtijevaju redukciju kao nitrat, već se odmah uključuju u aminokiselinske sinteze kroz glutamin sintazu (GS) i glutamat sintazu (GOGAT). Ovaj oblik može ubrzati rast ako je prisutan u niskim koncentracijama, ali ako dominira u ishrani, može inhibirati rast korijena i izazvati promjene u pH rizosfere (Masclaux-Daubresse i sur., 2008). Amonijeva gnojiva (npr. amonijev sulfat, amonijev nitrat) imaju veći utjecaj na zakiseljavanje tla, što može pogodovati uzgoju biljaka u neutralnim i lužnatim tlima, ali zahtijevaju pažljivo upravljanje zbog potencijalne toksičnosti i volatilizacije u obliku amonijaka (NH_3) u sušnim uvjetima.

U agronomskoj praksi često se, putem gnojidbe, koristi kombinirana primjena nitratnog i amonijskog oblika dušika, kako bi se iskoristile prednosti oba oblika: mobilnost i brza dostupnost nitrata, uz stabilnost i manji gubitak amonija. Brojna istraživanja ukazuju da biljke bolje reagiraju na kombinirani izvor dušika, jer se povećava aktivnost enzima povezanih s metabolizmom dušika i poboljšava sinergija u ishrani (Raun i Johnson, 1999). Istraživanja na pšenici pokazuju da genotipovi različito reagiraju na dominantan oblik dušika: neki preferiraju nitratni ion, dok drugi bolje iskorištavaju amonijev ion, što ukazuje na genetski uvjetovanu plastičnost u ishrani dušikom (Le Gouis i sur., 2000).

Odabir oblika dušičnog gnojiva i vremena primjene presudan je za učinkovito upravljanje ishranjenosti biljke dušikom. Pravilno balansiranje NO_3^- i NH_4^+ iona može:

- povećati prinos i sadržaj proteina,
- poboljšati efikasnost korištenja dušika (NUE),
- smanjiti gubitke volatilizacijom i ispiranjem,
- smanjiti emisiju stakleničkih plinova i eutrofikaciju voda.

Razumijevanje razlika između nitratnog i amonijskog oblika dušika presudno je za optimizaciju mineralne gnojidbe i poboljšanje učinkovitosti korištenja dušika u pšenici. Svaki oblik ima specifične prednosti i ograničenja, a njihov pravilan odabir i primjena mora biti prilagođena svojstvima tla, klimatskim uvjetima i genetskim karakteristikama kultivara.

1.1.2. Mehanizmi usvajanja i metabolizma dušika

Usvajanje i unutarnji metabolizam dušika u pšenici podrazumijeva niz koordiniranih fizioloških i biokemijskih procesa kojima biljka regulira raspodjelu dušika između organskih i anorganskih oblika, ovisno o svojoj razvojnoj fazi, okolišnim uvjetima i dostupnosti nutrijenata u tlu. Premda su oblici dušika koji su biljci dostupni prvenstveno u obliku nitrata (NO_3^-) i amonijevog iona (NH_4^+), njihov ulazak u stanicu i uključivanje u metabolizam ne predstavlja pasivan proces, već je posljedica kompleksnih interakcija između specifičnih transportnih sustava, enzimskih lanaca i signalnih mehanizama.

Nakon usvajanja, anorganski dušik ulazi u prvu razinu metabolizma poznatu kao asimilacijski metabolizam. Unutar stanice pšenice, nitrati preuzimaju specifični proteinski kompleksi koji posreduju njihovu redukciju – najprije u nitritni, a zatim u amonijski oblik. Ovaj redukcijski slijed odvija se uz sudjelovanje dvaju ključnih enzima: nitrata reduktaze (NR) i nitrita reduktaze (NiR). Nitrata reduktaza katalizira pretvorbu NO_3^- u NO_2^- u citoplazmi i pritom koristi NADH ili NADPH kao izvor elektrona, dok nitrit reduktaza, smještena u plastidima, reducira NO_2^- u NH_4^+ putem transfera elektrona s feredoksina. Aktivnost NR je inducibilna te izravno ovisi o koncentraciji nitrata u tlu i dostupnosti ugljikohidrata, čime biljka signalizira kada ima energetske sposobnosti za intenzivnu sintezu dušičnih spojeva (Wang i sur., 2014).

Nakon što se u biljci pojave amonijevi ioni, neovisno jesu li izravno usvojeni iz tla ili generirani putem redukcije nitrata, ulaze u ciklus primarne asimilacije. Središnji enzimatski sustav za uključivanje NH_4^+ u organski metabolizam čini GS/GOGAT ciklus. Ovaj sustav uključuje enzim glutamin sintazu (GS) koji katalizira kondenzaciju amonijevog iona s glutamatom u glutamin, te glutamat sintazu (GOGAT) koja reducira glutamin i α -ketoglutarat u dva molekula glutamata, osiguravajući time pristup osnovnim dušičnim gradivnim jedinicama za daljnju biosintezu aminokiselina, proteina i drugih dušičnih spojeva. Istraživanja su pokazala da ekspresija gena za GS, posebice citosolne izoforme GS1, korelira s visokom efikasnošću remobilizacije dušika tijekom kasnijih razvojnih faza pšenice, što je ključno za finalni sadržaj proteina u znu (Habash i sur., 2007; Masclaux-Daubresse i sur., 2010).

Nadalje, unutarnja dinamika dušika uključuje ne samo asimilaciju, već i njegov transport i redistribuciju tijekom vegetacijskog ciklusa. Dušik koji nije odmah iskorišten u rastuće organe akumulira se u starijem lišću u obliku transportnih i skladišnih proteina. U fenofazama od

cvatnje nadalje, ti se proteini razgrađuju i dušik se remobilizira u razvijajuće reproduktivne organe. Ova remobilizacija regulirana je enzimima proteolize i djelovanjem GS1 u senescentnim tkivima, a genotipske razlike u aktivnosti tih enzima objašnjavaju razlike u sadržaju proteina između različitih kultivara pšenice (Martre i sur., 2006).

Na molekularnoj razini, sve faze metabolizma dušika, od usvajanja do remobilizacije, podložne su složenoj mreži regulacije koja uključuje transkripcijske faktore, mikroRNA i signale povezane s ravnotežom ugljika i dušika. Transkripcijski faktori iz skupine NIN-like proteins (NLPs) ključni su za aktivaciju gena uključenih u transport nitrata i redukciju, a njihova funkcionalnost ovisi o signalima iz okoliša kao što su razine NO_3^- , šećera i hormona poput citokina (O'Brien i sur., 2016).

Mehanizmi usvajanja i metabolizma dušika u pšenici nisu samo rezultat fiziološke nužnosti, već su sofisticirani adaptivni sustavi koji odgovaraju na promjene u okolišu, fenološku fazu biljke i unutarnje razvojne prioritete. Od uspješnosti tih mehanizama ovisi sposobnost biljke da postigne visok prinos i kvalitetu, posebno u agroekološkim uvjetima gdje je dušik limitirajući faktor. Upravo zbog toga, molekularna istraživanja i identifikacija genotipskih varijacija u ovim procesima predstavljaju ključne alate u selekciji sorti s poboljšanim NUE svojstvima.

1.1.3. Utjecaj dušika na morfologiju i fiziologiju pšenice

Dušik je element od presudnog značaja za rast i razvoj biljaka jer je izravno uključen u strukturu i funkciju molekula poput aminokiselina, proteina, nukleinskih kiselina i klorofila. Njegova dostupnost u tlu ne određuje samo biokemijsku aktivnost stanica, već značajno oblikuje morfološke karakteristike i fiziološke funkcije biljke. Kod pšenice (*Triticum aestivum* L.), kultivirane vrste s visokom agronomskom vrijednošću, razina dostupnog dušika izravno se reflektira na arhitekturu biljke, razvoj listova, fotosintetsku efikasnost, aktivnost enzima i konačan prinos zrna.

Optimalna opskrba dušikom stimulira rast nadzemne biomase povećanjem broja listova, površine lista (LAI – Leaf Area Index), dužine internodija, te broja klasova po biljci. Kod dobro opskrbljenih biljaka zabilježena je veća gustoća i dužina lista, intenzivnije busanje te raniji prijelaz u generativnu fazu, što u konačnici rezultira višim brojem zrna po klasu i većom masom 1000 zrna (Barraclough i sur., 2010). Povećanje količine dušika pozitivno korelira s

aktivacijom procesa stanične diobe u meristemima, što dovodi do povećane akumulacije suhe tvari, a ta je akumulacija u korelaciji s fotosintetskom učinkovitošću listova (Gaju i sur., 2011).

Fiziološki gledano, dušik povećava koncentraciju klorofila u listovima i time izravno utječe na fotosintetsku aktivnost. Razina opskrbe dušikom determinira sposobnost biljke da hvata i iskorištava sunčevu energiju za sintezu asimilata, pri čemu se povećava neto fotosintetska stopa. Viša koncentracija dušika u listu pridonosi većoj aktivnosti ključnih enzima fotosinteze, uključujući RUBISCO, te povećava razinu ribuloznog difosfata, čime se omogućuje brža regeneracija CO₂ akceptora (Lawlor, 2002). U eksperimentima provedenim na pšenici dokazano je da kultivari s većim kapacitetom za sintezu i održavanje klorofila tijekom reproduktivnih faza ostvaruju viši prinos, što upućuje na povezanost efikasnog korištenja dušika i fotosintetske stabilnosti (Gaju i sur., 2011; Le Gouis i sur., 2000).

Dušik također snažno utječe na transpiraciju i vodnu dinamiku biljke. Veće koncentracije dušika povećavaju stomatalnu vodljivost i provodljivost CO₂, no istovremeno povećavaju i transpiracijski gubitak vode, što može biti ograničavajući faktor u uvjetima suše. Istraživanja su pokazala da genotipovi pšenice koji efikasnije reguliraju stomatalnu aktivnost i raspodjelu asimilata pri višim razinama dušika ostvaruju stabilniji prinos i bolju vodnu učinkovitost u suhim uvjetima (Gorny i sur., 2011). Uz navedeno, razina dostupnog dušika ima ključnu ulogu u sintezi i raspodjeli hormona poput citokinina, gibberelina i auksina, čiji su metabolički putevi uvjetovani statusom dušika u biljci. Tako je poznato da citokinini, koji su povezani sa staničnom diobom i odgodom senescencije, bilježe povišene koncentracije u uvjetima optimalne dušične ishrane. To omogućuje dulje trajanje fotosintetske aktivnosti listova (takozvani „stay-green“ fenotip), koji je povezan s većim sadržajem proteina u zrnu i produženom translokacijom asimilata u klas (Martre i sur., 2006). Važno je istaknuti da prekomjerna primjena dušika može izazvati negativne fiziološke posljedice. Istraživanja pokazuju da viškovi N dovode do neravnoteže između vegetativnog i generativnog rasta, prekomjernog izduživanja stabljike, što povećava rizik od polijeganja, kao i povećane akumulacije nitrata u biljnim tkivima, koji mogu imati negativan učinak na zdravlje ljudi i okoliš (Fageria i Baligar, 2005). Osim toga, višak dušika može inhibirati formiranje dubokog korijenskog sustava, smanjiti otpornost na abiotske stresove te negativno utjecati na ravnotežu iona i pH u rizosferi.

Na temelju istraživanja provedenih u različitim agroekološkim uvjetima, uključujući pokuse u Hrvatskoj, potvrđeno je da je odgovor pšenice na dušik dodan putem gnojidbe visoko varijabilan i uvjetovan genetskom osnovom kultivara. Genotipovi se razlikuju u efikasnosti korištenja dušika pri istim razinama gnojidbe, a takva genotipska plastičnost posljedica je razlika u morfološkim parametrima, fiziološkim procesima i dinamici remobilizacije dušika u fenofazama zriobe (Šarčević i sur. 2014.). Dušik posjeduje višestruke morfološke i fiziološke učinke na pšenicu, koji nadilaze sam učinak na rast i uključuju finu regulaciju fotosinteze, transpiracije, hormonske ravnoteže i mehanizama senescencije. Uspješno upravljanje dušičnom ishranom, uz uzimanje u obzir genetske specifičnosti kultivara i okolišnih uvjeta, presudno je za maksimizaciju prinosa i minimizaciju negativnih posljedica prekomjerne gnojidbe.

1.1.4. Definicija i komponente učinkovitosti korištenja dušika (NUE)

Učinkovitost korištenja dušika (engl. Nitrogen Use Efficiency – NUE) predstavlja jedan od ključnih agronomskih i ekoloških pokazatelja u suvremenoj biljnoj proizvodnji, osobito u kontekstu sve izraženijih ograničenja u korištenju mineralnih gnojiva, klimatskih promjena i zahtjeva za održivim gospodarenjem resursima. Pojam NUE obuhvaća sposobnost biljke da usvoji raspoloživi dušik iz tla te ga u što većoj mjeri pretvori u organsku biomasu i reproduktivni urod, odnosno u zrno kod žitarica poput pšenice. Kao kvantitativan agronomski parametar, NUE se najčešće definira kao omjer prinosa zrna i ukupno primijenjenog dušika, čime se ističe njegova funkcija kao pokazatelja učinkovitosti pretvaranja ulaznih resursa u korisni agronomski ishod (Moll i sur., 1982). No, kako bi se dublje razumjela fiziološka i genetska osnova ovog parametra, u literaturi se sve češće primjenjuje razlaganje NUE na dvije osnovne komponente: učinkovitost usvajanja dušika (Nitrogen Uptake Efficiency – NUpE) i učinkovitost iskorištavanja dušika (Nitrogen Utilization Efficiency – NUtE).

1.1.5. Učinkovitost usvajanja dušika (NUpE)

Efikasnost usvajanja dušika (engl. Nitrogen Uptake Efficiency – NUpE) definira se kao sposobnost biljke da iz tla ili primijenjenog gnojiva usvoji što veći udio raspoloživog mineralnog dušika, bez obzira na njegovu koncentraciju ili oblik. Ova komponenta ukupne učinkovitosti primjene dušika (NUE) posebno je značajna u agroekološkim uvjetima ograničene dostupnosti dušika te u sustavima s reduciranom gnojidbom, gdje biljka mora

optimalno iskoristiti skromne nutritivne resurse. Visoka NUpE smanjuje gubitke dušika ispiranjem, denitrifikacijom i volatilizacijom te osigurava veću agronomsku i ekološku učinkovitost u biljnim sustavima. Usvajanje dušika u biljci pšenice odvija se putem kompleksne mreže korijenskih transportnih proteina koji omogućuju selektivnu apsorpciju nitrata (NO_3^-) i amonijevog iona (NH_4^+). Ovi se transporteri dijele na sustave visoke (HATS) i niske afinitetnosti (LATS), a njihova ekspresija ovisi o dostupnosti dušika, razvojnim fazama biljke te signalima iz okoliša (Crawford i Forde, 2002).

Genotipske razlike u sposobnosti korijenskog sustava da razvije duboku i razgranatu morfologiju povezane su s razlikama u NUpE među sortama pšenice, pri čemu se učinkovitije sorte odlikuju većom gustoćom i površinom apsorpcijskih zona, posebno u gornjim slojevima tla gdje je koncentracija nitrata najviša (Barracough i sur., 2010).

Znanstvena istraživanja ukazuju na značajnu varijabilnost NUpE među genotipovima pšenice. U klasičnim radovima Van Sanforda i MacKowna (1986), zabilježen je doprinos NUpE od 54% ukupnoj varijabilnosti NUE u testiranim genotipovima. Kasniji radovi poput onog Dhugge i Wainesa (1989) pokazali su da u uvjetima visoke i niske opskrbljenosti dušikom, NUpE može doprinositi NUE i do 70%, ističući time ključnu ulogu ove komponente u adaptivnom odgovoru biljke na različite razine raspoloživog dušika. U istraživanjima s europskim sortama pšenice u agroekološkim uvjetima Hrvatske, Šarčević i sur. (2014) izvijestili su da genotipovi značajno variraju u NUpE, osobito pri nižim razinama dušične gnojidbe. Smanjenje doze dušika za 100 kg N/ha dovelo je do smanjenja prinosa od 10%, no istovremeno su identificirane sorte koje su zadržale relativno visok prinos zahvaljujući visokoj efikasnosti usvajanja dostupnog dušika. Takvi genotipovi pokazuju veću ekspresiju gena za nitrate transportere (NRT1 i NRT2), što potvrđuje molekularnu osnovu razlikama u NUpE. Na razini agrotehničkih mjera, učinkovitost NUpE može se poboljšati primjenom prilagođenih strategija gnojidbe, uključujući preciznu primjenu dušika u vremenskim intervalima koji odgovaraju najintenzivnijim fazama usvajanja (busanje, početak klasanja), kao i kombiniranjem oblika dušika radi optimizacije prisutnosti NO_3^- i NH_4^+ iona u rizosferi. Također, simbiotski odnosi s mikroorganizmima, osobito s rizobakterijama koje mobiliziraju dušik, mogu pozitivno utjecati na učinkovitost usvajanja, čime se otvara dodatni potencijal za agroekološki prihvatljive prakse (Ladha i sur., 2005). S obzirom na to da visoka NUpE predstavlja poželjnu osobinu u sustavima smanjene inputne poljoprivrede, njeno uključivanje u programe selekcije i oplemenjivanja pšenice ima sve veći značaj. Osobito su vrijedne sorte koje zadržavaju visok NUpE bez gubitka prinosa, jer

omogućuju stabilnu proizvodnju uz manju ovisnost o gnojivima. Takvi genotipovi predstavljaju ključni alat za održivu intenzifikaciju proizvodnje žitarica u uvjetima klimatskih i ekonomskih ograničenja.

1.1.6. Učinkovitost iskorištenja dušika (NUE)

Efikasnost iskorištavanja dušika (engl. Nitrogen Utilization Efficiency – NUE) definira se kao sposobnost biljke da usvojeni dušik pretvori u ekonomsku biljnu biomasu, najčešće izraženu kao prinos zrna u žitaricama poput pšenice. U okviru ukupne učinkovitosti primjene dušika (NUE), NUE predstavlja drugi temeljni čimbenik uz efikasnost usvajanja (NUpE), a njegova važnost raste osobito u uvjetima kada je usvojena količina dušika već maksimalna, ali prinos ostaje ograničen zbog unutarnjih metaboličkih i fizioloških barijera. Visoka NUE podrazumijeva da biljka učinkovito uključuje dostupni dušik u metaboličke procese, s naglaskom na sintezu aminokiselina, transport i preraspodjelu proteina te formiranje organske tvari u ključnim razvojnim fazama, osobito tijekom punjenja zrna. U pšenici, učinkovitost NUE usko je povezana s razinom aktivnosti enzima poput glutamin sintetaze (GS) i glutamat sintetaze (GOGAT), koji omogućuju inkorporaciju amonijaka u stabilne dušične spojeve (Masclaux-Daubresse i sur., 2008). Istraživanja su pokazala da kultivari pšenice koji iskazuju višu ekspresiju GS1 u listovima tijekom faze senescencije imaju bolju sposobnost remobilizacije dušika iz vegetativnih tkiva u zrno, što povećava sadržaj proteina u konačnom urodu (Habash i sur., 2007).

Ortiz-Monasterio i sur. (1997) u svojoj analizi CIMMYT linija jare pšenice otkrili su da je doprinos NUE ukupnoj NUE značajniji pri visokoj opskrbljenosti dušikom, dok NUpE dominira pri niskim razinama. Slično tome, Le Gouis i sur. (2000) zaključili su da je doprinos NUE u visoko fertiliziranim uvjetima veći, iznoseći 70%, dok je pri niskoj gnojidbi veći udio imao NUpE. Takva varijabilnost podcrtava važnost razumijevanja interakcije između okolišnih uvjeta i genetske osnove biljke u regulaciji unutarnjeg dušičnog metabolizma. Genotipske razlike u NUE posljedica su razlika u učinkovitosti transporta dušičnih spojeva do klasa i sposobnosti održavanja fotosintetske aktivnosti tijekom kasnih fenofaza. Visoko efikasni genotipovi često pokazuju „stay-green“ karakteristike, što znači da zadržavaju aktivno lisno tkivo dulje vrijeme tijekom punjenja zrna, što omogućuje kontinuiranu sintezu i transport asimilata, uključujući dušik (Gaju i sur., 2011; Martre i sur., 2006).

Osim fizioloških mehanizama, važnu ulogu u NUtE imaju i regulacijski elementi poput transkripcijskih faktora i hormonske signalizacije. Na primjer, citokinini pomažu u održavanju fotosintetske aktivnosti listova, a auksini reguliraju sink-source odnose između lista i zrna. Biljke koje imaju učinkovitiju hormonsku koordinaciju pokazuju veću preraspodjelu dušika u zrno, čak i kad je ukupni sadržaj dušika u biljci manji (Nunes-Nesi i sur., 2010). U agronomskom smislu, povećanje NUtE posebno je važno u kontekstu poboljšanja kvalitete proteina u zrnu bez potrebe za dodatnim unošenjem mineralnog dušika, čime se smanjuju ekonomski troškovi i negativni ekološki učinci. Stoga selekcija genotipova s visokom NUtE, osobito u sustavima s višim razinama gnojidbe, predstavlja ključnu strategiju za povećanje ukupne učinkovitosti proizvodnje.

NUtE nije samo rezultat asimilacije dušika, već reflektira ukupnu metaboličku koordinaciju biljke i njezinu sposobnost da odgovori na okolišne izazove. Njeno poboljšanje traži integrirani pristup koji uključuje genetsku selekciju, optimizaciju agrotehničkih mjera i duboko razumijevanje molekularnih i fizioloških mehanizama metabolizma dušika.

1.1.7. Međusobna ovisnost i značaj NUpE i NUtE u različitim agroekološkim uvjetima

Učinkovitost usvajanja (NUpE) i iskorištavanja dušika (NUtE) ključne su komponente ukupne učinkovitosti primjene dušika (NUE), a njihova relativna važnost i međusobna ovisnost izrazito ovise o agroekološkim uvjetima u kojima se pšenica uzgaja. Interakcija okolišnih čimbenika – kao što su dostupnost dušika u tlu, vodni režim, temperatura, tekstura tla i mikrobiološka aktivnost – s genetskim potencijalom kultivara određuje koji će od ova dva mehanizma dominantno doprinosti konačnom prinosu i efikasnosti dušične ishrane.

U agroekološkim uvjetima niske dostupnosti dušika, kao što su tla siromašna organskom tvari, pješčana tla sklona ispiranju, te sustavi smanjene ili organske gnojidbe, učinkovitost usvajanja dušika (NUpE) postaje presudan čimbenik za održavanje stabilnog prinosa. Biljke koje razvijaju snažan korijenski sustav i posjeduju visoku ekspresiju membranskih transportera za nitrate i amonij (npr. NRT2.1, NRT1.1, AMT1) imaju sposobnost usvajanja i minimalnih količina dostupnog dušika (Garnett i sur., 2009). Takvi genotipovi iskazuju bolju prilagodbu stresnim uvjetima, smanjuju gubitke nutrijenata iz tla i pokazuju visoku NUpE, iako NUtE može ostati niska ako nema dovoljno asimiliranog dušika za učinkovitu preraspodjelu i sintezu proteina. S druge strane, u uvjetima visoke opskrbljenosti dušikom – bilo zbog intenzivne

gnojidbe ili visoke mineralizacije u humusnim tlima – biljke imaju dovoljno dušika na raspolaganju, pa efikasnost usvajanja više ne predstavlja ograničavajući čimbenik. U takvim uvjetima NUtE postaje dominantna komponenta jer se fokus premješta na sposobnost biljke da akumulirani dušik preraspodijeli u zrno, uz očuvanje fotosintetske aktivnosti i učinkovit transport. Gubi se korisnost dodatnog unosa dušika ako biljka nije sposobna metabolički iskoristiti njegov višak (Ortiz-Monasterio i sur., 1997; Le Gouis i sur., 2000).

Istraživanja su potvrdila da je doprinos NUpE i NUtE ukupnoj varijabilnosti NUE različit ovisno o nivou dušične opskrbe. Tako je Le Gouis i sur. (2000) utvrdio da je pri niskoj razini N doprinos NUpE iznosio 64%, dok je u uvjetima visoke opskrbe doprinos opao na 30%, a dominaciju je preuzela NUtE. Ortiz-Monasterio i suradnici (1997) također su pokazali da se genetska varijabilnost NUE najviše objašnjava NUpE pri niskim razinama N, dok pri visokim razinama značajniju ulogu ima NUtE. Slično, Gaju i sur. (2011) su identificirali genotipove s visokim NUtE u uvjetima visokog N, kod kojih je „stay-green“ fenotip omogućio dulje trajanje fotosintetske aktivnosti i povećan transport dušika u zrno. Važno je naglasiti da postoji snažna sinergija između NUpE i NUtE, gdje poboljšanje jednog aspekta bez drugog rijetko rezultira maksimizacijom ukupne učinkovitosti. Genotip s visokom sposobnošću usvajanja, ali slabom iskorištenosti unesenog dušika, može akumulirati višak nitrata u vegetativnom tkivu, što ne doprinosi prinosu niti kvaliteti zrna. Suprotno tome, genotip s visokom sposobnošću iskorištavanja, ali ograničenom dostupnošću dušika, ne može ostvariti potencijal jer mu nedostaje supstrat za sintezu (Moll i sur., 1982).

U kontekstu klimatskih promjena i potreba za smanjenjem inputa u biljnoj proizvodnji, razumijevanje međuodnosa između NUpE i NUtE predstavlja temelj za razvoj genotipova pšenice prilagođenih različitim agroekološkim uvjetima. U sustavima niskih ulaganja i ekološke proizvodnje, prednost će imati genotipovi s visokom NUpE i otpornim korijenskim sustavom, dok će u intenzivnim sustavima visoko fertiliziranih polja naglasak biti na genotipovima s povišenim NUtE, sposobnim za učinkovitu preraspodjelu dušika u zrno, uz minimalne okolišne gubitke.

1.1.8. Genetska varijabilnost i nasljednost svojstava povezanih s NUE

Učinkovitost primjene dušika (NUE) u pšenici rezultat je složenog kombiniranja genetskih svojstava, okolišnih uvjeta i njihovih interakcija ($G \times E$). Genetska komponenta učinkovitosti

upotrebe dušika podrazumijeva mogućnost da se kroz selekcijske procese poboljšaju osobine koje biljkama omogućuju optimalno usvajanje (NUpE) i iskorištavanje dušika (NUtE), čime se povećava prinos i kvaliteta zrna te smanjuju negativni okolišni učinci. U tom kontekstu, identificiranje genetske varijabilnosti, kvantifikacija nasljednosti i razvoj odgovarajućih selekcijskih strategija predstavljaju ključne korake u oplemenjivanju pšenice za visoku NUE.

Prvi pokazatelji da među genotipovima pšenice postoji znatna varijabilnost u komponentama NUE dolaze iz pokusa Van Sanforda i MacKowna (1986), koji su pokazali da doprinos NUpE u ukupnoj varijaciji NUE može iznositi 54%. Slični nalazi potvrđeni su i u istraživanju Dhugge i Wainesa (1989), gdje je NUpE doprinijela ukupnoj učinkovitosti do 70%, osobito u uvjetima niske i visoke dušične opskrbljenosti. Le Gouis i sur. (2000) nadopunjuju te nalaze, ističući da je genetski doprinos NUpE iznosio 64% u uvjetima niske opskrbe dušikom, dok se u uvjetima visoke opskrbe značajnije isticala NUtE. U kasnijim istraživanjima, Gaju i sur. (2011) potvrđuju postojanje jakih genetskih razlika među genotipovima za iskorištavanje dušika, pri čemu su linije s izraženim „stay-green“ fenotipom zadržale fotosintetsku aktivnost u kasnijim fazama razvoja, poboljšavši tako remobilizaciju dušika u zrno. Heritabilnost svojstava povezanih s NUE-om ovisi o okolišnim uvjetima i vrsti komponente. Masclaux-Daubresse i sur. (2010) u svojoj analizi navode da se heritabilnost aktivnosti glutamin sintetaze, razine proteina i indeksa remobilizacije u listovima kreće između 0,4 i 0,7. Molekularna istraživanja dodatno su proširila razumijevanje genetske osnove, pa su identificirani brojni QTL-ovi za svojstva povezana s NUE, uključujući regije genoma na kromosomima 2D i 6A povezane s preraspodjelom dušika u kasnim fazama razvoja (Foulkes i sur., 2009).

Osjetljivost genotipova na različite agroekološke uvjete naglašava važnost analize interakcije genotip $\times$ okoliš ($G \times E$) u planiranju oplemenjivačkih programa. Brancourt-Hulmel i sur. (2005) u svom pokusu s 270 oplemenjivačkih linija pšenice pokazali su da je selekcija isključivo u uvjetima visokih ulaganja nedovoljna za poboljšanje svojstava u okolišima niske dostupnosti dušika. Autori su zaključili da su okoliši niskih ulaganja ključni za otkrivanje genotipova s adaptivnim osobinama relevantnima za ekološku i održivu poljoprivredu. Sličan zaključak donose Ortiz-Monasterio i sur. (1997), koji su kroz višegodišnje pokuse na CIMMYT linijama utvrdili da je $G \times E$ interakcija ključna za interpretaciju fenotipske varijabilnosti NUE, osobito jer je doprinos NUpE i NUtE ovisio o razini opskrbe dušikom i o okolišnim uvjetima. Njihovo istraživanje preporuča selekciju pod srednjim do visokim razinama opskrbe dušikom, kako bi

se poboljšala učinkovitost selekcije i izbjegla podcijenjenost potencijala genotipova u manje stresnim uvjetima.

Integrirane strategije selekcije uključuju korištenje stresnih indeksa poput MP, GMP, STI i YI koji pokazuju visoku korelaciju s prinosom pod stresnim uvjetima i služe kao učinkoviti alati za prepoznavanje tolerantnih genotipova (Khan i sur., 2016). Genomska selekcija (GS) i marker-asistirano selekcioniranje (MAS) omogućuju identifikaciju alela i regija genoma povezanih s komponentama NUE te se sve češće primjenjuju u oplemenjivanju pšenice za selekciju linija koje kombiniraju visoku genetsku stabilnost i ekološku učinkovitost (He i sur., 2015). Visokopropusni fenotipski alati, uključujući NDVI i hiperspektralno snimanje, dodatno povećavaju točnost selekcije omogućujući ranu procjenu adaptivnih osobina genotipova u pokusima u više okoliša (Araus i Cairns, 2014).

1.1.9. $G \times E$ interakcije i selekcijska strategija za poboljšanje učinkovitosti primjene dušika (NUE)

Jedan od najvećih izazova u oplemenjivanju pšenice za poboljšanu učinkovitost primjene dušika (NUE) leži u kompleksnosti interakcija između genotipa (G), okolišnih uvjeta (E), te njihovih međusobnih interakcija ($G \times E$). Budući da učinkovitost usvajanja (NU_pE) i iskorištavanja dušika (NU_tE) snažno ovise o okolišnim uvjetima poput dostupnosti vode, temperature, plodnosti tla, teksture, mikrobiološke aktivnosti i intenziteta gnojide, iste genetske osobine ne rezultiraju nužno istim fenotipskim odgovorima u različitim agroekološkim zonama.

Kao što ističu Ortiz-Monasterio i sur. (1997), doprinos komponenti NUE (NU_pE i NU_tE) varira ovisno o razini opskrbljenosti dušikom: pri niskim razinama, usvajanje dominira kao čimbenik varijabilnosti, dok je u uvjetima visoke dostupnosti presudna efikasnost preraspodjele dušika. Ovo otkriće iz temelja mijenja pristup selekciji jer jasno implicira da jednokratna selekcija u standardiziranim uvjetima nije dovoljna za razvijanje genotipova s visokom stabilnošću i širokom adaptacijom. Upravo u tom kontekstu postaje ključno razumijevanje $G \times E$ interakcija. $G \times E$ interakcije znače da različiti genotipovi različito reagiraju na promjene u okolišnim uvjetima, te se performanse jedne sorte mogu drastično mijenjati u ovisnosti o lokaciji, sezoni i razini inputa. Brancourt-Hulmel i sur. (2005) proveli su opsežno istraživanje na 270 oplemenjivačkih linija pšenice i njihovih roditelja u šest različitih agroekoloških uvjeta.

Pokazalo se da selekcija provedena samo u okolišima visokih inputa (visoka N gnojidba) ne rezultira u poboljšanju performansi u niskim ulaznim sustavima, poput organskih gospodarstava. Autori zaključuju da ciljana selekcija u okolišima niskog unosa dušika rezultira boljim identifikacijama tolerantnih genotipova te maksimizira genetsku dobit. Dodatna potvrda dolazi iz rada Przystalski i sur. (2008), gdje se preporuča kombinacija podataka iz organskih i konvencionalnih pokusa, upravo kako bi se optimalno procijenio selekcijski odgovor u različitim sustavima proizvodnje. Međutim, Annicchiarico i sur. (2010) ukazuju da u nekim slučajevima selekcija u konvencionalnim sustavima može biti podjednako učinkovita kao i u organskim, osobito ako se cilja na adaptaciju genotipa za stabilne agronomske osobine (npr. prinos u stresnim uvjetima).

U sklopu strategije oplemenjivanja za NUE, sve je važnije korištenje analiza stabilnosti genotipova u različitim okolišima (GGE biplot, AMMI analiza), koje pomažu u identifikaciji linija s širokom adaptabilnošću ili specifičnom prilagodbom. U okolnostima sve izraženijih klimatskih nestabilnosti, genotipovi sa stabilnim fenotipskim odgovorima, ali i s izraženim performansama u ciljanim okolišima, predstavljaju idealne kandidate za selekciju. Jedan od primjera selekcijske efikasnosti je pokus Cormier i sur. (2013) u kojem je zabilježeno da se NUE u francuskim sortama pšenice povećavao za 0,37% godišnje pod niskim, i za 0,30% pod visokim razinama dušika između 1985. i 2010. godine. Njihovi rezultati potvrđuju kako dugoročna selekcija u više okoliša, praćena standardiziranom gnojdbom, može povećati efikasnost kroz kombinirani napredak u NUpE i NUtE. U konačnici, uspješna selekcijska strategija za povećanje NUE mora biti višerazinska i okolišno-specifična, uključivati GxE testiranja, i biti usmjerena na identifikaciju genotipova koji ustrajno pokazuju visoku učinkovitost dušika, bilo kroz usvajanje, preraspodjelu ili obje komponente.

1.1.10. Selekcijski indeksi za evaluaciju genotipova pod stresom niske opskrbljenosti dušikom

U kontekstu selekcije genotipova pšenice s visokom učinkovitošću primjene dušika (NUE), osobito u uvjetima ograničene dostupnosti dušika, sve se više koristi primjena kvantitativnih selekcijskih indeksa. Ovi indeksi omogućuju procjenu prinosa i stabilnosti genotipova kroz više okolišnih scenarija, osobito stresnih uvjeta, na znanstveno utemeljen i kvantificiran način. Njihova uporaba postaje ključna u selekcijskim programima jer omogućuju objektivno

vrednovanje genetskih resursa prema njihovoj tolerantnosti i adaptivnosti na stres niske dostupnosti N.

Selekcijski indeksi kombiniraju prinos u stresnim i nestresnim uvjetima kako bi se kvantificirala otpornost genotipova na stres i njihova stabilnost:

$$MP \text{ (Mean Productivity)} = (Y_s + Y_p) / 2$$

Gdje je Y_s prinos pod stresom (npr. niska opskrba N), a Y_p prinos bez stresa.

$$GMP \text{ (Geometric Mean Productivity)} = \sqrt{(Y_s \times Y_p)}$$

Favorizira genotipove s konstantnim prinosom u oba uvjeta.

$$STI \text{ (Stress Tolerance Index)} = (Y_s \times Y_p) / (\bar{Y}_p)^2$$

Mjeri relativnu sposobnost genotipa da daje visoke prinose i u stresnim i u nestresnim uvjetima ($\bar{Y}_p$ je srednji prinos svih genotipova u optimalnim uvjetima).

$$HM \text{ (Harmonic Mean)} = 2 \times (Y_s \times Y_p) / (Y_s + Y_p)$$

Ističe genotipove s uravnoteženim prinosom u oba uvjeta; penalizira ekstremne razlike.

$$TOL \text{ (Tolerance Index)} = Y_p - Y_s$$

Više vrijednosti ukazuju na veću osjetljivost na stres; manja vrijednost = veća tolerancija.

$$SSI \text{ (Stress Susceptibility Index)} = [1 - (Y_s/Y_p)] / SI$$

$SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$; indeks osjetljivosti na stres u odnosu na sve genotipove.

$$YI \text{ (Yield Index)} = Y_s / \bar{Y}_s$$

Omjer prinosa genotipa u stresnim uvjetima i srednjeg prinosa svih genotipova.

Fernandez (1992) prvi je sustavno razvrstao genotipove prema njihovim performansama u različitim uvjetima, koristeći indekse koji omogućuju diferencijaciju između stabilnih genotipova i onih s visokim prinosima samo u jednim uvjetima. Prema njegovoj klasifikaciji, genotipovi koji pokazuju visoke vrijednosti i u stresnim i u optimalnim uvjetima imaju najveći potencijal za selekciju.

Khan i sur. (2016) u studiji na 20 genotipova pšenice pokazali su da selekcijski indeksi GMP i STI najbolje koreliraju s ukupnim prinosom, dok je TOL bio korisniji za identifikaciju genotipova osjetljivih na stres. Autori ističu da je primjena više indeksa istovremeno najpouzdaniji pristup za identifikaciju stabilnih i tolerantnih genotipova. Zhao i sur. (2019) nadalje potvrđuju da SSI i TOL mogu imati ograničenja, jer ne razlikuju genotipove koji dobro uspijevaju u oba uvjeta od onih koji su specifično prilagođeni samo stresnim uvjetima. Autori predlažu primjenu višekriterijskog ocjenjivanja, u kojem se koriste kombinacije MP, GMP, STI i HM za višedimenzionalnu klasifikaciju genotipova.

Primjena jednog indeksa može dovesti do selekcijske pogreške jer favorizira određeni aspekt odgovora na stres. Na primjer, MP favorizira visoke prosječne prinose, ali ne nužno stabilnost. S druge strane, GMP i STI ističu genotipove s konzistentnim performansama. Zbog toga je višekriterijska selekcija temelj za objektivno vrednovanje genotipova, osobito u uvjetima niske dostupnosti dušika.

Ovakav pristup omogućava:

- razlikovanje genotipova koji imaju visoku plastičnost,
- identifikaciju stabilnih genotipova s malom varijacijom između okoliša,
- selekciju genotipova za ciljane agroekološke zone.

Indeksi se također mogu integrirati s GGE biplot analizama i multivarijantnim metodama, što dodatno povećava selekcijsku točnost i smanjuje rizik od pogrešne klasifikacije genetskog potencijala.

1.1.11. Fiziološki i morfološki indikatori adaptacije pšenice na smanjenu opskrbu dušikom

U uvjetima smanjene dostupnosti dušika, uspješnost rasta i razvoja pšenice ovisi o nizu fizioloških i morfoloških odgovora biljke, koji u konačnici determiniraju učinkovitost usvajanja (NUpE) i iskorištavanja dušika (NUtE). Genotipovi pšenice koji su tolerantni na

dušični stres prepoznaju se po nizu adaptivnih osobina koje uključuju poboljšano usvajanje dušika iz tla, njegovu učinkovitiju preraspodjelu i korištenje u procesu sinteze biomase i zrna, uz očuvanje ključnih morfoloških i fotosintetskih struktura.

Jedan od najvažnijih pokazatelja adaptacije je dužina i gustoća korijenovog sustava. Genotipovi s dubokim i razgranatim korijenovim sustavima imaju bolju sposobnost eksploracije volumena tla i usvajanja raspoloživog dušika, osobito u dubljim horizontima. Tzv. „N-efficient“ genotipovi pokazuju povećanu koncentraciju lateralnih korijenčica i veću ukupnu površinu korijena u stresnim uvjetima, što im omogućuje učinkovitije usvajanje mineralnog dušika u obliku NO_3^- i NH_4^+ (Liao i sur., 2004). Na razini nadzemnog dijela biljke, očuvanje lista zastavičara i kasno zatvaranje puči u uvjetima niskog N smatra se jednim od ključnih morfoloških i fizioloških mehanizama za očuvanje asimilacijske površine i produženje perioda aktivne fotosinteze. Gaju i sur. (2011) su pokazali da „stay-green“ fenotip, karakteriziran očuvanjem zelenog tkiva tijekom punjenja zrna, omogućuje bolju preraspodjelu dušika i ugljikovih spojeva u zrno te pozitivno korelira s visokom NUtE. S fotosintetskog aspekta, genotipovi tolerantni na N-stres pokazuju veću maksimalnu fotosintetsku brzinu (Amax), stabilnije vrijednosti fluorescencije klorofila (Fv/Fm) te očuvanje koncentracije pigmenta klorofila a/b, što sve skupa rezultira višim asimilacijskim potencijalom po jedinici N. Visoka fotosintetska učinkovitost omogućava bolji rast i akumulaciju suhe tvari unatoč niskim razinama dostupnog dušika (Lawlor, 2002).

Fiziološka preraspodjela dušika iz vegetativnih organa u zrno također predstavlja ključnu komponentu tolerantnog fenotipa. Visoka aktivnost enzima glutamin sintetaze (GS1) u listovima u fazi senescencije korelira s povećanom mobilizacijom dušika u urode, čime se osigurava ne samo visoka NUtE, već i poboljšana proteinska kvaliteta zrna (Habash i sur., 2007). Kultivari pšenice koji pokazuju efikasnu remobilizaciju dušika često imaju manju ukupnu dušičnu akumulaciju u biomasi, ali višu učinkovitost pretvorbe N u ekonomski prinos.

Uz navedeno, indeks površine lista (LAI) i specifična lisna masa (SLA) predstavljaju korisne morfološke indikatore u ocjeni odgovora genotipa na N-stres. Genotipovi s višim LAI zadržavaju veću fotosintetsku površinu, dok viša SLA korelira s adaptacijom u uvjetima ograničene opskrbe nutrijentima (Reynolds i sur., 2000). Na razini cijele biljke, omjer zrna prema ukupnoj biomasi (Harvest Index – HI) ostaje jedan od najsnažnijih integrativnih pokazatelja učinkovitosti primjene N. Genotipovi koji održavaju visok HI unatoč smanjenju

ukupne akumulacije biomase pokazuju adaptaciju kroz alokaciju resursa prema reproduktivnim organima, što je ključno za očuvanje prinosa. Treba naglasiti da svi ovi pokazatelji moraju biti analizirani u kontekstu okolišnih uvjeta i razine dostupnosti dušika, jer je njihova ekspresija i korisnost za selekciju ovisna o interakciji genotipa s agroekosistemom. Integracija morfoloških i fizioloških parametara u selekcijski protokol omogućuje povećanu preciznost selekcije i identificiranje genotipova s adaptivnim potencijalom za niske inputne sustave.

1.1.12. Uloga genetske selekcije u razvoju kultivara tolerantnih na stres dušičnog deficita u kontekstu klimatskih promjena

Učinkovito upravljanje dušikom u poljoprivredi postaje sve složenije zbog izraženih klimatskih promjena koje destabiliziraju obrasce oborina, temperature i mikrobiološku dinamiku tla.

U takvom kontekstu, genetska selekcija genotipova tolerantnih na dušični stres postaje ključna strategija za osiguravanje stabilne i održive proizvodnje pšenice. Razvoj kultivara s visokom učinkovitošću primjene dušika (NUE) omogućava postizanje visokih prinosa uz smanjen unos gnojiva, čime se smanjuje emisija stakleničkih plinova i eutekcija vodnih resursa.

Klimatske promjene mijenjaju dostupnost i dinamiku dušika u tlu. Povećane temperature potiču ubranu mineralizaciju i denitrifikaciju, a nepravilni obrasci padalina povećavaju ispiranje nitrata. Time dolazi do češće pojave razdoblja privremenog ili kroničnog dušičnog deficita. Stoga su kultivari koji zadržavaju visoke vrijednosti NUpE i NUtE pod takvim uvjetima nužni za adaptaciju budućih agroekosustava (Zhu i sur., 2020). Moderno oplemenjivanje primjenjuje selektivne pritiske u uvjetima niske dostupnosti N kako bi identificiralo genotipove s otpornim fiziološkim i genetskim profilom. Istraživanja Van Sanford i MacKown (1986) i Dhugga i Waines (1989) pionirski su demonstrirala da genetska varijabilnost za NUpE i NUtE postoji među pšeničnim genotipovima, te da selekcija pod ograničenom dostupnošću N može rezultirati identifikacijom genotipova s poboljšanom efikasnošću. Le Gouis i sur. (2000) i Gaju i sur. (2011) dodatno potvrđuju da je genetska kontrola komponenti NUE kompleksna i okolišno ovisna, a selekcija treba obuhvatiti više okolišnih scenarija kako bi se postigla stabilnost performansi. G×E interakcije značajno utječu na ekspresiju alela povezanih s usvajanjem dušika, te na razine ekspresije ključnih gena poput NRT1.1, GS1, i AMT1. Strategija selekcije se stoga mora temeljiti na testiranju genotipova u više godina i lokacija, s kvantitativnim ocjenjivanjem fizioloških parametara i integracijom molekularnih markera. Kao što ističu Ortiz-Monasterio i sur. (1997), selekcija pod srednjim do visokim razinama dušika

omogućuje razlikovanje genotipova prema NUtE, dok selekcija pri niskim razinama pogoduje identifikaciji genotipova s visokim NU_pE. Kombinirana selekcija omogućava razvoj kultivara s uravnoteženim komponentama NUE, što je od esencijalne važnosti u klimatski nestabilnim uvjetima. Brancourt-Hulmel i sur. (2005) pokazali su da selekcija u uvjetima visokih inputa ne osigurava genetsku dobit za okoliše niskih ulaganja, što implicira da selekcija mora biti okolišno-specifična i usmjerena prema sustavima koji reflektiraju klimatsku realnost regije. Takav pristup također podržava Przystalski i sur. (2008), koji zagovaraju paralelnu selekciju u organskim i konvencionalnim sustavima.

Uz tradicionalne metode, sve se više koristi genomski selekcija i QTL mapiranje svojstava vezanih uz NUE. Identificirani su brojni QTL-ovi za učinkovitost iskorištavanja N, a razvoj marker-asistirane selekcije (MAS) omogućava ubrzanu selekciju u ranim generacijama. Korištenje transkriptomskih podataka i ekspresijskih profila u stresnim uvjetima također daje dodatne informacije o genskim mrežama koje reguliraju odgovor na dušični stres (Xu i sur., 2012). Strategija selekcije mora biti integrativna, obuhvaćati agroekološke podatke, fiziološke indikatore, molekularne markere i validaciju kroz višegodišnje pokuse. Samo tako je moguće razviti pšenicu koja neće biti ovisna o visokoj gnojidbi, već će kroz genetsku otpornost i prilagodbu postići stabilne prinose u uvjetima buduće klimatske nesigurnosti.

1.1.13. Povijesni napredak u selekciji za NUE

Povijesni pregled selekcijskih strategija u oplemenjivanju pšenice za učinkovitost primjene dušika (NUE) pokazuje postupni, ali značajan napredak u razumijevanju genetske kontrole usvajanja i iskorištavanja dušika. Od početnih empirijskih selekcija na prinos u standardnim uvjetima, oplemenjivačke strategije su se tijekom desetljeća razvile prema ciljanom poboljšanju komponenti NUE, pri čemu je znanstveni doprinos instituta poput CIMMYT-a, INRA-e i nacionalnih genetičkih programa bio ključan.

Jedan od prvih sustavno dokumentiranih napredaka zabilježen je u istraživanju Ortiz-Monasterio i sur. (1997), gdje je analizirana jara pšenica iz programa CIMMYT između 1962. i 1985. godine. Autori su pokazali da se NUE povećavala od 0,4% do 1,1% godišnje, ovisno o razini dostupnog dušika. Zanimljivo je da su komponentni doprinosi ovom poboljšanju bili raznoliki: pri niskim razinama N, NU_pE je bio dominantan čimbenik, dok je pri visokim razinama presudnu ulogu imao NUtE. Ovi podaci potvrđuju da se povijesni napredak u selekciji

nije temeljio na jednoj komponenti, već na kompleksnoj interakciji morfoloških i fizioloških mehanizama. Slične trendove u kasnijem razdoblju bilježe Cormier i sur. (2013) za francuske kultivare pšenice. U razdoblju od 1985. do 2010. godine uočeno je da se NUE poboljšavala za 0,37% godišnje u uvjetima niske opskrbljenosti N, odnosno 0,30% godišnje u uvjetima visoke opskrbe. Ovo poboljšanje povezano je s genetskim napretkom, jer nije došlo do promjene u intenzitetu gnojidbe. Autori zaključuju da su moderni kultivari razvijeni putem selekcije imali poboljšanu fiziološku efikasnost, osobito u smislu preraspodjele i remobilizacije dušika. Na globalnoj razini, značajan doprinos bilježi i Tadesse i sur. (2019), koji analiziraju trendove produktivnosti pšenice u programima međunarodnog oplemenjivanja. Izvještaj pokazuje da su novi kultivari rezultirali povećanjem prinosa od 2,53% godišnje od vremena prije Zelene revolucije do kraja 20. stoljeća. Iako se genetski napredak nije isključivo temeljio na selekciji za NUE, povećana učinkovitost dušika bila je neizbježna posljedica selekcije za visoki prinos i stresnu otpornost u više okolišnih uvjeta.

Selekcijski trendovi variraju između regija. U sustavima s visokim inputima, kao što su zapadna Europa i Kina, fokus selekcije bio je usmjeren na poboljšanje NUtE kako bi se očuvala visoka razina prinosa unatoč zasićenju N gnojdbom. Nasuprot tome, u regijama s ograničenim resursima – dijelovi Afrike, Indije i dijelovi istočne Europe – selekcijski naponi usmjereni su na poboljšanje NUpE, odnosno sposobnosti usvajanja dušika iz siromašnog tla (Hirel i sur., 2007). Povijesno gledano, selekcija na visoke prinose pod visokim dozama dušika često je rezultirala kultivarima koji nisu bili učinkoviti u uvjetima ograničenih resursa. To je postavilo izazov modernim oplemenjivačima da razviju genotipove široke adaptabilnosti, koji zadržavaju efikasnost i pod niskom i pod visokom dostupnošću dušika. Trendovi u genomskoj selekciji, korištenju markera i stres-induciranoj fenotipskoj evaluaciji ukazuju da budući napredak u NUE ovisi o integraciji tradicionalnih i molekularnih pristupa s višelokacijskim, dugoročnim ispitivanjima.

Prema prethodno iznesenom može se zaključiti da učinkovitost primjene dušika (NUE) u pšenici predstavlja multidimenzionalni agronomski i genetski fenomen, čija se važnost eksponencijalno povećava u kontekstu smanjenja inputa, održive proizvodnje i klimatskih promjena. Analizom dostupne literature, potvrđeno je da se NUE sastoji od dvije ključne komponente – učinkovitosti usvajanja dušika (NUpE) i učinkovitosti iskorištavanja dušika (NUtE) – čija međuovisnost ovisi o genotipu, agroekološkim uvjetima i razini raspoloživog dušika. S jedne strane, biološki mehanizmi usvajanja dušika, uključujući preferencijalni

transport NO_3^- i NH_4^+ iona, metaboličku aktivnost enzima poput nitrata reduktaze i glutamin sintetaze, te učinkovitost remobilizacije N u fazi senescencije, predstavljaju temelj razumijevanja kako biljka reagira na varijabilnu dostupnost nutrijenta.

S druge strane, morfološke i fiziološke osobine, uključujući strukturu korijena, indeks površine lista, „stay-green“ fenotip i fotosintetsku učinkovitost, ključne su za selekciju genotipova tolerantnih na stres dušičnog deficita.

Brojna istraživanja potvrdila su genetsku varijabilnost za NUE i njezine komponente, dok su $G \times E$ interakcije istaknule potrebu za višelokacijskim i višegodišnjim selekcijskim protokolima. Oplemenjivanje za NUE zahtijeva pomno balansiranje selekcije na NUpE i NUtE , ovisno o ciljanim uvjetima uzgoja. U tom kontekstu, selekcijski indeksi (MP, GMP, STI, HM, SSI, TOL, YI) omogućuju kvantitativnu klasifikaciju genotipova i predstavljaju neizostavan alat za selekciju u uvjetima smanjene opskrbe dušikom.

Povijesni pregled pokazuje da je genetski napredak u NUE bio stalan, iako različito izražen kroz regije i strategije oplemenjivanja. Moderni kultivari razvijeni u CIMMYT-u, Francuskoj i drugim oplemenjivačkim centrima bilježe pozitivne trendove u poboljšanju učinkovitosti dušika, čime se omogućava održiva proizvodnja u promjenjivim agroklimatskim uvjetima. Istovremeno, klimatske promjene nameću nove izazove u selekciji, uključujući potrebu za adaptabilnošću i otpornošću na ekstremne vremenske uvjete koji izravno utječu na raspoloživost i dinamiku dušika u tlu. Na temelju teorijskih spoznaja, može se zaključiti da budući napredak u oplemenjivanju pšenice za NUE ovisi o integriranom pristupu koji uključuje genetska, fiziološka i okolišna znanja, potpomognuta preciznim fenotipskim i molekularnim alatima. Takav pristup omogućit će razvoj genotipova koji će zadovoljiti zahtjeve visoke produktivnosti uz minimalan okolišni otisak, što je ujedno temelj održive poljoprivredne budućnosti.

1.2. Ciljevi i hipoteza istraživanja

Glavni ciljevi istraživanja su:

1. Utvrditi utjecaj gnojidbe dušikom na agronomska svojstva različitih kultivara pšenice i NUE (učinkovitost korištenja dušika) te odrediti kultivare s najvećim NUE
2. Odrediti komponente varijance i heritabilnosti za prinos i NUE pri visokoj i niskoj razini opskrbljenosti dušikom
3. Identificirati odnos između NUE i njegovih komponenti
4. Utvrditi korelaciju između selekcijskih indeksa stresa i prinosa te sadržaja proteina u uvjetima visoke i niske opskrbljenosti dušikom te odrediti najtolerantnije kultivare pšenice obzirom na navedena svojstva.

Hipoteza:

1. Kultivari ozime pšenice će pokazati razlike u agronomskim svojstvima i iskorištenju dušika (NUE) s obzirom na pristupačnost ili količinu N u različitim agroekološkim uvjetima RH.
2. Na temelju podataka o učinkovitosti korištenja dušika i selekcijskim indeksima u stresnim uvjetima moguće će biti odabrati kultivare ozime pšenice koji će zahtijevati manji utrošak dušičnih gnojiva uz istovremeno postizanje visokih prinosa.

2. MATERIJALI I METODE RADA

2.1. Poljski pokusi

Poljski pokusi postavljeni su u dvije uzastopne vegetacijske sezone 2016./2017. i 2017./2018. na tri lokacije (Osijek, Zagreb i Poreč) pri čemu je posijano 48 genotipova ozime pšenice. Lokacije su odabrane tako da predstavljaju različite agro-ekološke uvjete i na njima su zastupljeni različiti tipovi tla. Meteorološki podaci za navedene lokacije (temperatura zraka i količina padalina) ustupljeni su od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Korišteni genotipovi ozime pšenice su odabrani prema povijesnoj i sadašnjoj značajnosti u proizvodnji te prema doprinosu pedigreu u oplemenjivačkoj germplazmi. Tako 33 kultivara potječu iz hrvatskih oplemenjivačkih instituta (Poljoprivredni Institut Osijek, BC Institut), dok je ostalih 15 podrijetlom iz Rusije, Mađarske, Turske, Italije, Rumunjske, Austrije i Francuske. Značajni povijesni kultivari su U-1 registriran 1936, San Pastore registriran 1940 i Bezostaja-1 registrirana 1959. godine. Detaljan popis ispitivanih sorti s godinom priznavanja, zemljom podrijetla i oplemenjivačkom institucijom nastanka nalazi se u Tablici 1.

Tablica 1. Popis ispitivanih sorti s godinom priznavanja, zemljom podrijetla i oplemenjivačkom institucijom

ID	Sorta	Godina priznavanja	Država*/ Oplemenjivačka institucija
1	ANDJELKA	2008	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
2	BC ANICA	2012	HR / BC Institut Zagreb
3	BC BERNARDA	2015	HR / BC Institut Zagreb
4	BC CERTISSA	2014	HR / BC Institut Zagreb
5	BC DARIJA	2012	HR / BC Institut Zagreb
6	BC IRENA	2010	HR / BC Institut Zagreb
7	BC IRMA	2015	HR / BC Institut Zagreb
8	BC LORENA	2012	HR / BC Institut Zagreb
9	BC LJEPOTICA	2016	HR / BC Institut Zagreb
10	BC OPSESIJA	2016	HR / BC Institut Zagreb
11	BC TENA	2011	HR / BC Institut Zagreb
12	BEZOSTAJA-1	1959	RU/KRIA P.P. Lukyanenko
13	BOLOGNA	2001	FR/ETS CC BENOIST
14	CALISOL	2012	FR/SARL Adrien Momont et Fils (FR)
15	DROPIA	1993	RO/INCDA Fundulea
16	FELIX	2007	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
17	FICKO	2007	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
18	FLAMURA 85	2011	RO/INCDA Fundulea
19	FORCALI	2013	FR/SARL Adrien Momont et Fils (FR)
20	GALLOPER	2015	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
21	GOLUBICA	1998	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
22	GRAINDOR	2006	FR/Unisigma GIE (FR)
23	ISENGRAIN	1997	FR/Florimond Desprez Veuve et Fils (FR)
24	KATARINA	2006	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
25	KRALJICA	2010	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
26	LUKULLUS	2008	AT/Saatzucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG
27	MIHELCA	1996	HR / BC Institut Zagreb
28	MV-NADOR	2014	HU/MTA Agrartudományi Kutatóközpont
29	MV-NEMERE	2013	HU/MTA Agrartudományi Kutatóközpont

30	OSJEČKA CRVENKA	1976	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
31	OS-JELENA	2014	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
32	OS-OLIMPIJA	2009	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
33	PRIMA	2001	HR / BC Institut Zagreb
34	REBEKA	2011	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
35	RENAN	1990	FR/Institut National de la Recherche Agronomique
36	SAN PASTORE	1940	IT/Istituto Nazionale di Genetica per la Cerealicoltura Cerealicoltura
37	SANA	1983	HR / BC Institut Zagreb
38	SILVIJA	2010	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
39	SLAVONIJA	1984	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
40	SOFRU	2013	FR/Caussade Semences S.A.
41	SRPANJKA	1989	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
42	TIKA-TAKA	2014	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
43	TOSUNBEY	2004	TR/Field Crops Central Institut
44	U-1	1936	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
45	VIKTORIA	2011	HR/Agrigenetics d.o.o.
46	VULKAN	2009	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
47	WALDINGER	2016	HR / Poljoprivredni Institut Osijek
48	ZLATNA DOLINA	1971	HR / BC Institut Zagreb

*HR-Hrvatska, HU-Mađarska, FR-Francuska, RU- Rusija, RO-Rumunjska, AT- Austrija, IT-Italija, TR-Turska

Poljski pokus posijan je prema split-plot dizajnu u tri ponavljanja. Glavne parcele predstavljaju dvije razine gnojidbe dušikom dok 48 slučajno raspoređenih genotipova predstavljaju podparcele. Zaštitni pojas posijan je između glavnih parcela kao i oko njih. Veličina parcela u Osijeku i Poreču iznosila je 7,56 m², a u Zagrebu 4,95 m². Norma sjetve je iznosila 350 zrna po m² i bila je univerzalna za sve lokacije, godine i razine gnojidbe. Osnovna gnojidba obavljena je dodavanjem 100 kg/ha uree (46% N) i 400 kg/ha NPK (7:20:30), što iznosi 74 kg N/ha, 80 kg P₂O₅/ha i 120 kg K₂O/ha. Stanje niske opskrbljenosti dušikom postignuto je izostavljanjem prihrane dušičnim gnojivom, dok je stanje visoke opskrbljenosti postignuto dodavanjem ukupno 100 kg N/ha u dvije prihrane. Kao prihrana koristilo se dušično gnojivo kalcijev amonijev nitrat - KAN (27% N). Prva prihrana je provedena u fazi busanja (GS23-25 po Zadoks i sur. 1974.) i iznosila je 50 kg N/ha, dok je druga prihrana s također 50 kg N/ha provedena u fazi vlatanja (GS33-35 po Zadoks i sur. 1974.). Navedena količina prihrane odabrana je zbog toga što je to uobičajena doza u uzgoju pšenice. Također, kako je standardna praksa u komercijalnoj proizvodnji u Republici Hrvatskoj, u pokusima su za suzbijanje korova, insekata i lisnih bolesti korišteni su dopušteni herbicidi, insekticidi te fungicidi. Prije sjetve, na svakoj lokaciji je provedeno uzorkovanje tla na dubini do 30 cm i 60 cm kako bi se odredio sadržaj mineralnog dušika (N_{min}) u tlu.

2.2. Analiza biljnog materijala

Visina biljka (PH), od razine zemlje do vrha klasa, je mjerena običnim metrom u središnjem djelu svake parcele u fazi pune zriobe (GS 92). U istoj fazi svaka parcela je ovršena zasebno pomoću kombajna za male parcele te je izmjeren prinos i sadržaj vlage u zrnu. Prinos zrna sa

svake parcele je određen je vaganjem, a sadržaj vlage određen je iz poduzorka zrna mase cca 500 g na uređaju DICKEY JOHN GAC 2100 Agri. Podaci o prinosu po hektaru (GY) dobiveni su preračunavanjem prinosa dobivenog na površini parcele na jedinicu hektra pri sadržaju vlage od 0%. Sadržaj proteina u zrnju (GPC) je mjeren na uređaju Infratec 1241 Grain Analyzer (FOSS, Denmark).

2.2.1. Uzorkovanje biljnog materijala za određivanje sadržaja dušika

Uzorci za analizu sadržaja dušika uzeti su u dva navrata. Prvi put u vrijeme cvatnje (GS 63-65), a drugi prije žetve (GS 92). Unutar svake parcele, pomoću drvenog štapnog metra je izmjerena duljina od jedan metar reprezentativnog uzorka, koji se potom pomoću srpa požeo i spremio u papirnate vrećice. Uzorci su potom vagani te je iz njih uzet poduzorak mase otprilike 100 g čija je točna masa određena vaganjem. Poduzorci su sušeni dva dana na temperaturi 70°C te ponovno vagani. Suhi uzorci su zatim grubo usitnjeni na modificiranom stroju za mljevenje zrna. Za kemijsku analizu biljne tvari, grubo samljevene poduzorke dodatno se usitnilo na laboratorijskom mlinu do veličine <200 µm. Iz prikupljenih podataka određena je ukupna suha biomasa nadzemnog dijela biljaka po hektaru u fazi cvatnje (DMTA_F). Razlika u pripremi uzoraka uzetih u cvatnji i prije žetve je bila ta da je kod uzoraka uzetih prije žetve izuzeto zrno. Klasovi su se nakon sušenja poduzorka odstranili od stabljike te su se zasebno ovršili. Zrno se odvojilo i izvagalo, a preostala pljeva se spojila sa stabljikama koje su išle na usitnjavanje. Kod uzoraka uzetih u cvatnji kompletan nadzemni dio biljke bio je osušen i samljeven. Iz prikupljenih podataka određena je ukupna suha biomasa nadzemnog dijela biljaka po hektaru u fazi pune zriobe (DMSA), žetveni indeks (HI).

2.2.2. Razaranje biljnog materijala

Prije samog određivanja dušika, uzorke je potrebno „razoriti“, to jest digestirati. Razaranje se provelo postupkom mokre digestije tako da se odvagalo približno jedan gram fino samljevenog uzorka (odvaga na 4 decimalna mjesta), a točna odvaga se zapisala. Uzorak se prenio u posebnu staklenu kivetu za razaranje te se prelio s 5 mL smijese sumporne i perklorne kiseline. Smijesa za razaranje je napravljena miješanjem 40 mL koncentrirane perklorne kiseline ($w(\text{HClO}_4)=70,5\%$) sa 960 mL koncentrirane sumporne kiseline ($w(\text{H}_2\text{SO}_4)=96\%$). Preliveni uzorak je stajao otprilike 24 sata nakon čega se kiveta s uzorkom stavila u blok za razaranje koji je bio zagrijan na 360°C. Odmah nakon postavljanja u blok, u kivete se dodalo dva puta

po 5 mL koncentrirane otopine vodikovog peroksida ($w(\text{H}_2\text{O}_2)=30\%$). Digestija uzorka je trajala 30 minuta nakon čega su se uzorci ohladili. Ako sadržaj u kiveti nije bio bistar, po potrebi se dodalo još vodikovog peroksida te se nastavilo grijati. Nakon hlađenja, sadržaj kivete se kvantitativno prenio u odmjernu tikvicu od 100 mL te se nadopuno demineraliziranom vodom do oznake. Radi lakšeg transporta i skladištenja uzorci su iz tikvica preneseni u plastične bočice te su se čvrsto zatvorili. Digestija uzoraka napravljena je u Centralnom laboratoriju za agroekologiju i zaštitu okoliša na Fakultetu agrobiotehničkih znanosti Osijek.

2.2.3. Određivanje sadržaja dušika

Sadržaj dušika u suhom biljnom materijalu u cvatnji i pred žetvu je određen metodom po Kjeldhalu na uređaju Kjeltec 8200 (FOSS, Denmark) (Kjeldhal, 1883.). Volumen od 10 mL razorenog uzorka je otpipetiran u suhu i čistu kivetu za destilaciju. Kiveta se postavila u destilator koji je automatski dozirao 30 mL otopine natrijevog hidroksida ($w(\text{NaOH})=40\%$). Nakon toga slijedila je destilacija vodenom parom koja je trajala 3 minute. Destilat se prikupio u Erlenmeyerovu tikvicu u koju je destilator automatski dozirao 10 mL smjese otopine borne kiseline ($w(\text{H}_3\text{BO}_3)=2\%$) i pH indikatora (metiloranž i bromkrezolzeleno). Nakon destilacije sadržaj tikvice se titirao standardnom otopinom klorovodične kiseline (HCl) množinske koncentracije 0.1 mol/L do promjene boje indikatora.

Sadržaj dušika se određuje prema slijedećoj formuli:

$$\%N = \frac{(V_{UZORAK} - V_{BLANK}) * 1,4008(FAKTOR) * c(HCl)}{m_{UZORKA U ALIKVOTU (u g)}}$$

Dušik iz biljnog uzorka nakon digestije se nalazio u amonijskom obliku (NH_4^+). Dodatak natrijevog hidroksida uz zagrijavanje uzrokovao je nastajanje plinovitog amonijaka, jer jača baza istiskuje slabiju iz njezine soli. Amonijak kao plin koji je dobro topljiv u vodi reagira s bornom kiselinom i povećava pH. Smjesa borne kiseline i indikatora promijenila je boju iz tamnocrvene u zelenu kako se amonijak otapao. Suvišak amonijevih iona se titirao klorovodičnom kiselinom pri čemu je zelena boja prešla u ljubičastu. Iz prikupljenih podataka određen je sadržaj dušika u biljci u cvatnji (NT_F) i sadržaj dušika u suhoj slami (NS).

2.3. Analiza agronomskih svojstava

U ovom istraživanju obrađeno je 22 agronomska svojstva kako bi se odredio odziv na različite razine gnojidbe dušikom. Od 22 analiziranih agronomskih svojstava njih se sedam mjerilo direktno: prinos (GY), sadržaj proteina u zrnu (GPC), visina biljke (PH), masa suhe tvari nadzemnog djela biljke u cvatnji (DMTA_F), masa suhe tvari nadzemnog djela biljke u žetvi (DMSA), udio dušika u biljci u cvatnji (NT_F) i udio dušika u suhoj slami (NS). Agronomska svojstva koja su se mjerila direktno prikazana su s mjernim jedinicama u Tablici 2.

Tablica 2. Prikaz direktno mjerenih agronomskih svojstava s mjernom jedinicom

Svojstvo	Mjerna jedinica
Prinos (GY)	Kg DM/ha
Sadržaj proteina u zrnu (GPC)	%
Visina biljke (PH)	cm
Masa suhe tvari nadzemnog djela biljke u cvatnji (DMTA_F)	kgDM/ha
Masa suhe tvari nadzemnog djela biljke u žetvi (DMSA)	kgDM/ha
Udio dušika u biljci u cvatnji (NT_F)	%
Udio dušika u suhoj slami (NS)	%

Preostala agronomska svojstva su se računala koristeći mjerena agronomska svojstva. Njihov popis s formulom za računanje i mjernom jedinicom prikazan je u Tablici 3. Žetveni indeks (HI) dobio se iz omjera mase suhog zrna u poduzorku te mase samog suhoga poduzorka u žetvi. Ukupan sadržaj dušika u zrnu (GNY) predstavlja umnožak prinosa zrna (GY), sadržaja proteina u zrnu (GPC) u decimalnom obliku i faktora za korekciju (5,7). Ukupni dušik u nadzemnom djelu biljke u cvatnji (NTA_F) je umnožak NT_F i DMTA_F. Ostala agronomska svojstva koja su se računala su: količina dušika u suhoj slami (NSA), ukupan dušik u nadzemnom djelu biljke u žetvi (NTA), ukupan dušik dostupan usjevu (NTAmax) i dušični žetveni indeks (NHI), učinkovitost korištenja dušika (NUE), učinkovitost usvajanja dušika (NUpE), učinkovitost iskorištenja dušika (NUE), učinkovitost iskorištenja dušika za protein (NUE_PROT), učinkovitost korištenja dušika za protein (NUE_PROT), učinkovitost remobilizacije dušika (NREM), učinkovitost proizvodnje biomase (BPE) i usvajanje dušika poslije cvatnje (PANU). NSA predstavlja umnožak NS i DMSA, dok NTA pokazuje umnožak NSA i GNY. NTAmax predstavlja 95ti percentil NTA za svaku ispitivanu okolinu. NHI pokazuje omjer GNY i NTA, dok se NUE računa kao omjer GY i NTAmax. NUE je omjer GY i NTA, a NUpE je omjer NTA i NTAmax. Analogno NUE i NUE, za računanje NUE_PROT i NUE_PROT se umjesto

GY koristi GPC. NREM se računa kao razlika između NTA_F i NSA podjeljena s NTA_F, dok se BPE računa kao zbroj GY i DMSA podjeljen s NTA. PANU je razlika između NTA i NTA_F.

Tablica 3. Izračunata agronomska svojstva s formulom računanja i mjernom jedinicom

Svojstvo	Formula za računanje	Mjerna jedinica
Žetveni indeks (HI)	$HI = \frac{m_{\text{zrno poduzorak}}}{m_{\text{poduzorak}}}$	%
Ukupni dušik u nadzemnom djelu biljke u cvatnji (NTA_F)	$NTA_F = NT_F * DMTA_F$	kgN/ha
Ukupni dušik u suhoj slami (NSA)	$NSA = NS * DMSA$	kgN/ha
Ukupni dušik u zrnu (GNY)	$GNY = \frac{GPC}{100} * 5,7 * GY$	kgN/ha
Ukupan dušik u nadzemnom djelu biljke u žetvi (NTA)	$NTA = NSA + GNY$	kgN/ha
Ukupan dušik dostupan usjevu (NTA _{max})	$NTA_{max} = 95\text{percentil } NTA$	kgN/ha
Dušični žetveni indeks (NHI)	$NHI = \frac{GNY}{NTA}$	%
Učinkovitost korištenja dušika (NUE)	$NUE = \frac{GY}{NTA_{max}}$	kg DM/kg N
Učinkovitost usvajanja dušika (NU _p E)	$NU_pE = \frac{NTA}{NTA_{max}}$	%
Učinkovitost iskorištenja dušika (NU _t E)	$NU_tE = \frac{GY}{NTA}$	kg DM/kg N
Učinkovitost iskorištenja dušika za protein (NU _t E_PROT)	$NU_tE_PROT = \frac{GPC}{NTA}$	% protein/kg N ha
Učinkovitost korištenja dušika za protein (NUE_PROT)	$NUE_PROT = \frac{GPC}{NTA_{max}}$	% protein/kg N ha
Učinkovitost remobilizacije dušika (NREM)	$NREM = \frac{NTA_F - NSA}{NTA_F} * 100$	%
Učinkovitost proizvodnje biomase (BPE)	$BPE = \frac{GY + DMSA}{NTA}$	kg DM/kg N
Usvajanje dušika poslije cvatnje (PANU)	$PANU = NTA - NTA_F$	kg N/ha

2.4. Statistička obrada podataka

Sve statističke analize provedene su u računalnom programu R (R Development Core Team 2013.). U obradi podataka korištena su tri linearna modela opisanih kod Cormier i sur. (2013). Prvi linearni model u kojem su srednje vrijednost najmanjih kvadrata računat je koristeći sorte i replikacije kao fiksni faktori:

$$Y_{ij} = \mu + REP + GEN_i + \varepsilon$$

Y_{ij} je fenotip genotipa i u analizi svake pojedine kombinacije lokacije, sezone i dušičnog tretmana, μ je opći prosjek, REP je fiksni efekt replikacije, GEN_i je fiksni efekt genotipa i , a ε su reziduali. Tako dobivene prilagođene srednje vrijednosti su korištene u ostala dva modela kako bi se odredio doprinos glavnih faktora i efekt interakcija.

Drugi linearni model:

$$Y_{ijl} = \mu + N_l + GEN_i + ENV_j + N_l \times GEN_i + N_l \times ENV_j + GEN_i \times ENV_j + \varepsilon_{ijl}$$

Y_{ijl} je fenotip genotipa i u okolini j pri dušičnom tretmanu l (0 kg/ha ili 100 kg/ha dodanog dušika u prihrani), μ je opći prosjek, N_l je fiksni efekt dušičnog tretmana l , GEN_i je nasumični aditivni efekt genotipa i , ENV_j je nasumični efekt okoline j (kombinacija sezone i lokacije), $N_l \times GEN_i$; $N_l \times ENV_j$; $GEN_i \times ENV_j$ su nasumične interakcije, ε_{ijl} su reziduali.

Treći linearni model:

$$Y_{ij} = \mu + GEN_i + ENV_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} je fenotip genotipa i u okolini j u pojedinom dušičnom tretmanu kroz okoline, μ je opći prosjek, GEN_i je nasumični aditivni efekt genotipa i , ENV_j je nasumični efekt okoline j (kombinacija sezone i lokacije), ε_{ij} su reziduali.

Procjena komponenti varijance i testiranje njihovih značajnosti provedena je u računalnom programu R koristeći *lme4* paket.

Heritabilnost za sva agronomska svojstva je računata po formuli Cullis i sur. (2006.):

$$H = 1 - PEV / (2 \times \sigma_g^2)$$

Gdje je H generalizirana heritabilnost, PEV je prosječna *pairwise prediction* greška varijance, average pairwise prediction error variance, a σ_g^2 slučajna genetička varijanca. Genetička korelacija (r_g) između istog ispitivanog svojstva pri dvije različite gnojidbe će se računati prema formuli:

$$r_g = Cov_{trait\ LN:HN} / \sqrt{(\sigma_{g-trait\ LN}^2 \times \sigma_{g-trait\ HN}^2)}$$

Gdje je $\text{Cov}_{\text{trait LN:HN}}$ kovarijanca između dvije razine gnojidbe za isto svojstvo, $\sigma^2_{\text{g-trait LN}}$ slučajna genetička varijanca za isto svojstvo pri niskoj razini dušika, a $\sigma^2_{\text{g-trait HN}}$ – slučajna genetička varijanca za određeno svojstvo pri visokoj razini dušika. Izračun generalizirane heritabilnosti i genetičke korelacije proveden je u računalnom programu R koristeći paket *sommer*.

Predviđeni korelirani odziv svojstva u uvjetima niske opskrbljenosti dušikom sa selekcijom temeljenom na prosjeku svojstva u uvjetima visoke razine opskrbljenosti (CR_{LN}) relativan prema predviđenom odzivu za direktnu selekciju u uvjetima niske razine dušika (R_{LN}) je izračunati prema formuli iz Falconer i Mackay (1996.):

$$CR_{LN}/R_{LN} = r_g \times \sqrt{(H_{HN}/H_{LN})}$$

Gdje je r_g genetička korelacija između prosjeka za određeno svojstvo pri obe razine gnojidbe, dok je H_{HN} i H_{LN} generalizirana heritabilnost pri uvjetima visoke i niske opskrbljenosti dušikom. Kako bi se izbjegla pristranost, dopušten je prijelaz gornje granične vrijednosti 1 za vrijednosti procijenjene genetičke korelacije, dok su inače ograničena na ≤ 1 kako bi se dobile razumne vrijednosti indirektna selekcije.

Linearna regresija između godine priznavanja sorte i ispitivanih agronomskih svojstava izračunata je na temelju prilagođenih srednjih vrijednosti, dok je linearna regresija između NUE i njegovih komponenti (NUE i NUpE) i prinosa i sadržaja proteina u zrnju računata koristeći najbolje linearne nepristrane predikcije (BLUP vrijednosti).

Također i ovi izračuni provedeni su u računalnom programu R koristeći funkciju *lm* te pakete *ggplot2* *ggmisc* i *ggpubr*.

2.5. Izračun selekcijskih indeksa u stresnim uvjetima

Dva agronomska svojstva (prinos (GY) i sadržaj proteina u zrnju (GPC)) za svih 48 sorti ozime pšenice, pri stanju visoke i niske opskrbljenosti dušikom, su korištena u analiziranju selekcijskih indeksa u stresnim uvjetima. Ispitivani selekcijski indeksi u stresnim uvjetima su: prosječna produktivnost (MP), geometrijska prosječna produktivnost (GMP), harmonijska produktivnost (HM), indeks tolerantnosti na stres (STI), indeks prinosa (YI), indeks stabilnosti prinosa (YSI), indeks relativnog stresa (RSI), tolerantnost (TOL), indeks osjetljivosti na stres

(SSI). Detaljan prikaz selekcijskih indeksa u stresnim uvjetima i formule za računanje nalazi se u Tablici 4. Oznaka Y_p je vrijednost agronomskog svojstva pri uvjetima optimalne opskrbljenosti dušikom, Y_s vrijednost svojstva pri niskoj opskrbljenosti za pojedinu sortu pšenice. Y_{mp} i Y_{ms} predstavljaju srednje vrijednosti svojstva za sve ispitivane sorte pri optimalnim i uvjetima niske opskrbljenosti, kako je naznačeno.

Tablica 4. Seleksijski indeksi u stresnim uvjetima i formule za računanje

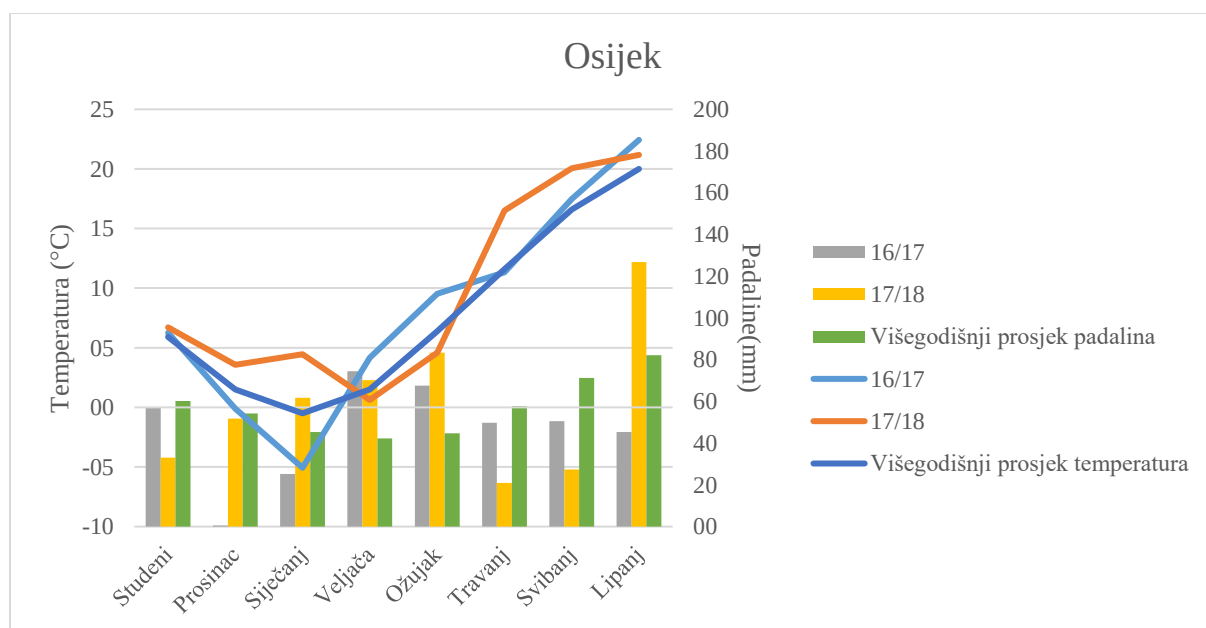
Seleksijski indeks u stresnim uvjetima	Formula
Prosječna produktivnost (MP)	$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$
Geometrijska prosječna produktivnost (GMP)	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$
Harmonijska produktivnost (HM)	$HM = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_s + Y_p}$
Indeks tolerantnosti na stres (STI)	$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{Y_{mp}^2}$
Indeks prinosa (YI)	$YI = \frac{Y_s}{Y_{ms}}$
Indeks stabilnosti prinosa (YSI)	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$
Indeks relativnog stresa (RSI)	$RSI = \frac{\frac{Y_s}{Y_p}}{\frac{Y_{ms}}{Y_{mp}}}$
Tolerantnost (TOL)	$TOL = Y_p - Y_s$
Indeks osjetljivosti na stres (SSI)	$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI} \quad SI = 1 - \frac{Y_{ms}}{Y_{mp}}$

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Vremenske prilike na ispitivanim lokacijama

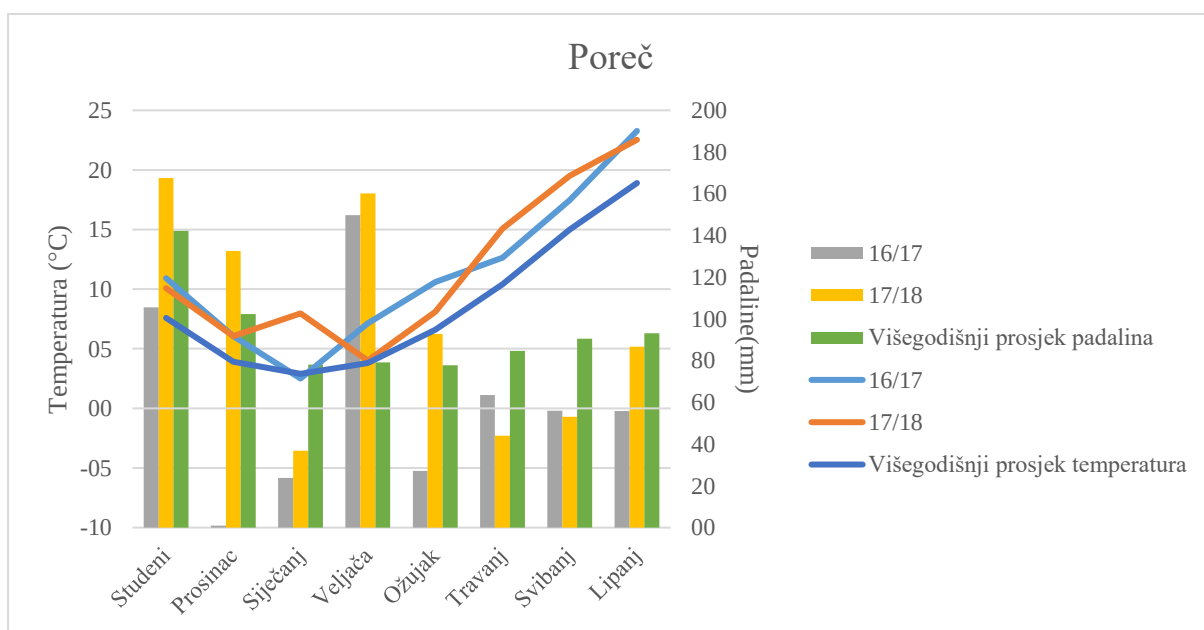
Na razvoj pšenice veliki utjecaj imaju vremenski uvjeti naročito temperatura zraka i količina padalina. Vremenske prilike su se razlikovale na ispitivanim lokacijama kroz vegetacijske sezone. Udaljenost između lokacija je relativno velika i svaka ima posebno klimatsko okruženje. Lokacije Osijek i Zagreb su pod utjecajem kontinentalne klime, dok je Poreč zbog blizine Jadranskog mora pod utjecajem mediteranske klime.

Temperature i količine padalina za lokaciju Osijek kroz vegetacijske sezone 2016/2017. te višegodišnji prosjek temperatura i padalina prikazani su na Grafikonu 1. Višegodišnji prosjek temperatura i padalina obuhvaća razdoblje od 1899-2024. Najhladniji mjesec bio je siječanj 2017. godine sa prosječnom temperaturom od -5°C što je 4.5°C niže od višegodišnjeg prosjeka. U istom mjesecu 2018. godine prosječna temperatura je iznosila 4.5°C što je za 5°C više od višegodišnjeg prosjeka, no u veljači se snizila na 0.6°C . Veljača i ožujak 2017. godine su bili nešto topliji od prosjeka, a travanj i svibanj 2018. godine su bili topliji za oko 5°C od prosjeka. Najkišovitiiji mjesec bio je lipanj 2018. s 126 mm oborina (44 mm više od prosjeka). Godinu ranije palo je svega 45 mm oborina. Veljača i ožujak u obe sezone bile su kišovitiije od prosjeka, a prosinac i siječanj prve sezone bili su gotovo bez padalina.



Grafikon 1. Walterov klima dijagram za Osijek kroz vegetacijske sezone 2016/17 i 2017/18

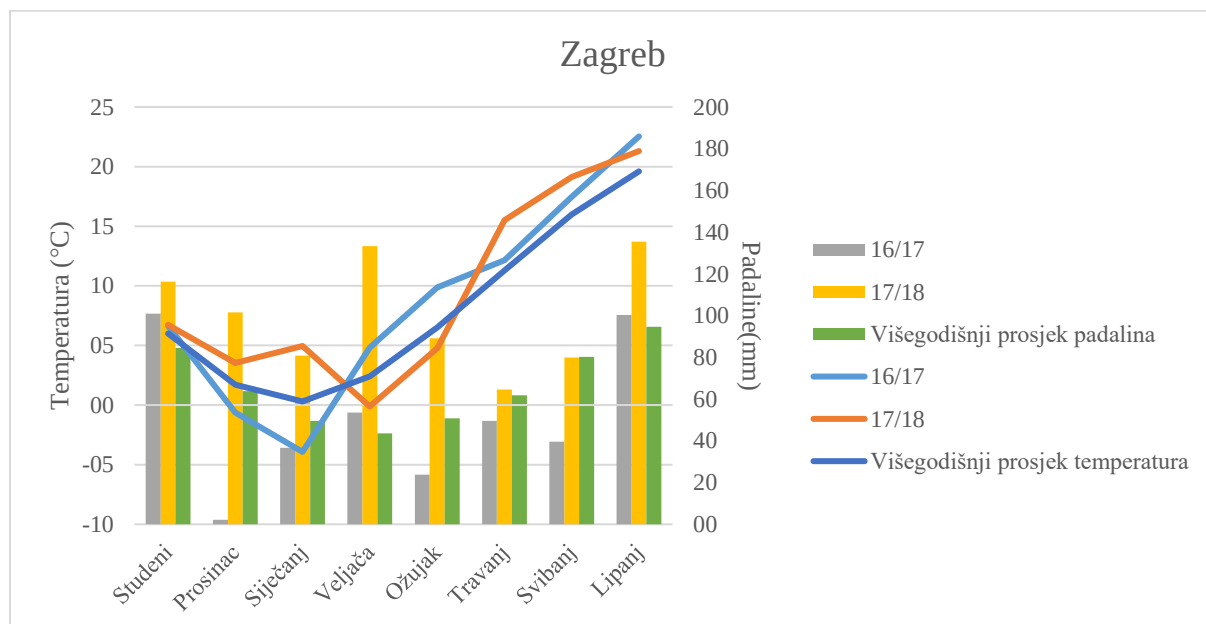
Temperature i količine padalina za lokaciju Poreč kroz vegetacijske sezone 2016/2017. te višegodišnji prosjek temperatura i padalina prikazani su na Grafikonu 2. Višegodišnji prosjek temperatura i padalina obuhvaća razdoblje od 1961-2024. Temperature u Poreču u obe sezone se nisu spuštale ispod 0°C. Najhladniji mjesec bio je siječanj 2017. godine sa prosječnom temperaturom od 3°C koja odgovara prosječnoj višegodišnjoj temperaturi za siječanj, dok je 2018 godine prosječna temperatura iznosila 8°C. U veljači iste godine prosječna temperatura se spustila na 4°C koja je u skladu s prosječnom. Svi preostali mjeseci u vegetacijskim sezonama su imali više prosječne temperature od višegodišnjih prosjeka za 1.5 do 4.7°C. Siječanj, travanj, svibanj i lipanj u obe sezone imali su manje padalina od višegodišnjeg prosjeka padalina dok je u veljači pala dvostruko veća količina. U ožujku 2017. palo je 27 mm oborina što je 50 mm manje od višegodišnjeg prosjeka. Najviše padalina palo je u studenom 2017. godine i to 168 mm, 26 mm više od višegodišnjeg prosjeka.



Grafikon 2. Walterov klima dijagram za Poreč kroz vegetacijske sezone 2016/17 i 2017/18

Temperature i količine padalina za lokaciju Zagreb kroz vegetacijske sezone 2016/2017. te višegodišnji prosjek temperatura i padalina prikazani su na Grafikonu 3. Višegodišnji prosjek temperatura i padalina obuhvaća razdoblje od 1949-2024. Temperature kroz obe vegetacijske sezone su vrlo slične temperaturama za Osijek. Najhladniji mjesec bio je siječanj 2017. godine sa prosječnom temperaturom od -4°C što je 4.3°C niže od višegodišnjeg prosjeka. U istom mjesecu 2018. godine prosječna temperatura je iznosila 4.9°C. Temperatura u veljači 2018. godine se snizila na -0.1°C što je 2.5°C niža od prosjeka, a 2017. godine je bila 4.8°C. Ostatak 2017. godine je bio nešto topliji od prosjeka, a travanj i svibanj 2018. godine su bili topliji za

oko 4°C od prosjeka. Najkišovitiji mjeseci bili su veljača sa 133 mm oborina i lipanj 2018. s 135 mm oborina. Lipanj 2017. godine je bio također najkišovitiji u drugoj sezoni sa 100 mm oborina (5 mm više od prosjeka). U ožujku i svibnju 2017. godine palo je dvostruko manje padalina od prosjeka. Najmanje padalina 2018. godine palo je u travnju (65 mm).



Grafikon 3. Walterov klima dijagram za Zagreb kroz vegetacijske sezone 2016/17 i 2017/18

Uspoređujući prosječne temperature za cijelu sezonu za sve tri lokacije kroz obe vegetacijske sezone vidljivo je da su one više od višegodišnjih prosječnih temperatura. Najviše razlike su za lokaciju Poreč gdje je prosječna temperatura viša za 2.7°C za sezonu 2016/2017 i 3.1°C za sezonu 2017/2018 od višegodišnje prosječne temperature koja iznosi 8.6°C (od studenog do lipnja). Lokacije Osijek i Zagreb su imale vrlo slične prosječne temperature kroz obe vegetacijske sezone. Siječanj i travanj 2017. godine u Osijeku su bili hladniji za 1°C, a travanj i svibanj 2018 godine su bili topliji za 1°C od istih mjeseci u istoj sezoni u Zagrebu. Prosječne višegodišnje temperature kroz vegetacijsku sezonu (od studenog do lipnja) za lokacije Osijek i Zagreb iznose 8°C. Prva vegetacijska sezona je toplija za 0.3°C u Osijeku i 0.6°C u Zagrebu dok je druga sezona toplija za 1.8°C u Osijeku i 1.5°C u Zagrebu. Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda prva vegetacijska sezona je bila sušnija za sve tri ispitivane lokacije, to jest palo je manje padalina nego u višegodišnjem prosjeku. U Osijeku je palo 87.3 mm manje, u Poreču čak 265,2 mm, a u Zagrebu 122,7 mm. U drugoj vegetacijskoj sezoni na svim lokacijama palo je više padalina od višegodišnjeg prosjeka. Najviše padalina palo je Zagrebu (801,1 mm), dvostruko više nego u prvoj sezoni. Svega 17.4 mm više od višegodišnjeg prosjeka oborina je palo u Osijeku, a 25.9 mm u Poreču.

3.2. Svojstva tla i sadržaj dušika na ispitivanim lokacijama

Osim što se ispitivane lokacije razlikuju po klimatskim uvjetima, također se razlikuju i po tipu tla koji prevladava na tom području. U Osijeku je prisutan eutrični kambisol, u Poreču je prisutna crvenica (Terra rosa), a u Zagrebu karbonatno aluvijalan tip tla. Sadržaj mineralnog dušika određen je kemijskim putem iz jesenskog uzorka tla uzetog sa svake lokacije. Opis tipa tla i količine mineralnog dušika na tlu lokacija te količine dodanog gnojiva prikazane su u Tablici 5. Najviše mineralnog dušika bilo je prisutno u Poreču u drugoj vegetacijskoj sezoni, a najmanje također u Poreču u prvoj vegetacijskoj sezoni. Na svim lokacijama sadržaj mineralnog dušika u tlu veći u drugoj vegetacijskoj sezoni od prve.

Tablica 5. Sadržaj mineralnog dušika u tlu, dodane količine dušika osnovnom gnojidbom i prihranama, ukupna količina dušika te NTAmox po lokacijama i vegetacijskim sezonama

Lokacija	Tip tla	Sezona	Nmin u tlu (kg N/ha)	Osnovna gnojidba (kg N/ha)	Prihrana (kg N/ha)		Ukupno N (kg N/ ha)		NTAmox (kg N/ ha)	
					LN	HN	LN	HN	LN	HN
Osijek	Eutrični kambisol	2016/17	20	74	0	50+50	94	194	225	262
		2017/18	42	74	0	50+50	116	216	168	226
Poreč	Crvenica	2016/17	14	74	0	50+50	88	188	122	158
		2017/18	44	74	0	50+50	118	218	159	234
Zagreb	Karbonatno aluvijalno	2016/17	27	74	0	50+50	101	201	201	235
		2017/18	38	74	0	50+50	112	212	221	249

3.3. Utjecaj genotipa na agronomska svojstva pri LN i HN

U ovom istraživanju ispitao se odziv 48 genotipova ozime pšenice na 15 agronomskih svojstava u 6 okolina (tri lokacije u dvije godine) pri dvije razine gnojidbe dušikom. Rezultati BLUP vrijednosti za svaki genotip po lokaciji, godini i razini dušika prikazani su u Prilozima (Dodatna tablica 1-12), a srednje vrijednosti agronomskih svojstava za svaki genotip pri LN i HN prikazane su u tablici 6. Kao dva najistaknutija kultivara izdvajaju se Sofru i U-1. Kultivar Sofru ima najviše vrijednosti pri oba N-tretmana za GY, NUE i NUtE, pri LN za HI i minimalnu vrijednost pri HN za GPC. Kultivar U-1 je najviši od svih ispitivanih te ima najviše vrijednosti pri oba N-tretmana za GPC, a najniže vrijednosti GY, NHI, GNY, NUE i NUtE. Kultivar Bezostaja-1 se ističe po najnižim vrijednostima pri HN za PANU, NTA i NUpE. Kultivar Kraljica ima najvišu vrijednost GNY za oba tretmana te pri HN za NTA i NUpE, dok Silvija ima najviše vrijednosti pri LN za NTA i NUpE. BC Opsesija ima najviše vrijednosti za NHI i BPE, a OS Olimpija ima minimalne vrijednosti za BPE pri oba tretmana. Srpanjka je najniži ispitivani kultivar.

Tablica 6. Vrijednosti agronomskih svojstava za pojedini kultivar pri LN i HN

Kultivar	N-razina	GY	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	LN	6229.322	10.91667	72.77833	51	85.77833	123.43	144.0067	34.57167	78.66667	44.505	0.061667	0.08	62.44667	100.2283	72.695
ANDJELKA	HN	6985.137	12.55667	72.61	54.57333	83.65667	152.2233	181.5433	30.61	79.16667	39.06333	0.058333	0.071667	71.83333	78.88833	55.58167
BC ANICA	LN	5992.517	11.08333	76.66667	49.98	85.34667	119.74	139.935	32.735	75.5	43.91833	0.063333	0.086667	69.77667	96.44667	62.545
BC ANICA	HN	7060.922	12.71167	78.11333	52.13	86.00833	156.8683	182.8833	31.13167	79.83333	39.015	0.058333	0.071667	69.945	87.90667	67.28333
BC BERNARDA	LN	5993.407	11.14833	81.94333	41.77667	80.05167	120.1467	149.8	34.055	83.83333	40.93167	0.063333	0.106667	64.50167	111.4667	64.11
BC BERNARDA	HN	6796.903	12.81667	83.83333	43.09	77.54333	151.8017	197.9733	30.03333	86.33333	35.47	0.058333	0.068333	62.77833	88.48833	76.21167
BC CERTISSA	LN	5979.625	9.8	76.11	48.105	83.97667	107.8033	128.0817	32.7	69.16667	48.29833	0.055	0.085	69.66833	114.03	49.785
BC CERTISSA	HN	6811.152	11.78667	76.77833	49.92167	82.66167	137.7383	167.2883	30.11167	73.33333	41.28333	0.053333	0.073333	69.445	92.73167	54.49833
BC DARIJA	LN	6294.942	11.17167	77.835	48.16	85.36667	125.8633	147.5533	34.905	80.83333	43.645	0.065	0.076667	69.445	100.9617	59.73
BC DARIJA	HN	7179.537	12.605	79.77833	51.365	84.69	158.2967	187.045	31.445	81.5	38.69	0.058333	0.07	72.945	81.17833	61.40167
BC IRENA	LN	6118.543	10.94667	83.555	47.96333	85.78167	122.2367	142.5433	34.10167	77.83333	44.34	0.06	0.078333	69.055	107.85	59.97667
BC IRENA	HN	6584.877	13.03333	85.66833	49.40833	83.19333	147.9367	179.0267	29.18833	78.33333	37.65667	0.058333	0.075	70.88833	89.95667	55.97
BC IRMA	LN	6598.482	10.93833	82.22167	46.05	83.91333	128.3117	152.385	36.29167	83.16667	44.08	0.063333	0.075	69.55667	101.6067	58.23833
BC IRMA	HN	7189.545	13.05333	81.55667	46.22833	83.895	165.7117	199.645	31.59333	86.83333	36.94667	0.06	0.07	68.94333	92.65333	65.61167
BC LORENA	LN	6155.915	11.12333	77.88833	48.25167	85.94333	121.9867	141.715	33.59167	76.66667	44.19167	0.063333	0.083333	59.61	101.95	63.37
BC LORENA	HN	6941.26	13.01167	79.28	50.17167	84.39667	159.295	188.3217	30.17833	81.66667	37.25333	0.06	0.076667	71.16833	82.845	63.18333
BC LJEPOTICA	LN	6662.8	10.52167	73.22167	48.63333	82.56667	124.6	150.9067	36.645	82.16667	44.685	0.06	0.078333	56.835	104.6417	66.56333
BC LJEPOTICA	HN	7451.955	12.14667	73.555	52.025	84.21667	158.0733	188.58	32.765	82.33333	40.21	0.053333	0.071667	69	88.01833	56.88167
BC OPSESIJA	LN	6912.492	10.47333	79.16667	49.2	87.00667	133.8683	154.0883	38.27	83.16667	46.71	0.06	0.071667	74.33333	106.425	57.24
BC OPSESIJA	HN	7652.1	12.18	79.16667	51.92833	82.02	159.0633	196.4183	33.78	85.83333	39.76667	0.055	0.065	65.5	84.94333	67.41
BC TENA	LN	4839.037	12.22333	87.16833	40.76667	81.42333	106.0617	129.72	26.25667	69.66667	38.19667	0.068333	0.105	51.38833	115.0517	57.11333
BC TENA	HN	5349.47	14.19333	86.61167	43.60667	81.36167	133.33	162.885	23.185	70.66667	32.72333	0.063333	0.105	71.11167	88.18167	67.13833
BEZOSTAJA-1	LN	4673.95	12.16667	103.0567	38.115	79.30333	102.835	129.2333	26.265	71	37.21333	0.07	0.101667	61.44333	112.2117	44.44333
BEZOSTAJA-1	HN	5093.058	13.92167	110.8333	40.92667	80.66833	122.5983	152.4567	22.76833	67.5	33.675	0.061667	0.096667	70.16667	98.29	28.80333
BOLOGNA	LN	5466.758	11.105	80.61	40.77167	79.82	108.8133	136.0833	30.24167	74.66667	40.97833	0.063333	0.086667	64.88833	107.2783	48.03333
BOLOGNA	HN	6366.662	12.80667	82.16833	47.57833	80.72167	141.73	176.11	28.52833	78.33333	36.43333	0.056667	0.071667	66.77667	83.67	60.625
CALISOL	LN	6424.528	9.82	86.88833	49.65167	84.09	117.6717	140.4533	35.37	75.83333	47.54	0.055	0.076667	70.49833	112.2267	43.77333
CALISOL	HN	7394.647	11.845	88.78	49.92	82.315	147.5517	180.8517	33.00333	80.5	41.47833	0.051667	0.068333	68.33167	92.53	53.83333
DROPIA	LN	5788.075	11.8	87.55667	47.12667	84.02	123.8933	147.3383	31.85667	79.83333	40.27667	0.066667	0.086667	67.88833	96.655	55.60667
DROPIA	HN	6501.237	13.49333	87.38833	47.71833	83.08667	152.4483	182.61	28.585	80.33333	35.85333	0.06	0.078333	67.77667	85.83833	65.74333
FELIX	LN	5977.505	11.64333	73.99833	49.38167	84.22333	123.5867	146.135	32.82833	79.16667	41.89167	0.063333	0.085	65.16667	92.40333	74.29333
FELIX	HN	6700.013	13.22167	75	51.64667	85.01167	156.9467	185.3067	29.13167	80	36.69833	0.06	0.08	67.72167	84.53167	66.915
FICKO	LN	5767.818	11.35	84.335	42.35333	80.07833	118.095	147.5333	31.87833	81.33333	39.89333	0.065	0.081667	62.5	106.1683	58.84167
FICKO	HN	6916.122	13.32	86.11333	47.61167	80.20167	160.2733	197.4	30.14167	86.16667	35.215	0.06	0.071667	60.945	80.595	80.72167
FLAMURA 85	LN	5857.098	11.405	91.49833	46.635	84.53167	115.1433	136.3117	32.39167	74.33333	44.06667	0.065	0.091667	66.055	111.1183	50.135

FLAMURA 85	HN	6059.118	13.12833	91.22167	48.66	84.61167	143.8717	169.8167	26.84	74.5	36.00333	0.06	0.083333	71.77667	88.28833	46.24167
FORCALI	LN	5883.863	12.18833	82.11167	42.445	81.21167	127.2283	156.255	32.37167	85.16667	38.335	0.07	0.081667	61.5	95.99	66.47667
FORCALI	HN	6489.727	14.38333	81.555	47.52	83.97167	165.1883	195.6233	28.72167	86.33333	33.26667	0.065	0.076667	75.66667	79.27167	59.14833
GALLOPER	LN	6023.787	10.42833	94.33333	44.35833	83.35333	110.4983	132.9733	33.57167	73.16667	46.22	0.061667	0.08	69.83333	118.46	49.67667
GALLOPER	HN	6295.537	12.21167	98.11	48.21167	83.955	135.815	162.1267	28.095	71.66667	39.36333	0.055	0.076667	65.83167	99.02333	53.33167
GOLUBICA	LN	5525.492	11.685	84.72167	45.55333	83.26	115.7017	138.3767	30.65167	75.66667	40.75667	0.066667	0.088333	68.16833	98.58833	45.665
GOLUBICA	HN	6258.477	14.49333	85.33333	44.99167	82.34333	160.0333	195.3833	27.48667	84.83333	32.83667	0.066667	0.08	72.77833	78.745	60.05
GRAINDOR	LN	6650.683	9.926667	90.72167	47.51333	84.92833	120.94	141.5883	36.98667	76.83333	48.43333	0.055	0.073333	67.33167	114.3483	57.54833
GRAINDOR	HN	7005.587	11.87333	91.66667	50.29667	84.28	143.015	170.445	30.83667	74.5	41.81167	0.05	0.071667	73.88833	94.45	45.32167
ISENGRAIN	LN	6692.862	10.30667	84.945	47.06333	82.795	124.3233	149.205	37.07667	82	45.565	0.058333	0.071667	66.05667	126.665	112.6267
ISENGRAIN	HN	7360	11.57667	85.55667	47.40833	79.525	147.155	186.3883	32.47333	81.5	40.08167	0.05	0.07	68.44333	89.47667	57.98
KATARINA	LN	6197.263	11	72.66833	49.87	84.77333	122.7883	144.5117	33.54333	77.16667	44.185	0.061667	0.145	65.665	108.77	66.185
KATARINA	HN	7382.643	12.72833	72.11167	55.5	85.005	164.7267	194.715	32.71667	85.83333	38.49833	0.058333	0.066667	67.22167	78.15667	65.71667
KRALJICA	LN	6342.612	11.93167	78.665	48.33833	85.91167	135.1367	156.8117	34.72333	84.83333	41.25833	0.066667	0.081667	66.50167	96.38833	62.16167
KRALJICA	HN	6973.075	13.79	79.72167	46.13667	82.84167	169.3567	205.2883	30.75333	89.66667	34.57333	0.06	0.07	72.165	81.77	69.40333
LUKULLUS	LN	5805.958	11.89	99.055	41.73	83.80833	125.99	149.4167	32.03167	81.33333	39.645	0.065	0.085	57.33333	108.1317	79.37667
LUKULLUS	HN	6497.528	13.61667	102.5567	42.09	81.28333	152.5033	187.1383	28.36	81.5	34.875	0.06	0.078333	60.83167	97.76667	88.05167
MIHELCA	LN	5782.46	10.905	87.27667	46.55	84.72833	114.0117	134.2433	31.81167	72.66667	44.01667	0.061667	0.088333	69.83333	106.8767	57.03
MIHELCA	HN	5991.312	12.72667	86.72	49.32833	83.29833	132.0967	158.3417	26.145	69	38.09	0.056667	0.085	70.05667	92.70833	48.545
MV-NADOR	LN	6416.52	10.63833	73.16667	49.85333	83.19167	120.465	144.3117	35.34833	79	45.02167	0.06	0.08	61.5	98.435	62.88333
MV-NADOR	HN	6935.182	12.86	76.28	48.775	83	158.2767	192.2717	30.5	83.66667	36.75167	0.056667	0.071667	72.39	83.685	68.44333
MV-NEMERE	LN	6628.178	10.805	83.27667	47.20167	82.64	127.3683	153.6883	36.525	84.16667	43.61167	0.061667	0.075	63	96.27	117.6333
MV-NEMERE	HN	7512.102	12.46	83.55667	51.705	86.14833	163.545	189.3283	32.93833	83.16667	39.92833	0.055	0.068333	73.27667	87.685	65.38333
OS-CRVENKA	LN	5544.108	12.14667	87.945	44.34667	83.495	114.1267	137.6617	30.69667	75	41.05333	0.07	0.093333	70.11167	103.0067	44.07
OS-CRVENKA	HN	5901.37	14.17833	86.89	47.31833	82.70833	139.1317	168.2567	25.98833	74	35.27667	0.063333	0.088333	70.28	84.91667	54.71667
OS-JELENA	LN	6061.34	10.98833	88	45.58167	84.865	122.5567	144.3517	33.82833	78.83333	43.47333	0.061667	0.078333	64.50167	106.3733	62.98
OS-JELENA	HN	6523.03	12.88833	92.77833	47.645	84.14833	152.75	181.39	29.23667	80.5	36.46667	0.058333	0.075	70.445	84.63667	65.66833
OS-OLIMPIJA	LN	5033.662	12.98333	86.77833	44.68833	82.38	118.795	143.2817	27.75667	78.16667	35.79	0.075	0.095	66.22167	91.80667	51.04167
OS-OLIMPIJA	HN	5831.823	14.995	85.11167	45.01833	80.12333	155.09	193.5433	25.86333	85.16667	30.35833	0.068333	0.08	61.39	74.28333	62.80167
PRIMA	LN	6797.068	10.18333	88	47.43	83.93333	125.3633	149.055	37.99333	81.33333	46.915	0.058333	0.071667	71.72167	107.8017	43.11167
PRIMA	HN	7197.352	11.865	85.27667	45.76667	81.95833	148.345	181.4717	31.25833	78.5	40.77	0.056667	0.075	72.555	97.27833	48.62833
REBEKA	LN	5685.445	11.1	94.05833	47.11667	84.29333	114.32	135.4333	31.22167	73.16667	43.12167	0.061667	0.088333	64.77833	104.9733	48.35167
REBEKA	HN	6727.705	12.71167	96.88833	47.69667	85	148.535	175.1267	29.64167	77.66667	39.015	0.06	0.078333	71.11167	95.77833	49.845
RENAN	LN	5973.73	11.51	88.38833	42.715	79.91333	121.0333	151.7383	32.96667	83	39.915	0.065	0.076667	61.555	98.32167	70.1
RENAN	HN	6538.868	13.36667	90.33333	43.36667	80.31167	154.2383	191.9267	28.88333	84.5	34.29333	0.06	0.07	63.50167	87.04667	52.80833
SAN PASTORE	LN	5382.962	11.2	98.33333	44.175	83.84333	111.365	132.7217	30.15833	72.83333	41.76	0.063333	0.088333	65.61167	110.85	49.95667
SAN PASTORE	HN	6088.062	13.315	99.055	44.47	81.32833	137.3417	171.8167	27.06	75.83333	36.55667	0.06	0.081667	70.72333	93.02167	37.32
SANA	LN	5999.083	10.16167	82.89	45.56167	78.81667	109.4633	138.46	33.02833	75.33333	44.52333	0.055	0.078333	56.22167	102.1733	62.06667
SANA	HN	6483.413	11.89	79.89	50.58333	82.505	135.5117	164.6767	28.30167	71.16667	39.98	0.051667	0.08	69.44333	90.27833	55.67

SILVIJA	LN	6341.088	11.22667	78.38833	44.67167	81.01833	128.5283	157.815	35.17167	86.66667	40.795	0.061667	0.075	56.16667	96.28333	70.58
SILVIJA	HN	7190.353	12.8	79.27667	49.08167	83.755	160.3717	191.4283	31.59667	84.16667	38.12833	0.058333	0.068333	65.72333	85.9	77.185
SLAVONIJA	LN	5947.523	11.24833	76.66667	48.425	83.66	118.81	141.54	32.71333	76.5	42.97	0.061667	0.083333	68.77667	96.71167	49.37333
SLAVONIJA	HN	6640.193	12.955	76.83333	49.28833	84.14167	153.2967	182.5967	29.095	79.16667	37.015	0.058333	0.075	73.55667	84.72667	53.89333
SOFRU	LN	7181.71	10.03333	78.22167	53.30167	86.33667	129.39	149.955	40.405	82.83333	48.71333	0.056667	0.07	72.27667	99.80167	53.13833
SOFRU	HN	7887.212	11.56	78.055	53.555	84.70167	158.5567	186.46	34.745	81.66667	42.55333	0.051667	0.063333	75.61	86.93167	52.05833
SRPANJKA	LN	6044.43	11.30667	65.055	49.33833	85.07833	121.1683	142.935	33.47667	77.66667	43.675	0.061667	0.085	72.83333	101.2367	39.43167
SRPANJKA	HN	6872.415	13.22167	69.83333	49.185	84.23833	161.3217	191.7033	30.145	83.66667	36.35167	0.058333	0.075	72.22167	81.19167	62.34167
TIKA-TAKA	LN	6448.44	10.82333	84.89	48.61167	82.58333	126.07	151.5433	35.51333	82.5	43.51333	0.061667	0.073333	56.11	103.4933	64.33167
TIKA-TAKA	HN	7565.2	12.42333	88	50.125	82.04	164.2417	198.4717	33.30333	87.33333	38.26167	0.056667	0.065	65.99833	82.545	66.555
TOSUNBEY	LN	5149.338	11.61667	98.50167	43.62833	81.23833	109.1783	133.1633	28.55333	72.5	39.48333	0.061667	0.095	62.66667	106.2633	52.38
TOSUNBEY	HN	5924.468	12.98833	99.445	44.60333	80.32	132.3133	162.6167	25.70167	70.66667	36.82333	0.06	0.09	62.49833	96.11833	50.88167
U-1	LN	3921.982	12.98333	134.1667	29.92833	74.02333	89.05833	121.1667	21.87333	66.16667	33.45667	0.07	0.115	57.39167	124.8067	38.55167
U-1	HN	4262.13	15.215	139.055	28.22	66.59667	115.5617	189.3683	18.865	82	24.91667	0.068333	0.091667	59.83333	97.855	41.79667
VIKTORIA	LN	5877.875	12.20667	78.39	44.69	83.27667	125.095	149.9667	32.29167	81.83333	39.96167	0.068333	0.086667	70.11167	94.33	55.995
VIKTORIA	HN	6360.152	14.28167	79.77667	45.69667	80.07833	163.55	205.2433	27.69167	88.83333	31.82333	0.065	0.076667	65.77833	78.83	74
VULKAN	LN	6311.25	11.38333	88.66667	44.33333	84.11833	129.5283	153.96	35.35167	85.5	41.87833	0.065	0.076667	66.66667	98.44	69.95667
VULKAN	HN	7164.562	12.76167	84.94333	48.40667	83.09167	158.985	191.5667	31.20667	83.16667	37.71167	0.06	0.07	65.94333	88.57167	69.27333
WALDINGER	LN	6136.557	10.935	90.66667	49.69	86.13	126.7867	147.1433	34.53833	80.16667	43.18333	0.061667	0.078333	68.05667	98.42333	62.595
WALDINGER	HN	6876.658	12.645	89.16833	49.70333	83.58	143.9867	172.8667	30.83167	77.16667	39.99167	0.056667	0.073333	73.77833	89.185	50.005
ZLATNA DOLINA	LN	5558.98	11.05333	81.83333	45.47333	83.02167	109.7617	132.1717	30.82	72.33333	42.92333	0.063333	0.088333	67.05667	104.23	47.46667
ZLATNA DOLINA	HN	5787.613	12.75667	81.49833	47.12333	80.89667	129.3933	159.8217	25.565	70.33333	36.47167	0.058333	0.086667	65.05667	87.26667	58.06167

3.4. Utjecaj lokacije na agronomska svojstva pri LN i HN

Svaka ispitivana lokacija sa svojim agroekološkim uvjetima pridonosi varijaciji agronomskih svojstava. Kako bi se ispitao utjecaj lokacije i godine na agronomska svojstva pri različitim N-tretmanima izračunate su srednje vrijednosti svih genotipova za svako pojedino svojstvo pri različitim N-tretmanima. U tablici 7. prikazane su vrijednosti agronomskih svojstava za svaku lokaciju pri LN i HN kroz dvije vegetacijske sezone. U Dopunskoj tablici 13 nalaze se vrijednosti agronomskih svojstava po lokacijama i po godinama pri LN, a u Dopunskoj tablici 14 pri HN. Sva svojstva imala su normalnu distribuciju bez obzira na razinu dušika, iako se stupanj disperzije podataka razlikovao ovisno o kombinaciji svojstvo/dušik. Najveći prosječni prinos pri LN i HN ostvareni su u Zagrebu, a najmanji u Poreču. U Osijeku 2018. godine došlo je do značajnog pada prinosa za 2000 kg/ha, dok je u Poreču prinos porasao za 1400 kg/ha (Dopunske tablice 13 i 14.). U Zagrebu nije došlo do značajne promjene u prinosu kroz dvije vegetacijske sezone. Vrijednosti PH i NHI su bile gotovo identične pri različitim N-tretmanima za sve tri lokacije. Sadržaj proteina u zrnu, GNY i HI su bili najniži u Poreču pri LH i HN.

Tablica 7. Vrijednosti agronomskih svojstava i standardnih devijacija u zagradi po lokacijama pri LN i HN

Svojstvo	Osijek		Poreč		Zagreb	
	LN	HN	LN	HN	LN	HN
GY	6239.1 (1329.4)	6988.5 (1165.3)	5053.3 (936.7)	5694.1 (1288.5)	6650.1 (824.5)	7289.8 (929.1)
PH	80.5 (13.5)	82.7 (13.6)	86.0 (12.7)	86.8 (13.4)	88.4 (10.5)	88.3 (10.9)
GPC	11.4 (0.9)	13.3 (1.0)	10.1 (1.1)	12.5 (1.3)	12.1 (1.1)	13.2 (1.2)
GNV	123.5 (23.8)	161.4 (23.2)	90.2 (22.0)	126.6 (36.4)	145.1 (16.0)	162.7 (25.5)
NTA	150.6 (28.8)	195.3 (27.7)	108.8 (22.6)	152.4 (42.4)	170.5 (18.2)	200.7 (20.3)
HI	48.3 (6.1)	49.7 (6.2)	41.1 (7.0)	43.6 (7.1)	48.6 (6.6)	50.3 (8.1)
NHI	82.2 (3.7)	83.0 (4.3)	82.3 (5.9)	83.1 (4.8)	85.2 (5.3)	81.2 (9.6)
NUE	31.7 (4.5)	28.7 (4.3)	35.9 (4.5)	29.1 (3.9)	31.6 (4.3)	30.2 (4.2)
NUpE	77.0 (9.0)	80.0 (10.0)	77.0 (9.0)	77.0 (10.0)	81.0 (8.0)	83.0 (9.0)
NuE	41.6 (3.9)	36.0 (3.6)	47.1 (4.8)	38.3 (4.5)	39.4 (4.3)	36.8 (4.5)
NuE_PROT	0.08 (0.03)	0.07 (0.01)	0.10 (0.04)	0.09 (0.03)	0.07 (0.01)	0.07 (0.01)
NUE_PROT	0.06 (0.01)	0.05 (0.01)	0.07 (0.01)	0.07 (0.01)	0.06 (0.01)	0.05 (0.01)
NRE	60.9 (12.5)	70.1 (9.5)	67.2 (21.3)	73.6 (14.8)	67.5 (17.2)	62.9 (24.5)
BPE	88.7 (12.2)	76.3 (11.7)	125.8 (33.0)	100.5 (27.8)	99.1 (18.9)	85.60 (17.9)
PANU	79.3 (41.6)	73.1 (27.3)	41.5 (35.1)	45.7 (24.0)	58.0 (21.9)	59.9 (25.7)

U Poreču je izmjeren najveći NUE pri LN, dok je pri HN nešto veća vrijednost u Zagrebu. Poreč se ističe kao lokacija s najvišim vrijednostima NUtE, NRE, NUtE_PROT i BPE pri LN i HN, Zagreb kao lokacija s najvišim NUpE, a Osijek kao lokacija s najvišim PANU. Srednje vrijednosti PANU bile su signifikantno veće u Osijeku u usporedbi sa Zagrebom (1,4 i 1,2 puta za LN i HN) i Porečom (1,9 i 1,6 puta za LN i HN).

3.5. Utjecaj gnojidbe na agronomska svojstva

Većina srednjih vrijednosti agronomskih svojstava pokazala je značajne razlike između LN i HN tretmana u svim ispitivanim lokacijama i sortama kroz dvije vegetacijske sezone (Tablica 8). Razlika u postotcima je izračunata kao količnik razlike srednjih vrijednosti agronomskih svojstava pri HN i LN i srednje vrijednosti pri HN za to svojstvo. HN tretman je značajno povećao GY za 10.16%, GPC za 13.85%, GNY za 20.37%, NTA za 21.61%, HI za 3.97%, NUtE_PROT za 12.5%. HN tretman je značajno utjecao na smanjenje NUE za 12.97%, NUtE za 15.41%, NUE_PROT za 6.78% i BPE za 19.43%. Samo pet svojstava (PH, NHI, NUpE, NRE i PANU) nisu pokazala značajne razlike između LN i HN tretmana.

Tablica 8. Srednje, minimalne (Min) i maksimalne (Max) vrijednosti agronomskih svojstava pri LN i HN

Svojstvo	Mjerna jedinica	Razina dušika	Srednja vrijednost	Min	Max	Std.Dev	CV
GY	kg ha ⁻¹	LN	5980.8	2432.3	9330.2	1249.14	0.21
		HN	6657.4	2683.0	9782.5	1328.76	0.20
		Razlika (%)	10.16**				
PH	cm	LN	84.9	61.3	149.3	12.71	0.15
		HN	85.9	62.7	154.7	12.84	0.15
		Razlika (%)	1.16				
GPC	%	LN	11.2	7.7	15.2	1.33	0.12
		HN	13.0	10.2	16.8	1.24	0.10
		Razlika (%)	13.85***				
GNY	kg ha ⁻¹	LN	119.6	46.1	182.0	30.72	0.26
		HN	150.2	65.8	209.9	33.34	0.22
		Razlika (%)	20.37**				
NTA	kg ha ⁻¹	LN	143.3	58.1	214.3	34.90	0.24
		HN	182.8	82.6	256.2	38.11	0.21
		Razlika (%)	21.61**				
HI	%	LN	46.0	24.8	64.7	7.45	0.16
		HN	47.9	17.7	64.6	7.75	0.16
		Razlika (%)	3.97*				
NHI	%	LN	83.2	64.8	93.9	5.21	0.06
		HN	82.4	42.9	93.1	6.72	0.08
		Razlika (%)	-0.97				
NUE	kg DM kg ⁻¹ N	LN	33.1	14.5	42.3	4.26	0.15
		HN	29.3	12.5	41.9	4.03	0.14
		Razlika (%)	-12.97**				
NUpE	%	LN	0.7	0.4	0.9	0.10	0.15
		HN	0.8	0.5	1.1	0.10	0.12

NUTE	kg DM kg ⁻¹ N	Razlika (%)	2.5				
		LN	42.7	26.5	59.7	5.43	0.13
		HN	37.0	15.1	47.6	4.32	0.12
NUTE_PROT	% protein kg ⁻¹ N ha ⁻¹	Razlika (%)	-15,41**				
		LN	0.09	0.05	0.50	0.03	0.39
		HN	0.08	0.05	0.21	0.02	0.27
NUE_PROT	% protein kg ⁻¹ N ha ⁻¹	Razlika (%)	12.5*				
		LN	0.063	0.04	0.09	0.01	0.17
		HN	0.059	0.04	0.07	0.01	0.14
NREM	%	Razlika (%)	-6,78*				
		LN	65.2	22.7	95.0	17.57	0.27
		HN	68.9	16.3	96.0	17.95	0.26
BPE	kg DM kg ⁻¹ N	Razlika (%)	5.37				
		LN	104.5	64.6	224.8	27.80	0.27
		HN	87.5	52.2	162.2	22.52	0.26
PANU	kg N ha ⁻¹	Razlika (%)	-19,43**				
		LN	59.6	5.7	378.3	37.11	0.62
		HN	59.6	8.9	181.4	27.95	0.47
		Razlika (%)	0,0				

3.6. Analiza linearnih korelacija između agronomskih svojstava

Analiza linearnih korelacija između agronomskih svojstava prikazana je u tablici 9. Jake i pozitivne korelacije ($r \geq 0,60$) između analiziranih svojstava pri LN i HN, temeljene na prilagođenim srednjim vrijednostima sorti u šest okruženja, uočene su za GY s GNY, HI, NHI, NUE i NUtE te samo pri LN za NTA i NUpE. Jako do vrlo jake negativne korelacije ($r \geq -0,60$) uočene su između GY i PH, GPC, NUtE_PROT i NUE_PROT pri obje razine dušika (LN i HN).

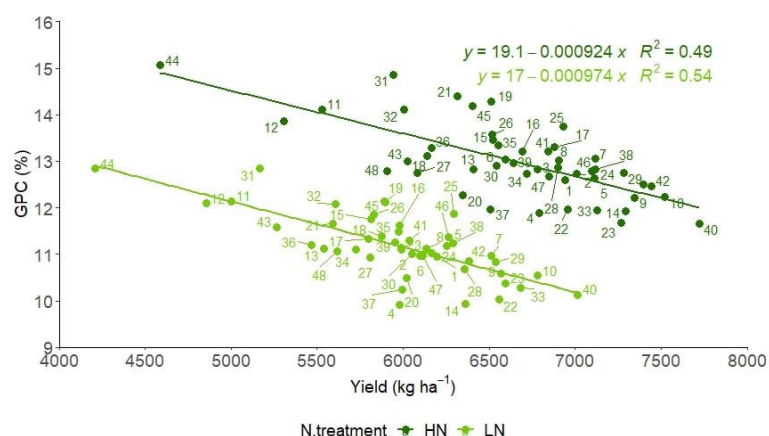
Pri obje razine dušika, GPC je pokazao pozitivnu korelaciju s PH ($r = 0,38$), NUE_PROT ($r = 0,95$) i NUtE_PROT ($r = 0,47$ i $0,56$ pri LN i HN) te negativnu korelaciju s HI ($r = -0,61$ i $-0,64$), NHI ($r = -0,39$ i $-0,44$), NUtE ($r = -0,93$ i $-0,94$) i NUE ($r = -0,74$ i $-0,70$) pri LN i HN. Ove vrijednosti bile su pod jakim utjecajem okoline i varirale su ovisno o godini i lokaciji. Primjerice, korelacija između GY i GPC kretala se od $r = -0,30$ do $r = -0,66$ (Zagreb 2018. pri LN i Osijek 2018. pri HN), dok su korelacije između GY i NUpE varirale od nepostojanja do $r = 0,80$, a između GY i NUtE od $r = 0,46$ do $r = 0,74$. GPC je bio u relativno stabilnoj i jakoj negativnoj korelaciji s NUtE ($r = -0,63$ do $-0,93$), dok je odnos s NUpE bio manje konzistentan. HI je pozitivno koreliran s GNY, NHI, NUE, NUtE i NRE, a negativno s PH, GPC, NUtE_PROT, NUE_PROT i BPE pri oba tretmana.

Tablica 9. Korelacijska analiza agronomskih svojstava pri LN i HN

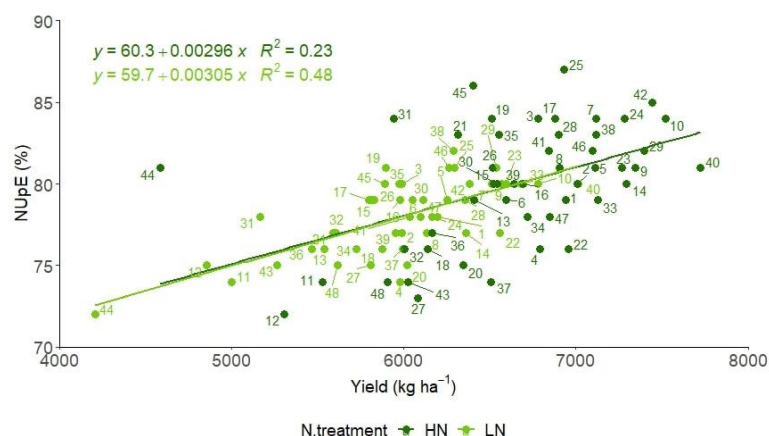
	N razina	PH	GPC	GNY	NTA	HI	NHI	NUE	NUpE	NUtE	NUtE_ PROT	NUE_ PROT	NRE	BPE	PANU
GY	LN	-0.62**	-0.74**	0.81**	0.71**	0.77**	0.62**	0.99**	0.69**	0.80**	-0.61**	-0.65**	0.34*	-0.22	0.42**
	HN	-0.67**	-0.70**	0.74**	0.48**	0.75**	0.60**	0.99**	0.49**	0.75**	-0.89**	-0.63**	0.29*	-0.25	0.38**
PH	LN		0.38**	-0.59**	-0.48**	-0.75**	-0.54**	-0.59**	-0.45**	-0.49**	0.25	0.31*	-0.25	0.52**	-0.22
	HN		0.38**	-0.64**	-0.29*	-0.81**	-0.68**	-0.65**	-0.28*	-0.49**	0.50**	0.33*	-0.38**	0.62**	-0.42**
GPC	LN			-0.24	-0.12	-0.61**	-0.39**	-0.74**	-0.11	-0.93**	0.47**	0.95**	-0.29*	-0.23	-0.16
	HN			-0.07	0.19	-0.64**	-0.44**	-0.70**	0.18	-0.94**	0.56**	0.95**	-0.26	-0.28	0.08
GNY	LN				0.93**	0.64**	0.63**	0.80**	0.90**	0.36*	-0.49**	-0.17	0.25	-0.54**	0.48**
	HN				0.83**	0.50**	0.50**	0.73**	0.83**	0.17	-0.72**	-0.01	0.18	-0.64**	0.64**
NTA	LN					0.40**	0.31*	0.71**	0.99**	0.16	-0.46**	-0.06	0.06	-0.53**	0.54**
	HN					0.04	-0.06	0.46**	0.99**	-0.21	-0.62**	0.22	-0.15	-0.57**	0.62**
HI	LN						0.83**	0.75**	0.34*	0.77**	-0.40**	-0.56**	0.45**	-0.40**	0.19
	HN						0.85**	0.75**	0.05	0.78**	-0.56**	-0.58**	0.47**	-0.38**	0.18
NHI	LN							0.60**	0.25	0.64**	-0.33*	-0.32*	0.58**	-0.29*	0.08
	HN							0.59**	-0.05	0.66**	-0.35*	-0.38**	0.62**	-0.23	0.13
NUE	LN								0.70**	0.80**	-0.63**	-0.65**	0.36*	-0.20	0.40**
	HN								0.49**	0.76**	-0.90**	-0.65**	0.29*	-0.25	0.36*
NUpE	LN									0.13	-0.48**	-0.05	0.05	-0.50**	0.54**
	HN									-0.19	-0.65**	0.20	-0.15	-0.58**	0.61**
NUtE	LN										-0.47**	-0.86**	0.46**	0.12	0.11
	HN										-0.55**	-0.89**	0.42**	0.19	-0.08
NUtE_PROT	LN											0.41**	-0.19	0.25	-0.24
	HN											0.51**	-0.09	0.31*	-0.38**
NUE_PROT	LN												-0.19	-0.24	-0.15
	HN												-0.27	-0.29*	0.09
NRE	LN													-0.10	-0.28
	HN													-0.11	-0.34*
BPE	LN														-0.09
	HN														-0.46**

Od izvedenih svojstava specifičnih za dušik, NUE je pokazao pozitivnu korelaciju s NUtE pri obje razine ($r = 0,80$ i $0,76$ pri LN i HN) te s NUpE, iako je korelacija bila jača pri LN ($r = 0,79$ i $0,49$ pri LN i HN). Slabije pozitivne korelacije uočene su između NUE te NRE i PANU pri LN ($r = 0,36$ i $0,40$) i HN ($r = 0,29$ i $0,36$). Pri oba tretmana, NUE je bio negativno povezan s NUtE_PROT ($r = -0,63$ i $-0,90$) i NUE_PROT ($r = -0,65$) (Tablica 9).

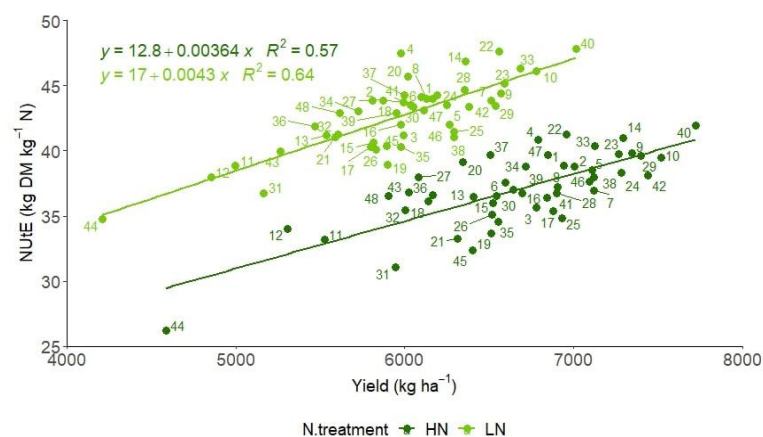
Korištenjem BLUP vrijednosti (najbolja linearna nepristrana procjena) uočena je značajna negativna korelacija između GY i GPC pri oba tretmana ($R^2 = 0,54$ LN i $0,49$ HN) (Grafikon 4). Za komponente NUE, postojala je umjereno pozitivna povezanost GY s NUpE pri LN ($R^2 = 0,48$) i slabija pri HN ($R^2 = 0,23$) (Grafikon 5.) te umjereno pozitivna povezanost između GY i NUtE pri oba tretmana ($R^2 = 0,64$ i $0,57$ pri LN i HN (Grafikon 6.).



Grafikon 4. Korelacijska analiza GPC i GY

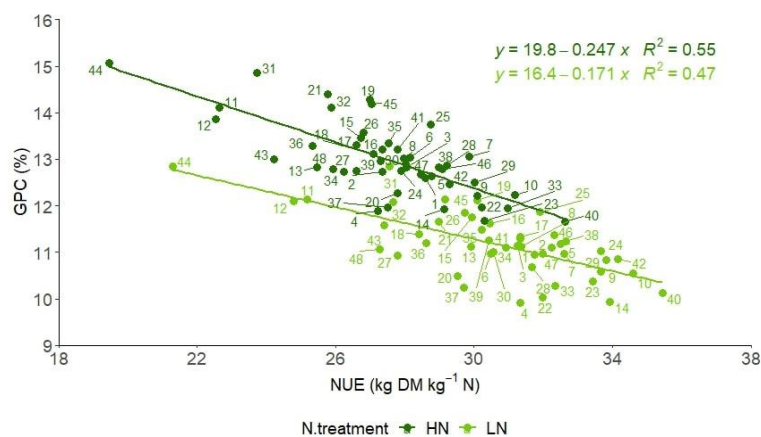


Grafikon 5. Korelacijska analiza NUpE i GY

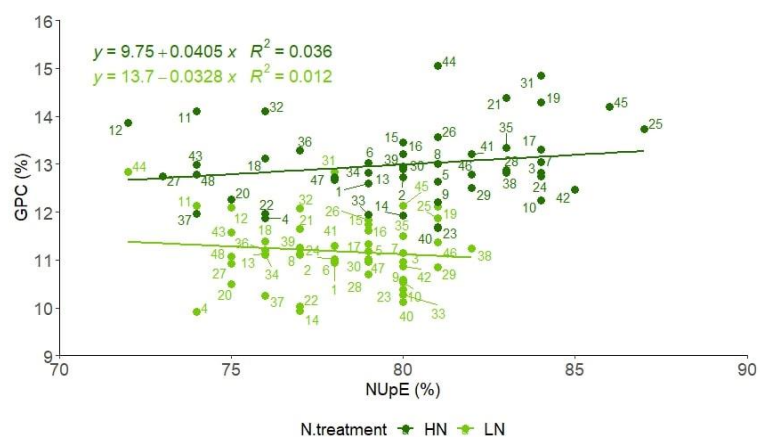


Grafikon 6. Korelacijska analiza NUtE i GY

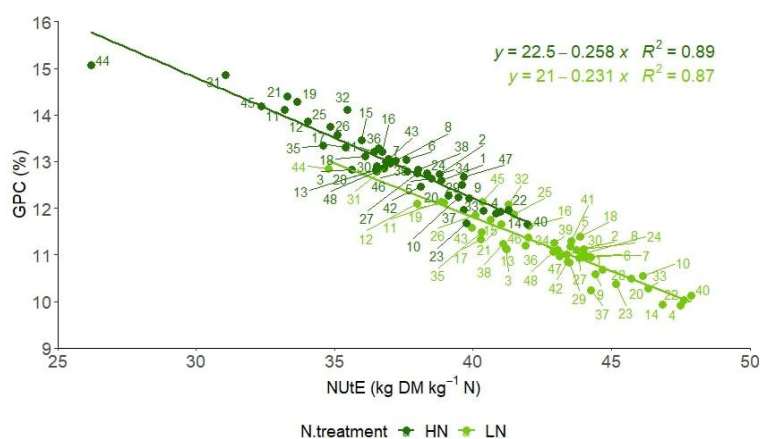
Iako je GY intrinzično u pozitivnoj linearnoj povezanosti s NUtE, GPC je bio u umjereno negativnoj povezanosti pri oba tretmana ($R^2 = 0,47$ vs. $0,55$ pri LN i HN) (Grafikon 7.). NUpE nije bio linearno značajan s GPC pri oba tretmana (Grafikon 8.). Nasuprot tome, NUtE je bio u vrlo jakoj negativnoj povezanosti s GPC pri oba tretmana ($R^2 = 0,87$ vs. $0,89$ pri LN i HN; (Grafikon 9.).



Grafikon 7. Korelacijska analiza GPC i NUtE

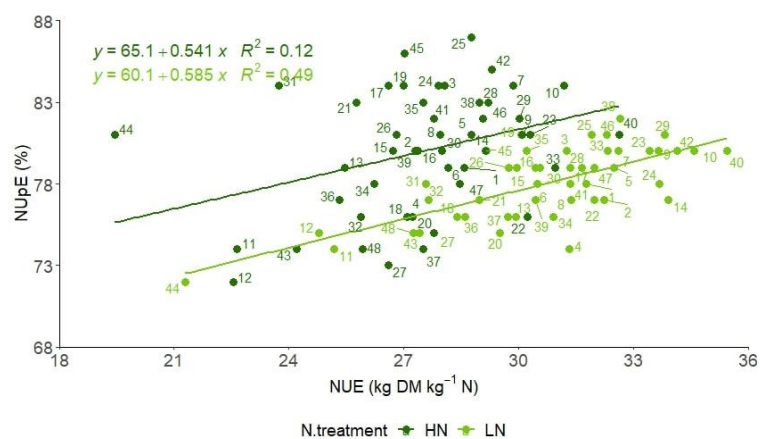


Grafikon 8. Korelacijska analiza GPC i NUpE

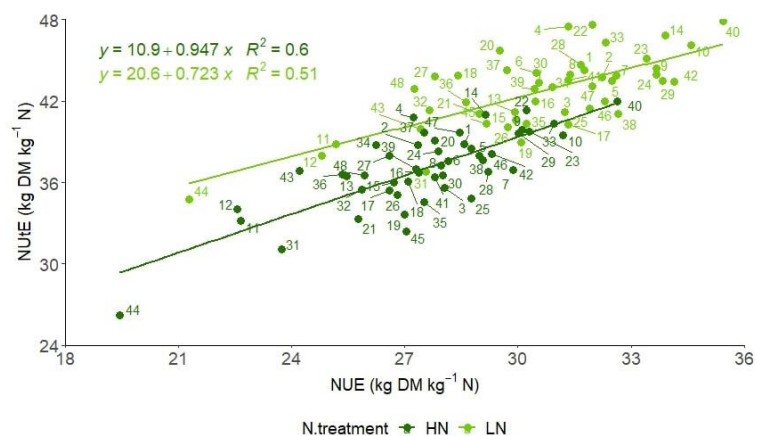


Grafikon 9. Korelacijska analiza GPC i NUtE

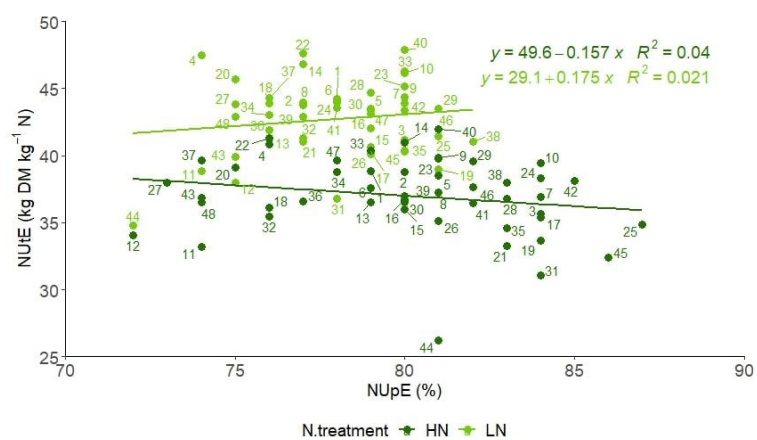
Između NUE i njegovih komponenata, umjereno pozitivna povezanost uočena je za NUE i NUpE pri LN ($R^2 = 0,49$) ali slabija pri HN ($R^2 = 0,12$); (Grafikon 10.). NUE je bio u jako do umjereno jake pozitivne povezanosti s NUtE ($R^2 = 0,60$ vs. $0,51$ pri HN i LN) (Grafikon 11.). Između NUpE i NUtE nije uočena povezanost niti pri jednoj razini gnojidbe (Grafikon 12.).



Grafikon 10. Korelacijska analiza NUpe i NUE



Grafikon 11. Korelacijska analiza NUte i NUE



Grafikon 12. Korelacijska analiza NUte i NUpe

3.7. Doprinos izvora variranja na agronomska svojstva

Vrijednosti agronomskih svojstava ovise o utjecaju sorte, okoline, o interakcijama između sorte i okoline, sorte i N-tretmana i N-tretmana i okoline. Detaljan prikaz utjecaja izvora variranja na agronomska svojstva prikazan je u tablici 9. Od izvora variranja, sorta ima najveći utjecaj na PH (69.71%), NUE (42.07%) i NUtE (35.67%). Na GPC sorta ima 32.10%, okolina 40.44%, interakcija sorte i okoline 6.72%, a interakcija N-tretmana i okoline 10.97% utjecaja. Okolina ima najveći utjecaj na GY(57.71), BPE (78.54%), NTA (69.11%), GNY (64.890%) NRE (63.53%), NUE_PROT (66.86%), NUtE_PROT (34.55%) i HI (52.76%). Interakcije između sorte, okoline i N-tretmana ne predstavljaju glavni izvor variranja za agronomska svojstva, ali imaju značajan utjecaj. Interakcija između sorte i okoline značajna je za gotovo sva agronomska svojstva osim za NUtE_PROT, BPE i PANU, a najveći utjecaj ima na NHI (18.56%) i NUE (12.21%). Interakcija između N-tretmana i okoline ima također značajan doprinos variranju agronomskih svojstava osim za NHI i NUtE_PROT. Najveći doprinos ima za GPC (10.97%), GNY (13.27%), NUE (13.97%), NUtE (15.68%) i NREM (11.62%). Interakcija između sorte i N-tretmana nije značajna niti za jedno agronomsko svojstvo.

Tablica 9. Prikaz utjecaja izvora variranja na agronomska svojstva

Izvor variranja						
	Sorta (G)	Okolina (E)	G × E	G × N	N × E	Reziduali
GY	19.709***	57.71**	6.39***	0.00 ^{ns}	4.21***	11.98
PH	69.71***	16.32***	5.24***	0.00 ^{ns}	0.33*	8.40
GPC	32.10***	40.44*	6.72***	0.46 ^{ns}	10.97***	9.30
GNY	7.10***	64.89*	3.70***	0.04 ^{ns}	13.27***	10.99
NTA	4.85***	69.11**	2.70*	0.19 ^{ns}	8.16***	15.0
HI	21.92***	52.76***	6.30***	0.34 ^{ns}	1.16*	17.52
NHI	12.64***	36.19 ^{ns}	18.56***	0.35 ^{ns}	2.75 ^{ns}	29.53
NUE	42.07***	3.41 ^{ns}	12.21***	0.00 ^{ns}	13.97***	28.34
NUtE	18.61***	12.1*	10.3*	0.00 ^{ns}	1.54*	57.45
NUtE	35.67***	18.39 ^{ns}	5.78***	0.00 ^{ns}	15.68***	24.49
NUtE_PROT	5.51**	34.55**	0.14 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.97 ^{ns}	58.82
NUE_PROT	12.76***	66.86***	3.47***	0.00 ^{ns}	6.85***	10.06
NRE	0.85 ^{ns}	63.53***	3.97***	1.30 ^{ns}	11.62***	18.74
BPE	3.59***	78.54***	1.63 ^{ns}	0.60 ^{ns}	2.54***	13.10
PANU	4.41*	24.61*	6.44 ^{ns}	0.00 ^{ns}	3.05*	61.49

3.8. Heritabilnost svojstava i genetska korelacija

Heritabilnosti za agronomska svojstva, genetska korelacija i utjecaj indirektna selekcije prikazane su u tablici 10. Raspon heritabilnosti među N-tretmanima kretao je od 0.60 za

NUtE_PROT do 0.98 za PH. Direktno mjerena svojstva (GY, PH i GPC) su imala su vrijednosti heritabilnosti veće od 0.91. Kod ostalih agronomskih svojstava (HI, NHI, NUE, NUtE i NUE_PROT) zabilježena je heritabilnost u rasponu od 0.88-0.96. Za ostala agronomska svojstva (NUpE, NUtE_PROT, NRE, BPE, NTA i PANU), zabilježena je heritabilnost u rasponu od 0.67-0.83. Procjene heritabilnosti za većinu agronomskih svojstava pri LN i HN pokazale su slične vrijednosti uz nešto malo veće vrijednosti pri HN. Najveće razlike heritabilnosti zabilježene su kod NTA, BPE i NUtE_PROT.

Analizirajući genetske korelacije za agronomska svojstva između LN i HN, utvrđeno je da se one nalaze oko vrijednosti 1 za većinu svojstava osim za NRE ($r_G=0.42$), BPE ($r_G=0.86$) NTA ($r_G=1.12$), NUpE ($r_G=1.12$), NUtE_PROT ($r_G=1.21$) i PANU ($r_G=1.22$). Također izmjerene vrijednosti utjecaja direktne selekcije su bile oko vrijednosti 1 za većinu agronomskih svojstava osim za NUtE_PROT ($CR_{LN}/R_{LN}=1.18$) i NRE ($CR_{LN}/R_{LN}=0.41$). Vrijednosti blizu 1 upućuju na to da će indirektna selekcija pri optimalnim uvjetima biti jednako učinkovita kao i direktna selekcija u uvjetima reducirane gnojidbe. Za svojstvo NUtE_PROT indirektna selekcija će biti učinkovitija prvenstveno zbog niže heritabilnosti pri LN u odnosu na HN. Za svojstva NRE i BPE učinkovitija je direktna selekcija.

Tablica 10. Prikaz vrijednosti heritabilnosti, genetske korelacije i utjecaja direktne selekcije

Svojstvo	Heritabilnost		Genetska korelacija	Utjecaj direktne selekcije
	LN	HN	$r_G \pm s.e.^1$	CR_{LN}/R_{LN}
GY	0.92±0.02	0.92±0.02	1.03±0.02	1.00
PH	0.97±0.01	0.98±0.00	1.00±0.0041	1.01
GPC	0.95±0.01	0.95±0.01	1.00±0.011	1.00
GNV	0.84±0.05	0.88±0.03	1.07±0.054	1.02
NTA	0.75±0.01	0.83±0.05	1.12±0.13	1.05
HI	0.90±0.02	0.93±0.02	0.99±0.032	1.01
NHI	0.84±0.05	0.85±0.04	1.00±0.087	1.01
NUE	0.93±0.02	0.94±0.02	1.03±0.023	1.01
NUpE	0.81±0.05	0.85±0.06	1.12±0.12	1.02
NUtE	0.92±0.02	0.94±0.01	1.00±0.026	1.01
NUtE_PROT	0.60±0.45	0.83±0.05	1.21±0.57	1.18
NUE_PROT	0.91±0.02	0.92±0.02	0.96±0.041	0.97
NRE	0.69±0.17	0.65±0.24	0.42±0.40	0.41
BPE	0.77±0.09	0.87±0.03	0.86±0.13	0.91
PANU	0.63±0.29	0.62±0.033	1.22±0.61	0.99

3.9. Utjecaj godine priznavanja sorte na agronomska svojstva

Utjecaj godine priznavanja kultivara (1936-2016) na agronomska svojstva pri LN i HN ispitan je regresijskom analizom, a rezultati su prikazani u tablici 11. Većina agronomskih svojstava pokazuje značajni porast kroz vrijeme i za HN i za LN. Za ispitivane kultivare prinos je značajno rasao 0.31% godišnje pri LN, a 0.33% pri HN. Pri obe razine dušika došlo je i do porasta za GNY (0.23% LN i 0.25% HN godišnje), HI (0.24% LN i 0.28% HN godišnje), NHI (0.07% godišnje za obe razine) i NTA (0.16% LN i 0.12% HN godišnje). Analizom je utvrđen i značajan porast vrijednosti svojstava vezanih za učinkovitost korištenja dušika i njegovih komponenti NUE (0.33% LN i 0.30% HN godišnje), NUtE (0.15% LN i 0.20% HN godišnje) i NUpE (0.15% LN i 0.12% HN godišnje). Trenda sniženja vrijednosti agronomskih svojstava kroz vrijeme uočen je za PH (-0.38 LN i -0.42% HN godišnje) i BPE (-0.13% LN i -0.11% HN godišnje). Za sadržaj proteina u zrnu uočeno je značajno smanjenje -0.10% pri HN i neznajno smanjenje pri LN. Sličan trend je zabilježen i za PANU gdje je došlo do značajnog godišnjeg porasta od 0.51% pri HN i neznajnog porasta pri LN. Uspoređujući trendove svojstava pri LN i HN uočeno je da su veće promjene zabilježene pri HN (osim za NTA, BPE i NUE). Za NUE_PROT, NUtE_PROT i NRE pri oba N-tretmana, nisu zabilježene značajne godišnje promjene stoga rezultati nisu prikazani.

Tablica 11. Prikaz koeficijenta nagiba pravca i postotka godišnje promjene za agronomska svojstva

Svojstvo	b-(nagib pravca)	Godišnja promjena (%)	R ²
GY-LN	18.36***	0.31	0.32
GY-HN	22.81***	0.34	0.37
PH-LN	-0.321***	-0.38	0.31
PH-HN	-0.358***	-0.42	0.34
GPC-LN	-0.011 ^{ns}	-0.10	0.07
GPC-HN	-0.013*	-0.10	0.08
GNY-LN	0.277***	0.23	0.35
GNY-HN	0.382***	0.25	0.33
NTA-LN	0.236***	0.16	0.26
NTA-HN	0.215*	0.12	0.09
HI-LN	0.111***	0.24	0.28
HI-HN	0.133***	0.28	0.33
NHI-LN	0.06***	0.07	0.21
NHI-HN	0.06***	0.07	0.21
NUE-LN	0.102***	0.33	0.35
NUE-HN	0.098***	0.30	0.29
NUpE-LN	0.098***	0.15	0.23
NUpE-HN	0.102***	0.12	0.09

NUtE-LN	0.065**	0.15	0.14
NUtE-HN	0.098**	0.20	0.35
BPE-LN	-0.135*	-0.13	0.10
BPE-HN	-0.095*	-0.11	0.08
PANU-LN	0.226 ^{ns}	0.38	0.08
PANU-HN	0.301***	0.51	0.25

3.10. Analiza varijance za prinos i indeksa

Kombinirana ANOVA za BLUP vrijednosti prinosa zrna i devet indeksa prikazana je u Tablici 12. Postoje značajne razlike između genotipova za Yp, Ys, MP, GMP, HM, STI i YI. Interakcije između lokacija su značajne za Yp, Ys, MP, GMP i HM. Interakcije između godina su značajne samo za Yp, Ys, TOL, STI i YSI. Interakcije između genotipa i lokacije (G×L), genotipa i godine (G×Y), lokacije i godine (L×Y) te između genotipa, lokacije i godine (G×L×Y) su značajne za Yp, Ys, MP, GMP, HM i STI. G×L i L×Y interakcije su značajne za TOL, dok su G×L i G×Y značajne za YI. Također, L×Y je značajna za YSI, a G×L za RSI. Nijedna interakcija nije značajna za SSI.

Tablica 12. Kombinirana analiza varijance za BLUP prinosa zrna pod dvije razine dušika i deset indeksa za 48 genotipova ozime pšenice.

Izvor variranja	df	F-test										
		Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Genotip (G)	47	16.10***	10.97***	1.02 ^{ns}	25.09***	21.42***	18.98***	0.90 ^{ns}	18.17***	12.29***	0.89 ^{ns}	0.99 ^{ns}
Lokacija (L)	2	383.69***	337.96***	1.05 ^{ns}	697.00***	613.61***	556.62***	1.99 ^{ns}	1.60 ^{ns}	0.00 ^{ns}	2.37 ^{ns}	1.90 ^{ns}
Godina (Y)	1	21.64***	17.07***	39.70***	0.06 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.27 ^{ns}	2.96 ^{ns}	36.17***	0.00 ^{ns}	47.34***	2.61 ^{ns}
G×L	94	2.34***	1.98***	1.55**	2.71***	2.45***	2.28***	0.76 ^{ns}	2.13***	2.12***	1.25 ^{ns}	1.52**
G×Y	47	2.77***	1.61**	1.06 ^{ns}	3.21***	2.89***	2.68***	0.88 ^{ns}	2.93***	1.77**	0.98 ^{ns}	1.15 ^{ns}
L×Y	2	380.79***	362.14***	33.87***	687.88***	605.04***	549.61***	1.71 ^{ns}	26.69***	0.00 ^{ns}	26.36***	2.18 ^{ns}
G×L×Y	94	1.71***	1.05 ^{ns}	1.08 ^{ns}	1.63***	1.53**	1.46**	0.76 ^{ns}	1.55**	1.27 ^{ns}	0.94 ^{ns}	1.09 ^{ns}

3.11. Analiza varijance za sadržaj proteina i indeksa

Tablica 13. prikazuje kombiniranu ANOVA analizu za BLUP sadržaja proteina i devet indeksa. Interakcije između genotipova, lokacija, godina, G×L, G×Y, L×Y i G×L×Y su značajne za Yp, MP, GMP i HM, ali nisu značajne za SSI i RSI. Interakcije između genotipova su značajne i za Ys, STI i YI. Interakcije između lokacija su značajne za Ys, TOL, STI i YSI. Interakcije između godina su značajne za Ys. STI i YI su značajni u G×L, G×Y i G×L×Y interakcijama. Ys je značajan u G×Y i L×Y interakcijama. TOL je značajan u L×Y interakcijama.

Tablica 13. Kombinirana analiza varijance za BLUP sadržaja proteina u zrnu pod dvije razine dušika i deset indeksa za 48 genotipova ozime pšenice.

Izvor variranja	df	F-test										
		Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Genotip (G)	47	23.58***	14.03***	1.04 ^{ns}	35.74***	34.44***	32.81***	0.81 ^{ns}	33.68***	21.65***	0.77 ^{ns}	1.02 ^{ns}
Lokacija (L)	2	78.64***	423.63***	109.02***	435.63***	450.80***	459.82***	0.73 ^{ns}	139.71***	0.00 ^{ns}	139.43***	0.38 ^{ns}
Godina (Y)	1	69.59***	46.41***	0.21 ^{ns}	114.00***	104.36***	94.37***	0.61 ^{ns}	1.39 ^{ns}	0.00 ^{ns}	3.01 ^{ns}	0.37 ^{ns}
G×L	94	1.57**	1.15 ^{ns}	0.90 ^{ns}	1.77***	1.74***	1.70***	0.85 ^{ns}	1.75***	1.67***	0.84 ^{ns}	1.12 ^{ns}
G×Y	47	2.35***	1.44*	0.66 ^{ns}	3.05***	3.008***	2.94***	0.90 ^{ns}	3.11***	2.24***	0.64 ^{ns}	0.83 ^{ns}
L×Y	2	323.52***	167.95***	5.66**	471.48***	462.18***	447.69***	0.59 ^{ns}	1.21 ^{ns}	0.00 ^{ns}	2.34 ^{ns}	0.38 ^{ns}
G×L×Y	94	1.46**	1.01 ^{ns}	0.76 ^{ns}	1.65***	1.61***	1.56**	0.90 ^{ns}	1.62***	1.52***	0.74 ^{ns}	0.97 ^{ns}

3.12. BLUP vrijednosti za prinos i selekcijske indekse

BLUP vrijednosti za prinos pri optimalnoj i niskoj razini dušika te za devet indeksa stresa među ispitivanim genotipovima prikazane su u tablici 14. Kultivari Sofru i BC Opsesija dali su najveći prinos pri obe razine dušika. Isti kultivari dali su najveće vrijednosti za: MP (7367.62 i 7150.14), GMP (7359.12 i 7140.67), HM (7350.63 i 7131.21), STI (1.51402 i 1.15037) te za YI (1.15979 and 1.134). Kultivar U-1 je dao najniži prinos pri oba N-tretmana te je imao najniže vrijednosti za indekse: MP (4397.72), GMP (4393.7), HM (4389.69), STI (0.43553) i YI (0.70389). Kultivari Katarina i Ficko imali su najviše vrijednosti za indekse TOL (1117.97 i 1083.3) te SSI (1.50954 and 1.54922), a najniže vrijednosti za YSI (0.84654 i 0.8425) i RSI (0.94234 i 0.93785). Nasuprot njima, kultivar Flamura 85 dao je najniže vrijednosti za TOL (265.67) i SSI (0.42561) te najveće vrijednosti za YSI (0.95673) i RSI (1.065). Iako se kultivari Katarina, Ficko i Flamura ne ističu po ekstremnim vrijednostima prinosa pri različitim N-tretmanima, ističu se po različitom utjecaju reducirane gnojidbe na prinos. Prema indeksima TOL, SSI, YSI i RSI, smanjena količina dušika najviše je utjecala na prinos kultivara Katarina i Ficko, a najmanje kod kultivara Flamura 85.

Tablica 14. BLUP vrijednosti za prinos zrna pod visokom (HN) i niskom (LN) razinom dušika i vrijednosti devet indeksa za 48 genotipova ozime pšenice.

ID	Genotip	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
G1	Andjelka	6941.11	6194.57	746.54	6567.84	6557.22	6546.63	1.05795	0.97006	1.03574	0.89245	0.99344
G2	BC Anica	7006.66	5990.88	1015.78	6498.77	6478.89	6459.08	1.42603	0.94702	1.00168	0.85503	0.95179
G3	BC Bernarda	6778.28	5991.64	786.64	6384.96	6372.83	6360.73	1.14156	0.91627	1.00181	0.88395	0.98398
G4	BC Certissa	6790.60	5979.79	810.81	6385.20	6372.31	6359.46	1.17450	0.91612	0.99983	0.88060	0.98025
G5	BC Darija	7109.27	6251.02	858.25	6680.15	6666.35	6652.58	1.18749	1.00262	1.04518	0.87928	0.97878
G6	BC Irena	6594.86	6099.28	495.58	6347.07	6342.23	6337.40	0.73918	0.90749	1.01981	0.92485	1.02952
G7	BC Irma	7117.93	6512.12	605.81	6815.03	6808.29	6801.56	0.83719	1.04577	1.08884	0.91489	1.01842
G8	BC Lorena	6903.15	6131.43	771.72	6517.29	6505.86	6494.44	1.09965	0.95492	1.02518	0.88821	0.98872

G9	BC Ljepotica	7344.92	6567.44	777.48	6956.18	6945.31	6934.46	1.04122	1.08828	1.09809	0.89415	0.99534
G10	BC Opsesija	7518.06	6782.22	735.84	7150.14	7140.67	7131.21	0.96276	1.15037	1.13400	0.90212	1.00421
G11	BC Tena	5526.18	4998.67	527.51	5262.43	5255.81	5249.21	0.93896	0.62322	0.83578	0.90454	1.00691
G12	Bezostaja-1	5304.38	4856.67	447.71	5080.53	5075.59	5070.66	0.83024	0.58121	0.81204	0.91560	1.01921
G13	Bologna	6406.10	5538.63	867.47	5972.37	5956.59	5940.87	1.33199	0.80049	0.92607	0.86459	0.96243
G14	Calisol	7295.35	6362.49	932.86	6828.92	6812.97	6797.06	1.25780	1.04721	1.06382	0.87213	0.97083
G15	Dropia	6522.51	5815.02	707.49	6168.77	6158.61	6148.48	1.06696	0.85571	0.97228	0.89153	0.99242
G16	Felix	6694.46	5977.96	716.50	6336.21	6326.07	6315.95	1.05279	0.90288	0.99952	0.89297	0.99403
G17	Ficko	6881.40	5797.60	1083.80	6339.50	6316.30	6293.18	1.54922	0.90009	0.96937	0.84250	0.93785
G18	Flamura 85	6140.06	5874.39	265.67	6007.23	6005.76	6004.29	0.42561	0.81376	0.98221	0.95673	1.06500
G19	Forcali	6512.55	5897.41	615.14	6204.98	6197.35	6189.73	0.92910	0.86651	0.98606	0.90555	1.00802
G20	Galloper	6344.57	6017.77	326.80	6181.17	6179.01	6176.85	0.50666	0.86138	1.00618	0.94849	1.05583
G21	Golubica	6312.51	5589.15	723.36	5950.83	5939.83	5928.85	1.12718	0.79599	0.93451	0.88541	0.98561
G22	Graindor	6958.80	6557.02	401.78	6757.91	6754.92	6751.94	0.56793	1.02944	1.09634	0.94226	1.04890
G23	Isengrain	7265.38	6593.30	672.08	6929.34	6921.19	6913.04	0.90992	1.08074	1.10241	0.90750	1.01019
G24	Katarina	7284.97	6167.00	1117.97	6725.99	6702.72	6679.53	1.50954	1.01359	1.03113	0.84654	0.94234
G25	Kraljica	6930.67	6292.02	638.65	6611.35	6603.63	6595.92	0.90642	0.98384	1.05203	0.90785	1.01059
G26	Lukullus	6519.30	5830.40	688.90	6174.85	6165.24	6155.64	1.03943	0.85755	0.97485	0.89433	0.99554
G27	Mihelca	6081.40	5810.19	271.21	5945.80	5944.25	5942.70	0.43868	0.79717	0.97147	0.95540	1.06352
G28	MV-Nador	6897.89	6355.60	542.29	6626.75	6621.20	6615.65	0.77331	0.98908	1.06267	0.92138	1.02565
G29	MV-Nemere	7396.95	6537.66	859.29	6967.31	6954.05	6940.81	1.14269	1.09102	1.09311	0.88383	0.98385
G30	OS-Jelena	6541.36	6050.08	491.28	6295.72	6290.93	6286.14	0.73876	0.89287	1.01158	0.92490	1.02956
G31	OS-Olimpija	5943.44	5166.09	777.35	5554.77	5541.15	5527.57	1.28653	0.69272	0.86378	0.86921	0.96757
G32	OS-Crvenka	6003.60	5605.16	398.44	5804.38	5800.96	5797.54	0.65282	0.75921	0.93719	0.93363	1.03929
G33	Prima	7124.68	6682.94	441.74	6903.81	6900.28	6896.74	0.60988	1.07422	1.11740	0.93800	1.04415
G34	Rebeka	6718.42	5726.74	991.68	6222.58	6202.79	6183.07	1.45193	0.86803	0.95752	0.85239	0.94886
G35	Renan	6555.06	5974.72	580.34	6264.89	6258.17	6251.45	0.87086	0.88360	0.99898	0.91147	1.01461
G36	San Pastore	6165.10	5466.55	698.55	5815.83	5805.33	5794.85	1.11455	0.76035	0.91401	0.88669	0.98704
G37	Sana	6507.09	5996.53	510.56	6251.81	6246.60	6241.39	0.77179	0.88033	1.00263	0.92154	1.02583
G38	Silvija	7118.63	6290.71	827.92	6704.67	6691.88	6679.11	1.14402	1.01031	1.05182	0.88370	0.98370
G39	Slavonija	6642.71	5952.17	690.54	6297.44	6287.97	6278.51	1.02255	0.89203	0.99521	0.89605	0.99745
G40	Sofru	7721.44	7013.80	707.64	7367.62	7359.12	7350.63	0.90148	1.22183	1.17272	0.90835	1.01115
G41	Srpanjka	6843.60	6035.53	808.07	6439.57	6426.88	6414.21	1.16146	0.93188	1.00915	0.88192	0.98173
G42	Tika-Taka	7442.88	6383.05	1059.83	6912.97	6892.62	6872.34	1.40067	1.07184	1.06726	0.85760	0.95466
G43	Tosunbey	6023.58	5265.59	757.99	5644.59	5631.85	5619.14	1.23780	0.71558	0.88041	0.87416	0.97309
G44	U-1	4585.59	4209.84	375.75	4397.72	4393.70	4389.69	0.80602	0.43553	0.70389	0.91806	1.02195
G45	Viktoria	6400.47	5892.26	508.21	6146.37	6141.11	6135.86	0.78104	0.85085	0.98519	0.92060	1.02478
G46	Vulkan	7096.32	6265.05	831.27	6680.69	6667.74	6654.83	1.15226	1.00304	1.04753	0.88286	0.98277
G47	Waldinger	6847.27	6114.78	732.49	6481.03	6470.67	6460.33	1.05227	0.94462	1.02240	0.89302	0.99409
G48	Zlatna dolina	5905.20	5617.96	287.24	5761.58	5759.79	5758.00	0.47847	0.74847	0.93933	0.95136	1.05902

3.13. BLUP vrijednosti za protein u zrnu i selekcijske indekse

BLUP vrijednosti za sadržaj proteina u zrnu pri optimalnoj i niskoj razini dušika te za devet indeksa stresa među ispitivanim genotipovima prikazane su u tablici 15. Kultivari U-1 i OS Olimpija imaju najveći sadržaj proteina pri obe razine dušika. Isti kultivari dali su najveće vrijednosti za: MP (15.815% i 15.61%), GMP (15.7602% i 15.5705%), HM (15.7075% i 15.5311%), STI (1.472 i 1.43677) te za YI (1.29703 and 1.29703). Kultivar Sofru je imao najniži sadržaj proteina pri HN (10.34%), a kultivar BC Certissa je imao najniži sadržaj proteina pri LN (8.65%) te je imao najniže vrijednosti za indekse: MP (2.11%), GMP (9.64749%), HM (9.59031%), STI (0.55158) i YI (0.0.77375). Kultivar Golubica imao je najviše vrijednosti za indekse TOL (3.67%) and SSI (1.6675) i najniže za indekse YSI (0.76757) and RSI (0.89189). Nasuprot njemu, kultivar Isengrain dao je najniže vrijednosti za TOL (0.79) i SSI (0.54655) te najveće vrijednosti za YSI (0.92382) and RSI (1.07344). Prema indeksima TOL, SSI, YSI i RSI, smanjena količina dušika najviše je utjecala na sadržaj proteina u zrnu kultivara Golubica, a najmanje kod kultivara Isengrain.

Tablica 15. BLUP vrijednosti za sadržaj proteina u zrnu pod visokom (HN) i niskom (LN) razinom dušika i devet indeksa za 48 genotipova ozime pšenice.

ID	Genotip	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
G1	Andjelka	12.19	10.7	1.49	11.445	11.4207	11.3965	0.87693	0.77298	0.95712	0.87777	1.01993
G2	BC Anica	12.48	11.01	1.47	11.745	11.722	11.699	0.84505	0.8143	0.98485	0.88221	1.0251
G3	BC Bernarda	12.67	11.13	1.54	11.9	11.8751	11.8502	0.87202	0.83571	0.99558	0.87845	1.02073
G4	BC Certissa	10.76	8.65	2.11	9.705	9.64749	9.59031	1.40686	0.55158	0.77375	0.8039	0.9341
G5	BC Darija	12.28	11.17	1.11	11.725	11.7119	11.6987	0.64849	0.81289	0.99916	0.90961	1.05693
G6	BC Irena	13.08	10.76	2.32	11.92	11.8634	11.8071	1.27251	0.83407	0.96249	0.82263	0.95586
G7	BC Irma	13.11	10.74	2.37	11.925	11.866	11.8072	1.29696	0.83443	0.9607	0.81922	0.9519
G8	BC Lorena	13.04	11.08	1.96	12.06	12.0201	11.9804	1.07835	0.85625	0.99111	0.84969	0.98731
G9	BC Ljepotica	11.43	9.98	1.45	10.705	10.6804	10.6559	0.91013	0.67602	0.89272	0.87314	1.01456
G10	BC Opsesija	11.49	9.89	1.6	10.69	10.66	10.6301	0.99903	0.67344	0.88466	0.86075	1.00016
G11	BC Tena	15.23	13.1	2.13	14.165	14.1249	14.0849	1.00337	1.18237	1.1718	0.86014	0.99945
G12	Bezostaja-1	14.73	13	1.73	13.865	13.838	13.811	0.8426	1.13482	1.16286	0.88255	1.02549
G13	Bologna	12.66	11.05	1.61	11.855	11.8276	11.8003	0.91237	0.82904	0.98843	0.87283	1.01419
G14	Calisol	10.87	8.69	2.18	9.78	9.71907	9.65852	1.43882	0.5598	0.77732	0.79945	0.92893
G15	Dropia	13.93	12.33	1.6	13.13	13.1056	13.0813	0.82404	1.01788	1.10292	0.88514	1.0285
G16	Felix	13.43	12.04	1.39	12.735	12.716	12.6971	0.74254	0.95826	1.07698	0.8965	1.0417
G17	Ficko	13.61	11.5	2.11	12.555	12.5106	12.4663	1.11226	0.92755	1.02868	0.84497	0.98182
G18	Flamura 85	13.25	11.6	1.65	12.425	12.3976	12.3702	0.89341	0.91087	1.03763	0.87547	1.01726
G19	Forcali	15.58	13.04	2.54	14.31	14.2535	14.1973	1.16963	1.204	1.16643	0.83697	0.97253
G20	Galloper	11.55	9.81	1.74	10.68	10.6445	10.6091	1.08081	0.67148	0.87751	0.84935	0.98691
G21	Golubica	15.79	12.12	3.67	13.955	13.8338	13.7137	1.6675	1.13414	1.08414	0.76757	0.89189
G22	Graindor	10.92	8.89	2.03	9.905	9.85286	9.80099	1.33369	0.57532	0.79521	0.8141	0.94596
G23	Isengrain	10.37	9.58	0.79	9.975	9.96718	9.95936	0.54655	0.58874	0.85694	0.92382	1.07344
G24	Katarina	12.51	10.86	1.65	11.685	11.6558	11.6268	0.94625	0.80514	0.97143	0.86811	1.0087
G25	Kraljica	14.48	12.57	1.91	13.525	13.4912	13.4576	0.94634	1.07866	1.12439	0.86809	1.00869
G26	Lukullus	14.16	12.49	1.67	13.325	13.2988	13.2727	0.84612	1.04811	1.11724	0.88206	1.02492
G27	Mihelca	12.51	10.68	1.83	11.595	11.5588	11.5228	1.04948	0.79179	0.95533	0.85372	0.99199
G28	MV-Nador	12.75	10.19	2.56	11.47	11.3984	11.3272	1.44049	0.76996	0.9115	0.79922	0.92866
G29	MV-Nemere	12.01	10.5	1.51	11.255	11.2296	11.2044	0.90202	0.74733	0.93923	0.87427	1.01587
G30	OS-Jelena	12.81	10.84	1.97	11.825	11.7839	11.743	1.10331	0.82292	0.96964	0.84621	0.98327
G31	OS-Olimpija	16.72	14.5	2.22	15.61	15.5705	15.5311	0.95257	1.43677	1.29703	0.86722	1.00768
G32	OS-Crvenka	15.2	12.96	2.24	14.08	14.0354	13.9909	1.05727	1.16743	1.15928	0.85263	0.99072
G33	Prima	10.91	9.36	1.55	10.135	10.1053	10.0757	1.01927	0.60518	0.83726	0.85793	0.99688
G34	Rebeka	12.48	11.04	1.44	11.76	11.7379	11.7159	0.82781	0.81652	0.98753	0.88462	1.02789
G35	Renan	13.7	11.79	1.91	12.745	12.7092	12.6734	1.00022	0.95723	1.05462	0.86058	0.99997
G36	San Pastore	13.6	11.22	2.38	12.41	12.3528	12.2959	1.25551	0.9043	1.00363	0.825	0.95862
G37	Sana	10.95	9.32	1.63	10.135	10.1022	10.0695	1.06796	0.6048	0.83368	0.85114	0.98899
G38	Silvija	12.64	11.27	1.37	11.955	11.9354	11.9158	0.7776	0.84421	1.00811	0.89161	1.03602
G39	Slavonija	12.93	11.31	1.62	12.12	12.0929	12.0659	0.89887	0.86665	1.01168	0.87471	1.01638
G40	Sofru	10.34	9.08	1.26	9.71	9.68954	9.66912	0.87424	0.5564	0.81221	0.87814	1.02037
G41	Srpanjka	13.43	11.42	2.01	12.425	12.3843	12.3437	1.07374	0.90892	1.02152	0.85034	0.98806
G42	Tika-Taka	11.94	10.53	1.41	11.235	11.2129	11.1908	0.84722	0.7451	0.94191	0.88191	1.02474
G43	Tosunbey	12.99	11.99	1	12.49	12.48	12.47	0.5523	0.92302	1.07251	0.92302	1.07251
G44	U-1	17.13	14.5	2.63	15.815	15.7602	15.7057	1.10149	1.472	1.29703	0.84647	0.98356
G45	Viktoria	15.39	13.07	2.32	14.23	14.1826	14.1354	1.08151	1.19205	1.16912	0.84925	0.9868
G46	Vulkan	12.57	11.56	1.01	12.065	12.0544	12.0439	0.57646	0.86114	1.03405	0.91965	1.0686
G47	Waldinger	12.36	10.74	1.62	11.55	11.5216	11.4932	0.94032	0.78669	0.9607	0.86893	1.00967
G48	Zlatna dolina	12.56	10.96	1.6	11.76	11.7328	11.7056	0.91393	0.8158	0.98038	0.87261	1.01394

3.14. Korelacijska analiza za prinos i devet indeksa

Rezultati korelacijske analize za prinos zrna i devet indeksa prikazani su u tablici 16. Vrlo visoka pozitivna korelacija utvrđena je između prinosa pri HN (Yp) i MP (r=0,98), GMP (r=0,98), HM (r=0,98), STI (r=0,98), YI (r=0,94), umjerena pozitivna korelacija prinosa pri HN utvrđena je s TOL (0.55), dok je slaba negativna korelacija utvrđena s indeksima YSI i RSI

($r=-0,33$). Prinos pri LN (Ys) je također kao i Yp u jakoj pozitivnoj korelaciji s MP ($r=0,99$), GMP ($r=0,98$), HM ($r=0,98$), STI ($r=0,98$), YI ($r=1$). Indeksi koji međusobno najviše koreliraju su MP, GMP, HM, SSI i YI. Sve njihove korelacije su pozitivne i u rasponu od (0.98-1). Indeksi TOL i SSI su međusobno u jakoj pozitivnoj korelaciji (0.97) dok s indeksima YSI i RSI imaju vrlo jaku negativnu korelaciju (-0.97,-1). Od ostalih korelacija značajna je i umjereno pozitivna korelacija indeksa TOL s MP (0.41), GMP (0.40), HM (0.39) i STI (0.40).

Tablica 16. Koeficijenti korelacije između prinosa zrna pod stresnim i nestresnim uvjetima i indeksa tolerantnosti na stres

	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Yp	0,94**	0,55**	0,99**	0,98**	0,98**	0,33*	0,98**	0,94**	-0,33*	-0,33*
Ys		0,23ns	0,98**	0,98**	0,99**	-0,02ns	0,98**	1,00**	0,02ns	0,02ns
TOL			0,41**	0,40**	0,39**	0,97**	0,40**	0,23ns	-0,97**	-0,97**
MP				1,00**	1,00**	0,17ns	1,00**	0,98**	-0,17ns	-0,17ns
GMP					1,00**	0,16ns	1,00**	0,98**	-0,16ns	-0,16ns
HM						0,15ns	1,00**	0,99**	-0,15ns	-0,15ns
SSI							0,16ns	-0,02ns	-1,00**	-1,00**
STI								0,98**	-0,16ns	-0,16ns
YI									0,02ns	0,02ns
YSI										1,00**

3.15. Korelacijska analiza za sadržaj proteina i devet indeksa

Rezultati korelacijske analize za sadržaj proteina u zrnu i devet indeksa prikazani su u tablici 17. Vrlo visoka pozitivna korelacija utvrđena je između sadržaja proteina pri HN (Yp) i MP ($r=0,99$), GMP ($r=0,99$), HM ($r=0,99$), STI ($r=0,99$), YI ($r=0,95$), umjerena pozitivna korelacija sadržaja proteina u zrnu pri HN utvrđena je s TOL (0.58), dok je slaba negativna korelacija utvrđena s indeksima YSI i RSI ($r=-0,33$). Prinos pri LN (Ys) je također kao i Yp u jakoj pozitivnoj korelaciji s MP ($r=0,99$), GMP ($r=0,98$), HM ($r=0,98$), STI ($r=0,98$), YI ($r=1$). Indeksi koji međusobno najviše koreliraju su MP, GMP, HM, SSI i YI. Sve njihove korelacije su pozitivne i u rasponu od (0.98-1). Indeksi TOL i SSI su međusobno u jakoj pozitivnoj korelaciji (0.97) dok s indeksima YSI i RSI imaju vrlo jaku negativnu korelaciju (-0.97,-1). Od ostalih korelacija značajna je i umjereno pozitivna korelacija indeksa TOL s MP (0.41), GMP (0.40), HM (0.39) i STI (0.40).

Korelacijska analiza za sadržaj proteina u zrnu i devet indeksa prikazana je u Tablici 17. Rezultati su slični analizi za prinos zrna. Vrlo visoka pozitivna korelacija utvrđena je između Yp i MP, GMP, HM (svi $r=0,99$), STI ($r=0,95$), YI ($r=0,95$), dok je umjerena pozitivna

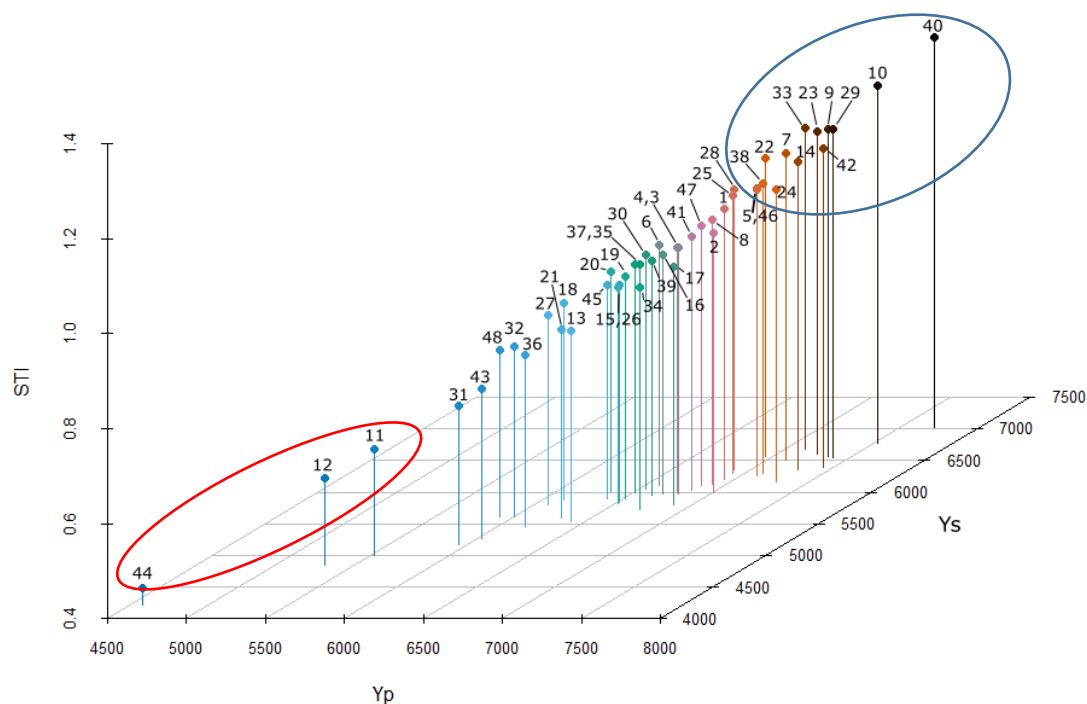
korelacija između Yp i TOL ($r=0,58$). Nema korelacije između Yp i SSI, YSI, RSI. Gotovo identične vrijednosti dobivene su i za Ys i iste indekse. Niska pozitivna korelacija između Ys i TOL ($r=0,30$), a korelacije s SSI, YSI i RSI nisu utvrđene.

Tablica 17. Koeficijenti korelacije između sadržaja proteina u zrnu pod stresnim i nestresnim uvjetima i indeksa tolerantnosti na stres

	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
Yp	0,95**	0,58**	0,99**	0,99**	0,99**	0,13ns	0,99**	0,95**	-0,13ns	-0,13ns
Ys		0,30*	0,99**	0,99**	0,99**	-0,17ns	0,98**	1,00**	0,17ns	0,17ns
TOL			0,45**	0,44**	0,43**	0,88**	0,46**	0,30*	-0,88**	-0,88**
MP				1,00**	1,00**	-0,01ns	1,00**	0,99**	0,01ns	0,01ns
GMP					1,00**	-0,02ns	1,00**	0,99**	0,02ns	0,02ns
HM						-0,04ns	1,00**	0,99**	0,04ns	0,04ns
SSI							0,00ns	-0,17ns	-1,00**	-1,00**
STI								0,98**	0,00ns	0,00ns
YI									0,17ns	0,17ns
YSI										1,00**

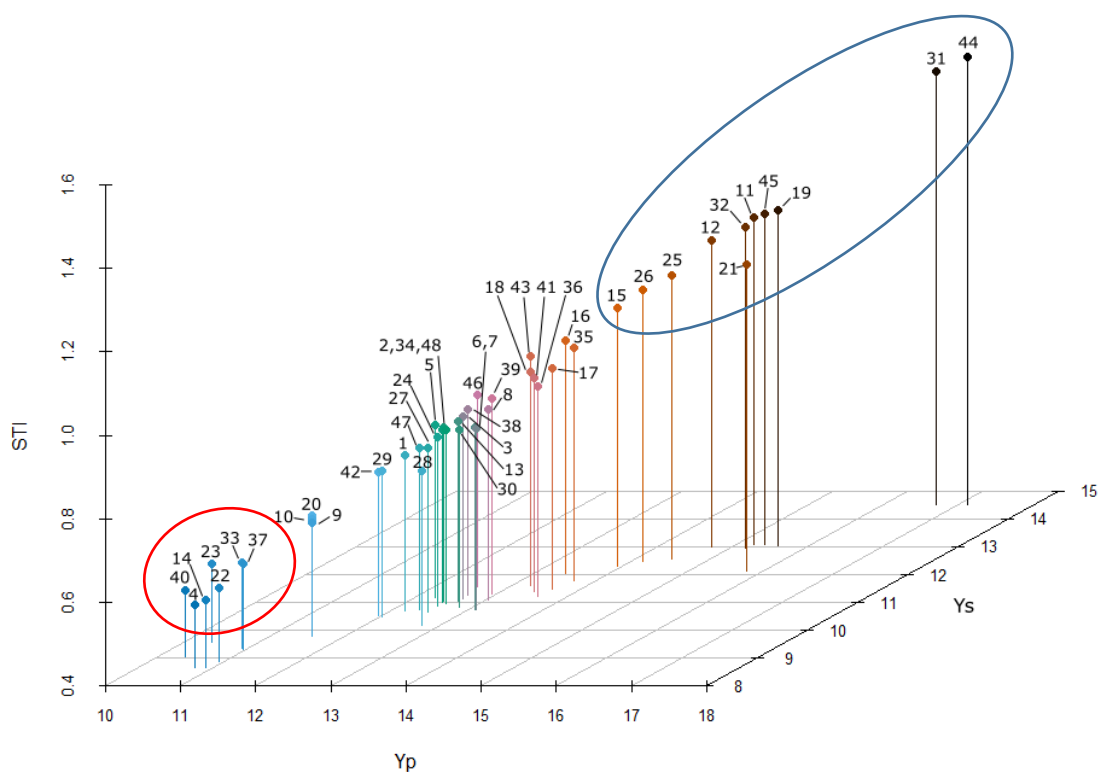
3.16. Identifikacija genotipova ozime pšenice tolerantnih na stres

S obzirom na vrlo visoku pozitivnu korelaciju između prinosa zrna i STI, kao i između sadržaja proteina i STI, pod HN i LN uvjetima, konstruiran je 3D dijagram za identifikaciju tolerantnih genotipova. Na temelju 3D dijagrama prikazanog na slici 3. genotipovi Sofru i BC Opsesija se se posebno ističu se kao genotipovi s najvišim STI vrijednostima i prinosom zrna pod stresnim i optimalnim uvjetima. Na istom dijagramu istaknut je klaster genotipova čiji je $STI > 1$. To su genotipovi: BC Darija, BC Irma, BC Ljepotica, BC Opsesija, Calisol, Graindor, Isengrain, Katarina, MV-Nemere, Prima, Silvija, Tika Taka i Vulkan. Suprotno tome, genotipovi U-1, BC Tena i Bezostaja-1 imaju najniže vrijednosti prinosa zrna pri oba N-tretmana i najniže vrijednosti STI. U poglavlju Prilozi (Dodatna slika 1. **a-h**) nalaze se 3D dijagrami za prinos i ostale indekse. 3D dijagrami **(a)**, **(b)**, **(c)**, **(d)** na dodatnoj slici 1. i 3D dijagram na slici 3. prikazuju gotovo identičan odnos vertikalne osi (indeksa) između genotipova za različite indekse u odnosu na prinos, dok na 3D dijagramima **(e)**, **(f)**, **(g)** i **(h)** nije moguće izdvojiti grupe genotipova koji imaju visoke (ili niske) prinose pri različitim N-tretmanima te istovremeno visoke ili niske vrijednosti indeksa.



Slika 3. 3D dijagram za STI i prinos zrna pod HN i LN tretmanima kod 48 genotipova ozime pšenice.

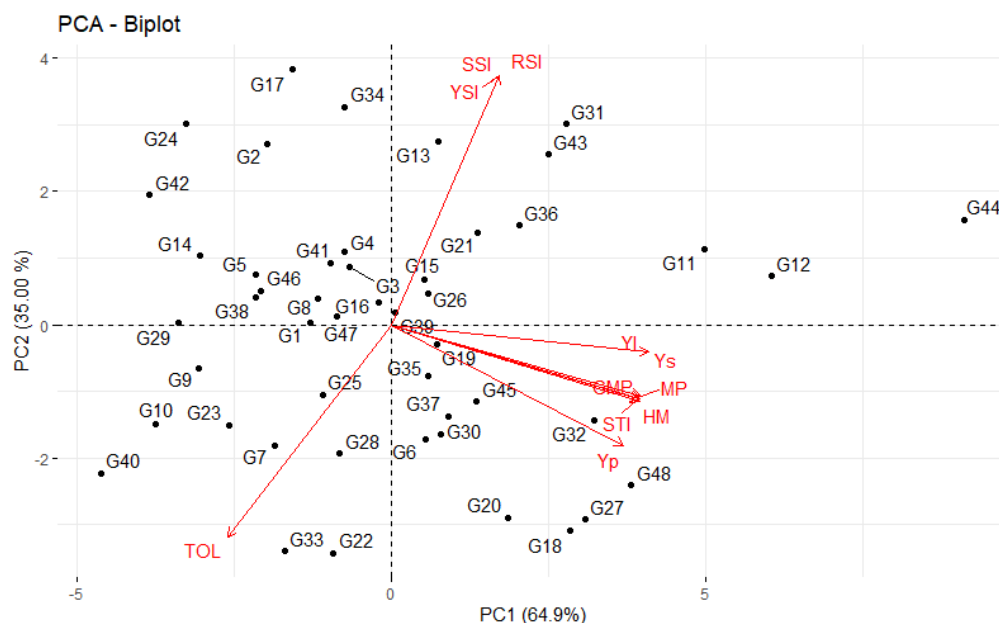
Slično kao i za prinos, konstruiran je 3D dijagram za identifikaciju tolerantnih genotipova s obzirom na STI i sadržaj proteina u zrnu pri HN i LN. 3D dijagram je prikazan na slici 4. te se na njemu ističe grupa genotipova s visokim vrijednostima sadržaja proteina u zrnu pri oba N-tretmana i STI vrijednostima većim od 1. U toj grupi se nalaze BC Tena, Bezostaja-1, Dropia, Forcali, Golubica, Kraljica, Lukullus, OS Crvenka, Viktorija te U-1 i OS Olimpija kao dva najistaknutija genotipa. Na istom dijagramu je također istaknuta grupa genotipova koji imaju nizak sadržaj proteina u zrnu pri HN i LN te najmanju vrijednost STI. U tu grupu pripadaju genotipovi BC Certissa, Calisol, Graindor, Isengrain, Prima, Sana i Sofru. Na dodatnoj slici 2. **a-h)** nalaze se 3D dijagrami za sadržaj proteina u zrnu i ostale indekse. 3D dijagrami **(a), (b), (c), (d)** na dodatnoj slici 2. i 3D dijagram na slici 4. prikazuju gotovo identičan odnos vertikalne osi (indeksa) između genotipova za različite indekse u odnosu na prinos, dok na 3D dijagramima **(e), (f), (g) i (h)** nije moguće izdvojiti grupe genotipova koji imaju visoke (ili niske) prinose pri različitim N-tretmanima te istovremeno visoke ili niske vrijednosti indeksa.



Slika 4. 3D dijagram za STI i sadržaj proteina pod HN i LN tretmanima kod 48 genotipova ozime pšenice.

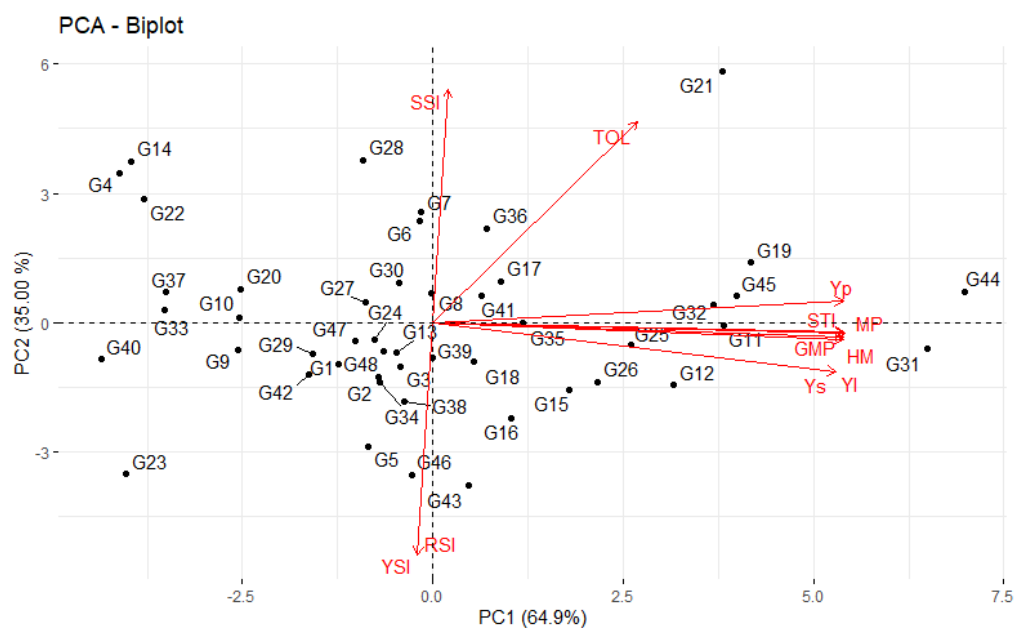
3.17. Analiza glavnih komponenti za devet indeksa, prinos zrna i sadržaj proteina pod HN i LN tretmanima

GGE biplot za prinos zrna i devet indeksa prikazan je na Slici 5. Manji kutovi između vektora označavaju veću vrijednost korelacije. Pozitivna korelacija postoji ako je kut manji od 90° , a negativna ako je veći od 90° . Ukupni doprinos prve dvije glavne komponente varijaciji iznosi 99,9%. Prva komponenta (PC1) doprinosi s 64,9% i pokazuje snažnu korelaciju s YI, Ys, GMP, MP, HM, STI i Yp. Druga komponenta (PC2) doprinosi s 35% i snažno je povezana s YSI, SSI, RSI i TOL.



Slika 5. GGE biplot za prinos zrna temeljen na prvoj (PC1) i drugoj (PC2) glavnoj komponenti za 48 genotipova i različite indekse.

Kao i kod PCA za prinos, ukupni doprinos prve dvije komponente varijaciji za sadržaj proteina također je 99,9%, a prva komponenta (PC1) doprinosi s 64,9% i snažno je povezana s YI, Ys, GMP, MP, HM, STI i Yp (Slika 6.). Druga komponenta (PC2) doprinosi s 35% i snažno je povezana s YSI, SSI, RSI i TOL.



Slika 6. GGE biplot za sadržaj proteina u zrnu temeljen na prvoj (PC1) i drugoj (PC2) glavnoj komponenti za 48 genotipova i različite indekse.

4. RASPRAVA

4.1. NUE i povezanost rekacije s genotipom i ostalim svojstvima

NUE je jedan od najvažniji koncepata u procjeni održivosti proizvodnje pšenice jer ukazuje na moguće ispiranje i gubitak hraniva u okolini koji dolazi iz proizvodnog sustava kulture (Fixen i sur., 2015). Prema Hawkesford i Griffiths (2019) ovo svojstvo ili koncept primarno je funkcija sposobnosti biljke da usvoji dušik (a kako tvrde Fageria i Baligar (2005)) ta sposobnost i učinkovitost biljke ovisi o genotipskim karakteristikama i funkcija je strukture i arhitekture korijena. Uočeno je da bolje razvijeno i dublje korijenje može povećati usvajanje dušika iz dubljih slojeva tla i time smanjiti gubitak nitrata i njegovo ispiranje u okoliš (Gastal i Lemaire, 2002). Obzirom na građu korijena rast u dubinu korijenja je važniji od njegove gustoće (Thorup-Kristensen i sur., 2009). Pored usvajanja, druga kritična fiziološka komponenta NUE koncepta predstavlja iskorištavanje dušika u biljci (NUE), odnosno količina zrna proizvedena po jedinici količine dušika (Ciampitti i Vyn, 2014). Razumijevanje procesa usvajanja dušika koje je u izravnoj korelaciji a NUE je nužno za razvoj izravnih oplemenjivačkih i agronomskih strategija koje paralelno mogu povećati urod zrna i NUE.

Postoje dva puta za poboljšanje NUE u pšenici: poboljšanje upravljanja gnojivom i/ili poboljšanje kultivara. Prva opcija usmjerena je na optimizaciju primjene dušičnih gnojiva prema potrebama usjeva te vremenskim i zemljišnim uvjetima. Druga je uzgojiti kultivare s poboljšanom efikasnošću usvajanja dušika u smislu poboljšanog unosa dušika i njegovog iskorištavanja (Barracough i sur., 2010). Važnost ovih komponenti u odnosu na NUE ovisit će o načinu mjerenja i izvođenja ovih svojstava, razini dušičnog stresa i raznolikosti germplazme korištenoj u evaluaciji (Han i sur., 2015).

U ovom istraživanju istražen je agronomski odgovor panela od 48 sorti ozime pšenice u šest okolina pri dvije razine dušika [predstavljajući optimalnu/standardnu poljsku N dostupnost (visoku, HN) i suboptimalnu (nisku, LN)]. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je kako je prinos bio značajno smanjen (za 10%), dok je protein bio značajno smanjen za 10% i 14%, kod LN u odnosu na HN. Smanjenja u GNY i količini dušika u nadzemnom djelu po jedinici površine također su bila manja za približno 20% kod LN. Suprotno tome, većina izvedenih NUE svojstava imala je značajno veće srednje vrijednosti kod LN u odnosu na HN, u rasponu od 7% za NUE_PROT do 19% za BPE.

Istraživanja u hrvatskim uvjetima uzgoja pokazala su slična smanjenja kod LN za GY (10%), GPC (13%) i GNY (21%) u skupu od 19 europskih kultivara pšenice (Šarčević i sur., 2014). Odgovori agronomskih svojstava na smanjenu gnojidbu dušikom bili su izraženiji u istraživanju 225 europskih kultivara pšenice koje je pokazalo približno 20% smanjenje u GY i GPC te odgovarajuće 30% povećanje u NUE i NUtE (Cormier i sur., 2013). To ukazuje na pojavu snažnijeg stresa uzrokovanim smanjenom gnojidbom dušikom iako je razlika u primijenjenim količinama dušičnih gnojiva između HN i LN tretmana bila konzistentna kroz sva navedena istraživanja. Pojava dušičnog stresa ranije u vegetacijskoj sezoni u istraživanju Cormier i sur. (2013) moglo bi biti objašnjenje za uočene razlike u agronomskim svojstvima. Razlike u agronomskim svojstvima također mogu odražavati razlike u agro-ekološkim i klimatskim uvjetima između sjeverozapadne Europe i jugoistočno-europskih uvjeta gdje je vegetacijska sezona uzgoja pšenice kraća i ekstremni vremenski uvjeti dovode do nižih prosječnih prinosa i šireg jaza u potencijalu prinosa (Cormier i sur., 2013; Schils i sur., 2018). Uz razlike u agro-ekološkim uvjetima, različiti odnosi između prinosa zrna i sadržaja proteina u zrnu s razinom usvajanja dušika mogu objasniti razlike u agronomskim svojstvima između istraživanja (Sadras i Lemaire, 2014).

4.2. Važnost utjecaja genetskih komponenti u analizi NUE

Prema rezultatima ovog istraživanja, vidljivo je kako je genotipska (G) varijanca bila značajna za sva svojstva, osim za NRE, sorta $\times$ okoliš (G $\times$ E) varijanca za sva svojstva, osim za NHI, NUtE_PROT, BPE i PANU, dok sorta $\times$ dušik (G $\times$ N) interakcija nije bila značajna za nijedno svojstvo (Tablica 9.). Prethodno su Cormier i sur. (2013) izvijestili o značajnom G $\times$ N za GY, GPC i nekoliko NUE svojstava, a značajne G $\times$ N interakcije za GY i druga agronomska svojstva također su potvrđene u nekoliko istraživanja pšenice (Ortiz-Monasterio i sur., 1997; Le Gouis i sur., 2000; Guarda i sur., 2004; Laperche i sur., 2006; Barraclough i sur., 2010; Gaju i sur., 2011). Hitz i sur. (2016) tvrde da postojanje G $\times$ N interakcije može biti korisno za oplemenjivače, jer omogućuje razlikovanje performansi genotipova između dva tretmana dušičnim gnojivima. U istraživanju Šarčević i sur. (2014), na području Republike Hrvatske G $\times$ N interakcija nije bila značajna za GY, ali je bila značajna za sva svojstva kvalitete zrna i za većinu reoloških parametara, za koje je negativan učinak smanjene N gnojidbe bio mnogo jači u odnosu na njezin učinak na GY. Druga nedavna istraživanja Guttieri i sur. (2017) i Russell i sur. (2017) nisu pronašla značajne G $\times$ N interakcije za GY ili bilo koja NUE svojstva za pšenicu uzgojenu u poljskim pokusima u Sjedinjenim Državama. Nedavno istraživanje pokazalo je da su G $\times$ N interakcije za GY u pšenici češće uočavane kada je tri ili više N razina

korišteno u eksperimentalnom dizajnu (Brasier i sur., 2020), što ukazuje da je vjerojatno potrebno daljnje eksperimentiranje za robusnu i učinkovitiju detekciju $G \times N$ interakcija.

Prema dobivenim rezultatima ovog istraživanja, genetske korelacije između HN i LN bile su visoke za GY, GPC i za izvedena NUE svojstva, odražavajući odsutnost značajne $G \times N$ interakcije za ova svojstva. Procjene nasljednosti za analizirana svojstva bile su ili slične za dvije N razine gnojidbe ili veće kod HN nego LN. Odražavajući to, učinkovitost neizravne selekcije kod HN za performanse kod LN u odnosu na izravnu selekciju kod LN (učinkovitost neizravne selekcije, ISE) bila je ≥ 1 za većinu svojstava. Općenito možemo reći da će neizravna selekcija za GY, GPC i većinu drugih proučavanih svojstava kod optimalne gnojidbe biti najmanje jednako efikasna kao izravna selekcija kod smanjene doze gnojiva. To je u skladu s prethodnim procjenama za pšenicu u Hrvatskoj (Šarčević i sur., 2014) i Sjevernoj Europi (Voss-Fels i sur., 2019) te ima implikacije za selekciju kultivara pšenice za N učinkovitost. U rezultatima prethodnih istraživanja zabilježene su niže vrijednosti ISE, što je bio rezultat visokog dušičnog stresa koji uzrokuje veća smanjenja prinosa i/ili sadržaja proteina u zrnu između LN i HN (Brancourt-Hulmel i sur., 2005; Cormier i sur., 2013). To je u skladu sa zaključkom Cormier i sur. (2016), koji tvrde da je neizravna selekcija efikasna u umjerenim N stresovima, ali ne nadmašuje izravnu selekciju u ekstremnim niskim N uvjetima. Slično, Hitz i sur. (2016), proučavajući NUE i povezana svojstva na ozimim pšenicama podrijetlom iz SAD-a, pod kontrastnim N stopama gnojidbe koje su rezultirale ozbiljnim N stresom, zaključili su da bez testiranja oplemenjivačkih linija u niskim N okolišima istovremeno, neće biti moguće identificirati sorte s visokim NUE. Međutim, u europskom kontekstu, malo je vjerojatno da će ciljni okoliš biti karakteriziran kao nizak N izvan specijalizirane organske proizvodnje. Međutim, pojavljivanje umjerenog N stresa mnogo je vjerojatniji unutar sadašnjeg proizvodnog i oplemenjivačkog okvira u područjima s općenito niskom plodnošću tla, smanjenom dostupnošću vode zbog suše ili nepovoljnih vremenskih uvjeta ili u zonama gdje postoje ograničenja u korištenju N gnojiva zbog zabrinutosti zbog mogućeg ispiranja N. To je također potvrđeno u provedenom istraživanju, gdje je učinak lokacije (Poreč vs. Osijek i Zagreb) bio izraženiji od učinka LN tretmana u smanjivanju GY. Slični rezultati uočeni su i u istraživanju Gaju i sur. (2011), koji su pokazali da su u četiri od sedam okolina srednje vrijednosti prinosa kod 16 europskih kultivara pšenice uzgojenih kod LN bile značajno veće od odgovarajućih srednjih vrijednosti prinosa pri oba HN i LN u najslabije prinosnoj okolini, iako je razlika u količini primijenjenog N gnojiva između HN i LN tretmana bila čak 200 kg N ha⁻¹. U kasnijem istraživanju, Gaju i sur. (2014) usporedili su akumulaciju N u komponentama

usjeva u vrijeme cvatnje, između najviše i najniže prinodne lokacije iz istog eksperimenta, i pronašli značajno veći sadržaj N u plojkama listova, stabljici i lisnim rukavcima i klasu na najviše prinodnoj lokaciji, bez obzira na razinu N gnojidbe. Slično, u istraživanju Brasier i sur. (2020), uključujući 12 US ozimih linija i kultivara pšenice, učinak godine na GY bio je izraženiji od učinka N gnojidbe primijenjene u rasponu od 45 do 134 kg N ha⁻¹.

U praktičnim uvjetima, Cormier i sur., (2013) testirali su oplemenjivački materijal u različitim okolinama i lokacijama, te su oplemenjivačke linije izlagali u utjecaju različitih razina HN i umjerenih LN okoliša. To vjerojatno objašnjava sličnost u genetskom napretku kod HN i LN utvrđenu u ovom i sličnim istraživanjima (Voss-Fels i sur., 2019). Daljnja optimizacija višeokolinskog okvira mogla bi uključiti smanjenu razinu N gnojiva na ograničenom broju lokacija kako bi se povećala učestalost stresnih okoliša. To je inače prethodno istraživano kao komponenta NUE selekcijskog okvira kod Cormier i sur. (2013) i vjerojatno bi dala bolji uvid u stabilnost proizvodnog prinosa oplemenjivačkih linija i kultivara. To bi bilo posebno korisno za procjenu svojstava kvalitete za proizvodnju kruha, koja su se pokazala osjetljivija na smanjenu N gnojidbu od GY (Šarčević i sur., 2014).

Analizom rezultata ovog istraživanja utvrđeno je da je značajan genetski (oplemenjivački) napredak ostvaren za prinos i većinu analiziranih svojstava kod oba LN i HN u 48 procijenjenih kultivara. Genetsko poboljšanje u GY procijenjeno je na 0,31 i 0,34% godina⁻¹, s pratećim smanjenjem u PH (-0,38 i -0,42% godina⁻¹) i BPE (-0,13 i -0,11% godina⁻¹) kod LN i HN, respektivno. Kao posljedica smanjivanja PH i BPE uz povećanje GY, HI je povećan za 0,24 i 0,28% godina⁻¹ kod LN i HN, respektivno.

Iz perspektive poboljšanja NUE kroz stvaranje novih kultivara pšenice, Cormier i sur. (2013) utvrdili su povećanje NUE na europskoj pšenici između 1985. i 2010. na 0,37 i 0,30% godina⁻¹, respektivno, kod LN i HN. Ortiz-Monasterio i sur. (1997) utvrdili su genetski napredak za NUE na 0,4-1,1% godišnje ovisno o N razinama u CIMMYT-ovoj jaroj pšenici izdanoj između 1962. i 1985. U provedenom istraživanju, NUE napredak između 1936. i 2016. bio je 0,33 i 0,30% godina⁻¹, što se prevodi u genetsko poboljšanje u NUE od 8,26 i 7,94 kg DM kg⁻¹ N ili ukupno 26,7 i 24,3% kod LN i HN, respektivno. Slične razine povećanja NUE zabilježene su u kanadskoj jaroj pšenici (Kubota i sur., 2018; 0,34% godišnje u NUE pod HN). Kako je NUE složeno svojstvo i definirano je kao umnožak NUpE i NUtE (Moll i sur., 1982), njegovo poboljšanje trebalo bi se ostvariti kroz selekciju na jednoj od njegovih komponenti. U ovom istraživanju utvrđeno je da NUtE ima jači učinak na NUE od NUpE na temelju procijenjenih

koeficijenta korelacije (0,80 prema 0,70 kod LN, i 0,76 prema 0,49 kod HN). To je u skladu s drugim autorima koji su utvrdili genetsku varijaciju u NUE više povezanu s NUtE (Brancourt-Hulmel i sur., 2003; Gaju i sur., 2011; Uzik i sur., 2012; Cormier i sur., 2013). Međutim, nekoliko drugih istraživanja prijavilo je slične doprinose ili dominaciju NUpE (Van Sanford i MacKown, 1986, Dhugga i Waines, 1989), posebno kod LN (Ortiz-Monasterio i sur., 1997; Le Gouis i sur., 2000). U ovom istraživanju utvrđen je pozitivan utjecaj oplemenjivanja na NUpE (godišnje povećanje od 0,15 i 0,12%), i za NUtE (0,15 i 0,20% kod LN i HN, respektivno).

Kao u drugim istraživanjima (Voss-Fels i sur., 2019), NUE izmjeren pod LN bio je veći od onog izmjerenog pod HN u analiziranom skupu podataka. To sugerira da do sada odabrani kultivari imaju urođeni kapacitet za veći NUE, koji opada pod HN uvjetima. Identificiranje kultivara koji mogu održati visok NUE u HN uvjetima trebalo bi omogućiti poboljšanje prinosa s nižim negativnim utjecajem na okoliš. Alternativni cilj NUE predložili su Sylvester-Bradley i Kindred (2009), koji su definirali ekonomski N optimum kao razinu dušika potrebnu za postizanje visokog prinosa s najnižim troškovima inputa za maksimiziranje profita. Iako se ekonomski N optimum ne može koristiti kao oplemenjivački cilj *per se*, ističe se važnost N odzivnosti za poboljšanje NUE (Swarbreck i sur., 2019). Naime, kultivari koji pokazuju visoku N odzivnost koja se održava pod visokim N pokazuju niži ekonomski N optimum. Prema Sylvester-Bradley i sur. (2015) selekcija pod različitim N razinama procjenjuje N odzivnost sorte, potencijalno omogućavajući selekciju kultivara koji su vrlo odzivni na niske N i visoke N uvjete. Idealna sorta trebala bi posjedovati visoku genetsku N učinkovitost i visoku N odzivnost, pa svojstva za N učinkovitost i odzivnost ne bi trebala biti genetski povezana kako bi se odabrao genotip koji ima bolje performanse pod oba uvjeta (Han i sur., 2015). S druge strane, De Oliveira Silva i sur. (2020) utvrdili su da genotipovi s visokim srednjim odgovorom i visokom varijabilnošću u svom odgovoru na više razine N gnojide kroz godine mogu pružiti veće mogućnosti za maksimiziranje prinosa što je vrlo korisna informacija za poljoprivredne proizvođače.

U ovom istraživanju utvrđeno je da se agronomska svojstva i svojstva vezana za korištenje dušika značajno razlikuju između N razina i okoliša, svojstva su dosljedno korelirana bez obzira na N razinu. Svi testirani genotipovi pokazali su zajednički usmjeren odgovor kod LN i HN, a razine svojstava kod HN općenito su predviđale razine svojstava kod LN iako izravna selekcija nudi mogućnosti za optimizaciju nekih N povezanih svojstava. Analiza oplemenjivačkog napretka otkrila je poboljšanja u NUE kroz vrijeme povezana s poboljšanjem

prinosu. Dobiveni rezultati su značajni za širenje znanja za buduće selekcije i oplemenjivanja za N učinkovitost u uzgoju pšenice u jugoistočnoeuropskoj regiji i pružaju daljnje dokaze potvrđujući da je selekcija kod optimalnog N najrelevantnija za pružanje poboljšane N učinkovitosti u pšenici.

4.3. Selekcija genotipova ozime pšenice tolerantnih na nisku razinu dušika pomoću indeksa za procjenu stresa

Visoka potrošnja dušičnih gnojiva nije rješenje za visoke zahtjeve u biljnoj proizvodnji zbog različitih štetnih učinaka na okoliš (Conley i sur., 2009). Zbog toga je oplemenjivanje usmjereno na visoku učinkovitost korištenja dušika (NUE) od ključne važnosti za održivu poljoprivrednu proizvodnju. Najčešći cilj oplemenjivanja biljaka jest selekcija genotipova s najboljom uspješnošću u prinosu i parametrima kvalitete zrna u stresnim uvjetima. Najčešće ispitivani stresni uvjeti u agronomskim istraživanjima su nepovoljne klimatske prilike praćene promjenama temperature i/ili nedostatkom vode. No, nedostatak hranjiva naročito dušika također predstavlja izvor stresa za rast pšenice što se i u ovom istraživanju potvrdilo prvenstveno kroz značajno smanjenje prinosa za 10.16% i sadržaja proteina u zrnu za 13.85%.

U provedenom istraživanju korišteni su različiti indeksi za procjenu stresa kao alat za selekciju genotipova ozime pšenice tolerantnih na nisku razinu dušika. Indeksi MP, GMP, HM, STI i YI pokazali su vrlo visoku i pozitivnu korelaciju s prinosom zrna i sadržajem bjelancevina u zrnu u stresnim i nestresnim uvjetima. Istraživanja na pšenici koje su proveli Khana i sur. (2014) te Sio Se i sur. (2006), ali i na drugim vrstama poput uljane repice i kukuruza (Dehghani i sur. 2009, Jafari i sur. 2009 i Lyra i sur. 2017), potvrđuju ovaj trend koreliranosti navedenih svojstava za prinos zrna. Prema istraživanjima na pšenici (Sareen i sur. 2012, Mohammadi i sur. 2016), STI, GMP i MP su najrelevantniji indeksi za identifikaciju genotipova otpornijih na stres.

SSI i TOL koriste niske vrijednosti kao kriterij za selekciju. Interakcija između TOL-a i prinosa zrna u uvjetima visoke razine dušika (HN) u ovom istraživanju pokazuje snažnu pozitivnu korelaciju. Različita istraživanja na pšenici (Blanco i sur, Singh i sur 2017., Clarke i sur. 1992., i Mohammadi R. 2016.) dala su slične rezultate kod visoke razine dušika. Spomenuta istraživanja su zabilježila značajnu negativnu korelaciju između prinosa u stresnim uvjetima i TOL-a, dok je u našem istraživanju ta interakcija bila blago pozitivna. Dobiveni rezultati

također se slažu s istraživanjem Ehdaie i Shakiba (1996.) kod kojeg indeks osjetljivosti na stres (SSI) i prinos zrna nisu bili u korelaciji u nestresnim uvjetima kod pšenice.

3D dijagram za prinos zrna i STI pokazuje grupu od dva genotipa (Sofru i BC Opsesija) koji daju visoke prinose u uvjetima optimalne i suboptimalne razine dušika, a imaju visoku vrijednost STI. Na istom dijagramu može se identificirati grupa genotipova koji daju niske prinose (BC Tena, Bezostaja i U-1) pri čemu imaju niske vrijednosti STI. 3D dijagram za sadržaj bjelančevina u zrnu i STI pokazuje klaster od dva genotipa (U-1 i OS-Olimpija) koji se ističu po visokom sadržaju GPC pri obe razine dušika i visokim STI, također prikazana je grupa genotipova (BC Certissa, Calisol, Graindor, Isengrain, Prima, Sana, Sofru) koja daje niski GPC pri oba N-tretmana i niske STI vrijednosti. Svi navedeni genotipovi se ističu kao oni s najvišim vrijednostima prinosa zrna i GPC-a, zajedno s najvišim vrijednostima STI ili kao oni s najnižim vrijednostima prinosa zrna i GPC-a, zajedno s najnižim vrijednostima STI. Zbog toga se mogu smatrati visokoprinosnim ili niskoprinosnim genotipovima pri obe razine dušika. Khan i sur. (2016) te Zhao i sur. (2019) također su koristili 3D dijagrame u kombinaciji s prinosom zrna u oba uvjeta i STI indeksom za procjenu tolerantnih genotipova.

Klasifikaciju genotipova prema njihovoj uspješnosti u uvjetima stresa i bez stresa opisao je Fernandez (1992.). Genotipovi koji pokazuju ujednačenu i visoku uspješnost i u stresnim i u nestresnim uvjetima svrstavaju se u skupinu A; genotipovi koji pokazuju visoku uspješnost samo u uvjetima s optimalnom količinom dušika, ali ne i u stresnim uvjetima, pripadaju skupini B. Genotipovi koji ostvaruju bolje rezultate u stresnim nego u nestresnim uvjetima čine skupinu C, dok genotipovi čija je uspješnost u prinosu zrna i parametrima kvalitete niska i u stresnim i u optimalnim uvjetima pripadaju skupini D. Na temelju 3-D dijagrama za prinos zrna i indeksa za stres te za GPC i indeksa za stres pokazalo se da niti jedan od ispitivanih genotipova ne pripada grupi B ili C.

Za identifikaciju superiornih genotipova i prikladnih indeksa za selekciju genotipova tolerantnih na stres, korišten je GGE biplot koji grafički analizira strukturu podataka u obliku glavnih komponenti. U ovoj analizi korištene su prve dvije komponente. Prva (PC1) i druga komponenta (PC2) objašnjavaju 99,9 % ukupne varijance za 48 genotipova za prinos zrna pri oba N-tretmana i 9 indeksa (Slika 5.) te GPC pri oba N-tretmana i 9 indeksa (Slika 6). U istraživanjima koja su proučavala učinak stresa na agronomska svojstva (Farshadfar i sur. 2013, Lestari i sur. 2019) uočen je veliki doprinos prve i druge komponente ukupnoj varijanci koji je bio veći od 98%. U istim istraživanjima utvrđeno je kako prinos u stresnim i nestresnim

uvjetima te indeksi MP, GMP, HM, STI snažno pozitivno koreliraju s PC1 dok indeksi SSI, TOL i RSI koreliraju s PC2 što je potvrđeno i u ovom istraživanju.

Kao što je već prethodno navedeno u ovom istraživanju analiziran je odgovor 48 genotipova ozime pšenice na uvjete visoke (HN) i niske (LN) razine dušika primjenom ili izostavljanjem dušičnog gnojiva. Genotipovi Sofru i BC Opsesija identificirani su kao najtolerantniji za prinos zrna u uvjetima niskog dušika na temelju pet selekcijskih indeksa (MP, GMP, HM, STI i YI). Za iste indekse, ali za sadržaj proteina u zrnu (GPC), genotipovi U-1, OS-Olimpija odabrani su kao najtolerantniji u uvjetima niskog dušika. Uz razmatranje triju dodatnih indeksa (TOL, YSI i RSI), genotipovi Katarina i Ficko označeni su kao tolerantni na LN u slučaju prinosa zrna, dok su genotipovi Isengrain, Tosunbey, Vulkan i BC Darija identificirani kao tolerantni u slučaju GPC-a. Rezultati pokazuju da se indeksi MP, GMP, HM, STI i YI mogu koristiti za identifikaciju genotipova koji ostvaruju visoke prinose i visokokvalitetno zrno u uvjetima s dovoljnom i nedovoljnom količinom dušika. Indeksi TOL, YSI i RSI pokazali su slabu ili nikakvu korelaciju s učinkom prinosa i GPC-a pod stresnim i optimalnim uvjetima. Procjena genotipova na temelju indeksa za stres može biti korisna oplemenjivačima pšenice jer omogućuje praćenje učinkovitosti genotipova u stresnim uvjetima. Također, tolerantni genotipovi mogu se koristiti za razvoj novih visokoprinosnih genotipova pogodnih za stresne uvjete.

4.4. Nedostaci korištenja indeksa za selekciju otpornosti na stres

Iako se indeksi za stres koriste kao alat za identifikaciju genotipova u istraživanjima, potrebno je istaknuti neke potencijalne nedostatke u njihovom korištenju. Idealni indeksi za selekciju otpornosti na stres trebali bi jasno razlikovati genotipove po skupinama koje je uveo Fernandez (1992). Fernandez (1992) je također istaknuo da indeksi SSI i TOL ne mogu razlikovati skupine A i C, dok MP ne može razlikovati skupine A i B. GMP ima isti nedostatak kao i MP, ali je bolji i precizniji u razlikovanju skupina A i B nego MP. Kako je opisano u istraživanju Thiry i suradnika (2016), SSI i TOL mogu razlikovati stresno otporne i stresno osjetljive genotipove, dok se GMP, HM i MP oslanjaju na visoku uspješnost, te su stoga ovih pet indeksa podijeljeni u dvije skupine: PCI (indeksi proizvodnog kapaciteta – STI, GMP, MP) i RCI (indeksi kapaciteta otpornosti – SSI, TOL). SSI i TOL klasificiraju genotipove isključivo na temelju smanjenja prinosa u stresnim uvjetima (Fisher i sur. 1979). Korištenje isključivo ova dva indeksa u selekciji može dovesti do isticanja genotipova koji imaju nisku produktivnosti u optimalnim uvjetima, a visoku u stresnim uvjetima čime se umanjuje značaj visokoprinosnih

genotipova u optimalnim i stresnim uvjetima (Kadhem, 2017.). Zhao i suradnici (2019) ističu da je selekcija genotipova temeljena isključivo na GMP i MP djelomična i može dovesti do pogrešaka, jer ti indeksi prikazuju srednju uspješnost prinosa zrna pri različitim razinama dušika. Kombinirana uporaba STI s GMP i MP poboljšava selekciju genotipova. Stoga je za učinkovitije korištenje indeksa u selekciji tolerantnih genotipova na dušični stres potrebno kombinirati rezultate više indeksa i testirati odziv genotipova u različitim okolinama i različitim razinama gnojidbe. Nadalje, kako bi umanjili nedostatke korištenja indeksa u evaluaciji stresa potrebno ih je koristiti kao jedan od alata u istraživanjima koja osim mjerenja utjecaja dušičnog stresa na prinos uključuju praćenje učinkovitosti korištenja dušika.

4.5. Izazovi i budući pravci istraživanja

Istraživanja NUE kod pšenice u posljednjem desetljeću znatno je unaprijedilo naše razumijevanje genetskih, fizioloških i okolišnih čimbenika koji kontroliraju ovo složeno svojstvo. Identifikacija genetskih čimbenika (Qtl-ovi i geni kandidati) povezanih s napretkom u novim tehnologijama fenotipizacije i metodama oplemenjivanja pružaju čvrstu osnovu za razvoj novih poboljšanih sorti pšenice.

Razumijevanje NUE zahtijeva integraciju informacija iz područja genomike, transkriptomike, proteomike i metabolomike. Pristup temeljen na sistemskoj biologiji može identificirati ključne regulatorne mreže i metaboličke puteve uključene u kontrolu učinkovitosti iskorištenja dušika. Ove spoznaje mogu usmjeriti ciljane oplemenjivačke strategije i identificirati nova svojstva za oplemenjivanje (Xu i sur. 2012). Nadalje, analiza mreže i modeliranje fizioloških puteva može otkriti interakcije u metabolizmu dušika i drugih fizioloških procesa rezultirajući više naglašenom holističkom pristupu u oplemenjivanju bilja, uz istovremenu integraciju s fenotipskim informacijama.

Bolje razumijevanje genetske osnove NUE uz primjenu novih tehnologija kao što je CRISPR-Cas9 omogućava preciznu modifikaciju ključnih gena uključenih u metabolizam dušika. Tehnika tzv. speed breeding može ubrzati razvoj generacija u oplemenjivanju, skraćujući vrijeme za razvoj novog kultivara. Različite fenomske platforme koje integriraju tehnologije s višestrukim senzorima, kontrolom okolišnih sustava i automatiziranom analizom već povećavaju preciznost i produktivnost u istraživanjima NUE. Kombinacija gore navedenih tehnologija s naprednim statističkim metodama i metodama strojnog učenja nude mogućnost značajnog unapređenja pristupa u oplemenjivanju za kompleksna svojstva poput NUE.

Međutim, prijenos ovih spoznaja i znanja u praktično oplemenjivanje ostaje izazov, poglavito zbog kvantitativne prirode NUE, značajnog prisustva interakcije $G \times E$ te pozitivnih i negativnih kompenzatornih učinaka s ostalim važnim svojstvima. Budući prioriteti u istraživanju NUE bi se trebali usmjeriti na razvoj objedinjavajućih pristupa koji uključuju genomsku selekciju, preciznu fenotipizaciju i multi-lokacijska testiranja kako bi se ubrzala genetska dobit za NUE uz istovremeno održavanje razine prinosa i standarda mlinsko-pekarske kakvoće pšenice.

Krajnji uspjeh u poboljšanja NUE ovisit će o razvoju kultivara koji posjeduju visok genetski potencijal za urod u uvjetima reducirane opskrbe dušikom uz istovremenu adaptabilnost na različite klimatske promjene, agro-ekološke uvjete i tehnologiju same proizvodnje. Postizanje ovog cilja zahtijeva kontinuirano ulaganje u temeljna istraživanja, razvoj novih tehnologija i kolaborativnih oplemenjivačkih programa u koje se učinkovito mogu prenijeti nove znanstvene spoznaje u praktična rješenja u održivoj proizvodnji pšenice.

5. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja utvrđeno je da su različiti N-tretmani značajno utjecali na agronomska svojstva. Povećanje razine dušika dovelo je povećanja uroda i sadržaja proteina u zrnu. Također došlo je i do povećanja ukupne količine dušika u zrnu i ukupne količine dušika dostupnog usjevu. Gnojidba je negativno utjecala na učinkovitost proizvodnje biomase što je rezultiralo značajnim smanjenjem proizvedene biomase. Gnojidba je uzrokovala smanjenje učinkovitosti korištenja dušika za zrno i za učinkovitost iskorištenja dušika za zrno. Gnojidba nije značajno utjecala na učinkovitost usvajanja dušika iz tla, ali je dovela do smanjenja učinkovitost korištenja dušika za protein u zrnu, a povećala učinkovitost iskorištenja dušika za protein u zrnu. Sorta Sofru se ističe u najvišim vrijednostima prinosa zrna, efikasnosti korištenja i iskorištenja dušika pri oba N-tretmana, nasuprot tome sorta U-1 za ista svojstva ima najniže vrijednosti.

Analizirajući utjecaj izvora variranja na agronomska svojstva utvrđeno je da na prinos najveći utjecaj ima okolina, dok na sadržaj proteina u zrnu najviše utječu sorta i okolina. Učinkovitost korištenja dušika za prinos je najviše pod utjecajem sorte. Također je pod značajnom utjecajem interakcija između sorte i okoline te interakcija između N-tretmana i okoline. Utvrđene heritabilnosti za prinos te za učinkovitost korištenja i iskorištenja dušika su visoke. Nešto niže vrijednosti heritabilnosti su utvrđene kod učinkovitosti usvajanja dušika.

Korelacijskom analizom utvrđeno je da je učinkovitost korištenja dušika u jakoj i značajnoj pozitivnoj korelaciji s učinkovitošću iskorištenja i učinkovitošću usvajanja dušika pri niskoj opskrbljenosti dušikom. Pri stanju optimalne opskrbljenosti dušikom korelacija NUE s komponentama (NUpE i NUtE) je bila nešto niža.

Analizom stresnih indeksa za prinos u stresnim i optimalnim uvjetima utvrđena je vrlo jaka i pozitivna korelacija prinosa pri oba N-tretmana s MP, GMP, HM, STI i YI. Isti indeksi su pokazali vrlo jaku i pozitivnu korelaciju i sa sadržajem proteina u zrnu pri oba N-tretmana. Kultivari s obzirom na najveću produktivnost u stresnim i optimalnim uvjetima prinos su Sofru i BC Opsesija, a s obzirom na sadržaj proteina u zrnu U-1 i OS Olimpija. Kultivar koji je pokazao najmanju osjetljivost na reduciranu opskrbu dušikom za prinos je Flamura 85, a za sadržaj proteina u zrnu je Isengrain.

6. LITERATURA

1. Annicchiarico P., (2002.) Genotype X environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations, FAO, Rome
2. Annicchiarico, P., Chiapparino, E., and Perenzin, M. (2010). Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations, and implications for selection. *Field Crops Res.* 116, 230-238.
3. Araus, J. L., & Cairns, J. E. (2014). Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in plant science*, 19(1), 52-61.
4. Barraclough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., i sur. (2010). Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *Eur. J. Agron.* 33, 1–11.
5. Bidinger, F. R., V. Mahalakshmi, and G. D. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 49– 59.
6. Blanco, A.; Mangini, G.; Giancaspro, A.; Give, S.; Colasuonno, P.; Simeone, R.; Signorile, A.; De Vita, P.; Mastrangelo, A.M.; Cattivelli, L.; i sur.. Relationships between grain protein content and grain yield components through quantitative trait locus analyses in a recombinant inbred line population derived from two elite durum wheat cultivars. *Mol. Breed.* 2012, 30, 79–92.
7. Bouslama, M., and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933–937.
8. Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Pluchard, P., Beghin, D., Depatureaux, C., Giraud, A., i sur. (2005). Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. *Crop Sci.* 45, 1427–1431.
9. Brancourt-Hulmel, M., Heumez, E., Pluchard, P., Beghin, D., Depatureaux, C., Giraud, A., i sur. (2005). Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. *Crop Sci.* 45, 1427–1431.

10. Brasier, K., Oakes, J., Balota, M., Reiter, M., Jones, N., Pitman, R., i sur.. (2020). Genotypic variation and stability for nitrogen use efficiency in winter wheat. *Crop Sci.* 60, 32–49. doi: 10.1002/csc2.20006
11. Ceccarelli S. (1996). Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*. 92, 203–214.
12. Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochem Photobiol.* 70, 1–9.
13. Ciampitti, I.A., and T.J. Vyn. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Res.* 133:48–67. doi:10.1016/j.fcr.2012.03.008
14. Clarke, J.M.; DePauw, R.M.; Townley-Smith, T.F. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.* 1992, 32, 723–728.
15. Conley, D.J.; Paerl, H.W.; Howarth, R.W. (2009) Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*, 323, 1014–1015.
16. Cormier, F., Faure, S., Dubreuil, P., Heumez, E., Beauchêne, K., Lafarge, S., i sur. (2013). A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 126, 3035–3048.
17. Cormier, F., Foulkes, J., Hirel, B., Gouache, D., Moënné-Loccoz, Y., and Le Gouis, J. (2016). Breeding for increased nitrogen-use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). *Plant Breeding*. 135, 255-278.
18. Cormier, F., Le Gouis, J., Dubreuil, P., Lafarge, S., and Praud, S. (2014). A genome-wide identification of chromosomal regions determining nitrogen use efficiency components in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 127, 2679–2693.
19. Crawford, N.M., and Forde, B.G. (2002). „Molecular and developmental biology of inorganic nitrogen nutrition“, in *The Arabidopsis book*, ed. E.M. Meyerowitz (Rockville, MD: American Society of Plant Biologists).
20. Cullis, B. R., Smith, A. B., and Coombes, N. E. (2006). On the design of early generation variety trials with correlated data. *J. Agric. Biol. Environ. Sci.* 11, 381–393. doi: 10.1198/108571106X154443

21. De Oliveira Silva, A., Slafer, G. A., Fritz, A. K., and Lollato, R. P. (2020). Physiological basis of genotypic response to management in dryland wheat. *Front. Plant Sci.* 10:1644. doi: 10.3389/fpls.2019.01644
22. Dehghani, G.H.; Malekshhi, F.; Alizadeh, B. A study of drought tolerance indices in canola (*Brassica napus* L.) genotypes. *J. Sci. & Tech. Agric. & Natural Resources.* 2009, 13(48), 77-90
23. Dhugga, K.S., and Waines, J.G. (1989). Analysis of Nitrogen Accumulation and Use in Bread and Durum Wheat. *Crop Sci.* 29, 1232-1239. doi: 10.2135/cropsci1989.0011183X002900050029x.
24. Diaz, U., Saliba-Colombani, V., Loudet, O., Belluomo, P., Moreau, L., Daniel-Vedele, F., i sur. (2006). Leaf yellowing and anthocyanin accumulation are two genetically independent strategies in response to nitrogen limitation in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.* 47, 74–83.
25. Ding, L., Wang, K.J., Jing, G.M., Biswas, D.K., Xu, H., Li, L.F., i sur. (2005). Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. *Ann. Bot. (Lond).* 96, 925–930.
26. Dixon, J., Braun, H.J., Kosina, P., and Crouch, J. (2009). Wheat facts and futures 2009. Mexico, D.F.: CIMMYT.
27. Ehdaie, B., & Shakiba, M. R. (1996). Relationship of internode-specific weight and water-soluble carbohydrates in wheat. *Cereal Research Communication*, 24, 61-67.
28. Fageria NK, Baligar VC (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv Agron* 88:97–185
29. Falconer, D. S., and Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*, 4th Edn. Harlow: Addison Wesley Longman.
30. FAOSTAT 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
31. Farshadfar, E.; Mohammadi, R.; Farshadfar, M.; Dabiri, S. Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat rye disomic addition lines. *Aust. J. Crop Sci.* 2013, 7, 130–138.

32. Fernandez, G.C.J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, Taiwan, 13–18 August 1992.
33. Fischer, R. A., and T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 30: 1001–1020.
34. Fischer, R.A.; Maurer, R. Drought resistance in spring wheat cultivars I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 1978, 29, 897–912.
35. Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T., Garcia, F., Norton, R., and Zingore, S. (2015). “Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends,” in *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*, eds P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen, and D. Wichelns (Paris: IFA), 8–38.
36. Foulkes, M., Hawkesford, M., Barraclough, P., Holdsworth, M., Kerr, S., Kightley, S., i sur.. (2009). Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Res.* 114, 329–342. doi: 10.1016/j.fcr.2009.09.005
37. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., i sur. (2014). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Res.* 155, 213–223.
38. Garnett, T., Conn, V., & Kaiser, B. N. (2009). Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. *Plant, cell & environment*, 32(9), 1272–1283. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02011.x>
39. Gastal F, Lemaire G (2002) N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J Exp Bot* 53:789–799
40. Gavuzzi, P.; Rizza, F.; Palumbo, M.; Campalino, R.G.; Ricciardi, G.L.; Borghi, B. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Can. J. Plant Sci.* 1997, 77, 523–553.
41. Good, A.G., Shrawat, A.K., and Muench, D.G. (2004). Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? *Trends Plant Sci.* 9, 597–605.

42. Górny AG, Banaszak Z, Ługowska B, Ratajczak D (2011) Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. *Euphytica*, 177:191–206. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0230-z>
43. Goulding, K. (2004). „Pathways and losses of fertilizer nitrogen at different scales“, in *Agriculture and the Nitrogen cycle. Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment*, ed. A.R. Mosier, Syersand, J.K., Freney, J.R. (Washington: Island Press), 209–218.
44. Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., and Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*. 18, 241–247.
45. Guttieri, M.J., Frels, K., Regassa, T., Waters, B.M., and Baenziger, P.S. (2017). Variation for nitrogen use efficiency traits in current and historical great plains hard winter wheat. *Euphytica*. 213:87. doi: 10.1007/s10681-017-1869-5
46. Habash, D. Z., Bernard, S., Schondelmaier, J., Weyen, J., Quarrie, S. A. (2007). The genetics of nitrogen use in hexaploid wheat: N utilisation, development and yield. *Theoretical and applied genetics*, 114(3), 403–419. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0429-5>
47. Han, M., Okamoto, M., Beatty, P. H., Rothstein, S. J., and Good, A. G. (2015). The genetics of nitrogen use efficiency in crop plants. *Ann. Rev. Genet.* 49, 269–289. doi: 10.1146/annurev-genet-112414-055037
48. Hawkesford, M. J., & Griffiths, S. (2019). Exploiting genetic variation in nitrogen use efficiency for cereal crop improvement. *Current opinion in plant biology*, 49, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.05.003>
49. He, X., Qu, B., Li, W., Zhao, X., Teng, W., Ma, W., i sur.. (2015). The nitrate inducible NAC transcription factor TaNAC2-5A controls nitrate response and increases wheat yield. *Plant Physiol.* 169, 1991–2005.
50. Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., & Gallais, A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of experimental botany*, 58(9), 2369–2387. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm097>

51. Hitz K., Clark A.J., and Van Sanford D.A. (2016). Identifying nitrogen-use efficient soft red winter wheat lines in high and low nitrogen environments. *Field Crops Research*. 200, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.001>
52. Jafari, A.; Paknejad, F.; Alahmadi, M.J. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Int. J. Plant Prod.* 2009, 3, 33–38.
53. Kadhém, M. (2017). Screening drought tolerance in bread wheat genotypes (*triticum aestivum* L.) using drought indices and multivariate analysis. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 48(Special). <https://doi.org/10.36103/ijas.v48ispecial.244>
54. Kant, S., Bi, Y.M., and Rothstein, S.J. (2011). Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. *J. Exp. Bot.* 62, 1499–1509. doi: 10.1093/jxb/erq297.
55. Khan, A.A.; Kabir, M.R. 2014 Evaluation of spring wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) for heat stress tolerance using different stress tolerance indices. *Cercet. Agron. Mold.*, 47, 49–63.
56. Khan, F. U.; Mohammad, F. Application of stress selection indices for assessment of nitrogen tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) *J. Anim. Plant Sci*, 2016, 26(1) 201-210
57. Kichey, T., Hirel, B., Heumez, E., Dubois, F., and Le Gouis, J. (2007). Wheat genetic variability for post-anthesis nitrogen absorption and remobilisation revealed by ¹⁵N labelling and correlations with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research*. 102, 22-32.
58. Kjeldahl, J. (1883). A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*. 22, 366-382.
59. Kubota, H., Iqbal, M., Dyck, M., Quideau, S., Yang, R. C., and Spanner, D. (2018). Investigating genetic progress and variation for nitrogen use efficiency in spring wheat. *Crop Sci.* 58, 1542–1557. doi: 10.2135/cropsci2017.10.0598
60. Ladha, J.K., Pathak, H., Krupnik, T.J., Six, J., van Kessel, C. (2005) Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects, *Advances in Agronomy*, 87:85-156

61. Laperche, A., Devienne, B.F., Maury, O., Le, G.J., and Ney, B. (2006). A simplified conceptual model of carbon/nitrogen functioning for QTL analysis of winter wheat adaptation to nitrogen deficiency. *Theor. Appl. Genet.* 113, 1131–1146. doi: 10.1007/s00122-006-0373-4.
62. Lawlor D. W. (2002). Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental botany*, 53(370), 773–787.
63. Le Gouis, J., Béghin, D., Heumez, E., and Pluchard, P. (2000). Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 12, 163-173.
64. Lestari, A.P.; Sopandie, D.; Aswidinnoor, H. Estimation for stress tolerance indices of rice genotypes in low nitrogen conditions. *Thai J. Agric. Sci.* 2019, 52, 180–190.
65. Liao, H., Yan, X. L., Rubio, G., Beebe, S. E., and Blair, M. W. (2004). Genetic mapping of basal root gravitropism and phosphorus acquisition efficiency in common bean. *Func. Plant Bio.* 31, 959–970.
66. Lyra, D.H.; de Freitas Mendonça, L.; Galli, G.; Alves, F.C.; Granato, Í.S.C.; Fritsche-Neto, R. Multi-trait genomic prediction for nitrogen response indices in tropical maize hybrids. *Mol. Breed.* 2017, 37, 80.
67. Martre, P., Jamieson, P.D., Semenov, M.A., Zyskowski, R.F., Porter J.R., Triboi E., (2006) Modelling protein content and composition in relation to crop nitrogen dynamics for wheat, *European Journal of Agronomy*, 25(2), 138-154, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.04.007>.
68. Masclaux-Daubresse, C., Reisdorf-Cren, M., and Orsel, M. (2008). Leaf nitrogen remobilization for plant development and grain filling. *Plant Biol.* 1, 23–36. doi: 10.1111/j.1438-8677.2008.00097.x
69. Masclaux-Daubresse, C., Reisdorf-Cren, M., and Orsel, M. (2008). Leaf nitrogen remobilization for plant development and grain filling. *Plant Biol.* 1, 23-36. doi: 10.1111/j.1438-8677.2008.00097.x.

70. Mohammadi M, Karimizadeh R, Abdipour M.. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5, 487–493.
71. Mohammadi, R. (2016) Efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in durum wheat. *Euphytica* 211, 71–89.
72. Mohammadi, R. Efficiency of yield-based drought tolerance indices to identify tolerant genotypes in durum wheat. *Euphytica* 2016, 211, 71–89.
73. Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*. 74, 562–564.
74. Mortimer, D., Elsayed, M., and Horne, R. (2004). Energy and greenhouse gas emissions for bioethanol production from wheat grain and sugar beet. British Sugar. Report No. 23/1
75. Murchie, E.H., Pinto, M., and Horton, P. (2008). Agriculture and the new challenges for photosynthesis research. *New Phytologist*. 181, 532–552. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02705.x.
76. Nunes-Nesi, A., Fernie, A. R., Stitt, M. (2010) Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions *Molecular Plant*. 6, 973-996. DOI: 10.1093/mp/ssq049
77. O'Brien, J. A., Vega, A., Bouguyon, E., Krouk, G., Gojon, A., Coruzzi, G., & Gutiérrez, R. A. (2016). Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. *Molecular plant*, 9(6), 837–856. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2016.05.004>
78. Ono, K., Terashima, I., and Watanabe, A. (1996). Interaction between nitrogen deficit of a plant and nitrogen content in the old leaves. *Plant Cell Physiol*. 37, 1083–1089.
79. Ortiz-Monasterio, J.I., Sayre, K.D., Rajaram, S., and McMahon, M. (1997). Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen regimes. *Crop Sci*. 37, 898–904.
80. Peoples, M.B., Herridge, D.F., and Ladha, J.K. (1995). Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant Soil*. 174, 3–28.

81. Pingali, P.L. (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109, 12302-12308. doi: 10.1073/pnas.0912953109.
82. Przystalski, M., Osman, A., Thiemt, E.M., Rolland, B., Ericson, L., Ostergard, H., i sur. (2008). Comparing the performance of cereal varieties in organic and non-organic cropping systems in different European countries. *Euphytica*. 163, 417–433. doi: 10.1007/s10681-008-9715-4.
83. R Development Core Team (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
84. Raun, W. R., Solie, J. B., Johnson, G. V., Stome, M. L., Millen, R. W., Freeman, K. W., i sur.. (2002). Improving nitrogen-use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agron. J.* 94, 815–820. doi: 10.2134/agronj2002.0815
85. Reynolds, M. P., Van Ginkel, M., and Ribaut, J. (2000). Avenues for genetic modification of radiation use efficiency in wheat. *J. Exp. Bot.* 51, 459–473. doi: 10.1093/jexbot/51.suppl_1.459
86. Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., i sur.. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant Cell Environ.* 35, 1799–1823. doi: 10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x
87. Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., i sur. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, Cell and Environment*. 35, 1799–1823. doi: 10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x
88. Rosegrant, M. W., and Agcaoili, M. (2010). *Global food demand, supply, and price prospects to 2010*. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. USA.
89. Rosielle, A.A.; Hamblin, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.* 1981, 21, 943–946.
90. Sadras, V. O., and Lemaire, G. (2014). Quantifying crop nitrogen status for comparison of agronomic practices and genotypes. *Field Crops Res.* 164, 54–64. doi: 10.1016/j.fcr.2014.05.006

91. Sandhu N, Sethi M, Kumar A, Dang D, Singh J and Chhuneja P (2021) Biochemical and Genetic Approaches Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Crops: A Review. *Front. Plant Sci.* 12:657629. doi: 10.3389/fpls.2021.657629
92. Sareen, S.; Tyagi, B.S.; Sharma I. Response estimation of wheat synthetic lines to terminal heat stress using stress indices. *Journal of Agricultural Science* 2012, 4,
93. Schils, R., Olesen, J. E., Kersebaum, K. C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., i sur.. (2018). Cereal yield gaps across Europe. *Eur. J. Agron.* 101, 109–120. doi: 10.1016/j.eja.2018.09.003
94. Singh, G.; Singh, M.K.; Tyagi, B.S.; Singh, J.B.; Kumar, P. Germplasm characterization and selection indices in bread wheat for waterlogged soils in India. *Indian J. Agric. Sci.* 2017, 87, 1139–1148.
95. Sio-Se Mardeh, A.; Rafeie, H.; Poustini, K.; Mohammadi, V. 2006 Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop. Res.*, 98, 222–229.
96. Swarbreck, S., Wang, M., Wang, Y., Kindred, D., Sylvester-Bradley, R., Shi, W., i sur.. (2019). A roadmap for lowering crop nitrogen requirement. *Trends Plant Sci.* 24, 892–904. doi: 10.1016/j.tplants.2019.06.006
97. Sylvester-Bradley, R., and Kindred, D. R. (2009). Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *J. Exp. Bot.* 60, 1939–1951. doi: 10.1093/jxb/erp116
98. Sylvester-Bradley, R., Kindred, D., Berry, P. M., Storer, K., Kendall, S., and Welham, S. (2015). Development of Appropriate Testing Methodology for Assessing Nitrogen Requirements of Wheat and Oilseed Rape Varieties. Final Report to Defra Project IF01110. London: HMSO.
99. Šarčević, H., Jukić, K., Ikić, I., and Lovrić, A. (2014). Estimation of quantitative genetic parameters for grain yield and quality in winter wheat under high and low nitrogen fertilization. *Euphytica.* 199, 57-67. doi: 10.1007/s10681-014-1154-9.

100. Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S.G., Amri, A., Bishaw, Z., Ogbonnaya, F.C., Baum M. (2019). Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World. *Crop Breed. Genet. Genom.* 1:e190005. <https://doi.org/10.20900/cbgg20190005>
101. Thiry, A.A.; Chavez-Dulanto, P.N.; Reynolds, M.P.; Davies, W.J. How can we improve crop genotypes to increase stress resilience and productivity in a future climate? A new crop screening method based on productivity and resistance to abiotic stress. *J. Exp. Bot.* 2016, 67, 5593–5603, doi:10.1093/jxb/erw330
102. Thorup-Kristensen, K., Salmerón Cortasa, M. & Loges, R. (2009) Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses?. *Plant Soil* 322, 101–114 <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9898-z>
103. Uzik, M., Zofajova, A., and Bolvanski, M. (2012). Relative nitrogen translocation and accumulation in grain of winter wheat cultivars. *Cereal Res. Commun.* 40, 285–295. doi: 10.1556/CRC.40.2012.2.13
104. Van Sanford, D.A., and Mackown, C.T. (1986). Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. *Theor. Appl. Genet.* 72, 158-63. doi: 10.1007/BF00266987.
105. Voss-Fels, K. P., Stahl, A., Wittkop, B., Lichthardt, C., Nagler, S., Rose, T., i sur.. (2019). Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nat. Plants* 5, 706–714. doi: 10.1038/s41477-019-0445-5
106. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1999.): Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Osijeku, Osijek.
107. Wang, M., Shen, Q., Xu, G., Guo, S., (2014): New Insight into the Strategy for Nitrogen Metabolism in Plant Cells. *International Review of Cell and Molecular Biology*, Vol. 310, Burlington: Academic Press, pp. 1-37. ISBN: 978-0-12-800180-6
108. Xu, G., Fan, X., and Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 63, 153–182. doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532
109. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415–421. doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x

110. Zhao, Z.; He, K.; Feng, Z.; Li, Y.; Chang, L.; Zhang, X.; Xu, S.; Liu, J.; Xue, J. Evaluation of Yield-Based Low Nitrogen Tolerance Indices for Screening Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines. *Agronomy* 2019, 9, 240.
111. Zhu, H., Li, C., and Gao, C. (2020). Author Correction: applications of CRISPR Cas in agriculture and plant biotechnology. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 21:782. doi: 10.1038/s41580-020-00312-y

7. SAŽETAK

U vrijeme povećane urbanizacije i industrijalizacije dolazi do smanjenja poljoprivrednih površina te do njihovog zagađenja. Uz to globalni broja stanovnika je u stalnom porastu pa je potrebno osigurati dovoljno hrane kako za ljude tako i za životinje. Korištenje dušičnih mineralnih gnojiva omogućilo je povećanje prinosa kod ratarskih kultura, no većina dušičnih gnojiva se gubi iz tla što predstavlja značaja ekološki i ekonomski problem. Zbog toga se razvijaju strategije kako poboljšati učinkovitost korištenja mineralnih gnojiva naročito dušika. Jedna od strategija je razvoj i oplemenjivanje genotipova koji se odlikuju visokom učinkovitošću korištenja dušika kao elementa biljne ishrane.

Glavni ciljevi ovoga istraživanja bili su: utvrditi utjecaj gnojidbe dušikom na agronomska svojstva različitih kultivara pšenice i NUE (učinkovitost korištenja dušika) te odrediti kultivare s najvećim NUE, odrediti komponente varijance i heritabilnosti za prinos i NUE pri visokoj i niskoj razini opskrbljenosti dušikom, identificirati odnos između NUE i njegovih komponenti te na kraju utvrditi korelaciju između selekcijskih indeksa stresa i prinosa te sadržaja proteina u uvjetima visoke i niske opskrbljenosti dušikom te odrediti najtolerantnije kultivare pšenice obzirom na navedena svojstva.

U ovom istraživanju korišteno je 48 kultivara ozime pšenice različitih zemalja podrijetla i godina priznavanja. Poljski pokus je postavljen kroz dvije vegetacijske sezone (2016/2017 i 2017/2018) na tri lokacije (Osijek, Poreč i Zagreb) pri dvije razine gnojidbe dušikom (LN i HN). Direktno ili analizom u laboratoriju izmjereno je sedam agronomskih svojstava, dok je njih 15 izračunato prema danim formulama za računanje. Također istražena je mogućnost korištenja stresnih indeksa u procjeni i odabiru kultivara pšenice tolerantne na smanjenu količinu dostupnog dušičnog gnojiva.

Rezultati su pokazali da gnojidba značajno utječe na povećanje prinosa, sadržaja proteina u zrnu te sadržaja dušika dostupnog pšenici, dok na učinkovitost korištenja i iskorištenja dušika gnojidba nije imala pozitivan utjecaj. U istraživanju je također utvrđeno da genotipovi i okolina te njihove interakcije imaju različite utjecaje na agronomska svojstva te da se kombinacijom različitih indeksa za stres mogu identificirati genotipov otporni na reduciranu količinu dušika.

8. SUMMARY

In this time of increased urbanization and industrialization, there is a reduction in agricultural land area and its pollution. Additionally, the global population is in constant growth, so it is necessary to ensure sufficient food for both humans and animals. The use of nitrogen mineral fertilizers has enabled increased yields in field crops, but most fertilizers are lost from the soil, which represents a significant ecological and economic problem. Therefore, strategies are being developed to improve the nutrient use efficiency, especially nitrogen. One of the strategies is the development and breeding of genotypes characterized by high nitrogen use efficiency.

The main objectives of this research were: to determine the effect of nitrogen fertilization on agronomic traits of different wheat cultivars and NUE (nitrogen use efficiency) and to identify cultivars with the highest NUE; to determine variance components and heritability for yield and NUE under high and low nitrogen supply levels; to identify the relationship between NUE and its components; and finally, to determine the correlation between stress selection indices and yield and protein content under conditions of high and low nitrogen supply and to identify the most tolerant wheat cultivars regarding the mentioned traits.

In this research, 48 winter wheat cultivars of different countries of origin and years of recognition were used. The field experiment was conducted over two growing seasons (2016/2017 and 2017/2018) at three locations (Osijek, Poreč, and Zagreb) under two nitrogen fertilization levels (LN and HN). Seven agronomic traits were measured directly or through laboratory analysis, while 15 were calculated according to given formulas. The possibility of using stress indices in the assessment and selection of wheat cultivars tolerant to reduced amounts of available nitrogen fertilizer was also investigated.

The results showed that fertilization significantly affects the increase in yield, grain protein content, and nitrogen content available to wheat, while it affects nitrogen use and utilization efficiency by reducing them. The research also showed that genotypes and environment as well as their interactions have different effects on agronomic traits, and that a combination of different stress indices can identify genotypes resistant to reduced nitrogen amounts.

9. PRILOZI

Dodatna tablica 1. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Osijek u sezoni 2016/2017 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNV	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	7584.26	10.97	71	46.57	83.01	146.15	176.9	33.75	79	43.26	0.05	0.06	68.67	88.58	86.41
BC ANICA	7173.65	10.6	79	46.6	85.78	133.4	155.57	31.93	69	46.12	0.05	0.07	73.33	94.61	79.4
BC BERNARDA	5235.01	10.73	80.67	43.54	82.39	99.15	121.4	23.3	54	43.77	0.05	0.27	72	146.87	88.76
BC CERTISSA	7269.22	10.47	76	48.11	84.93	134.03	157.4	32.35	70	46.31	0.04	0.07	64.67	97.43	89.65
BC DARIJA	7180.21	10.9	77.67	47.21	85.48	137.59	161.13	31.95	72	44.73	0.05	0.07	68.67	94.43	72.84
BC IRENA	7246.37	11.87	87.67	44.52	81.48	150.88	185.13	32.25	82	39.15	0.05	0.06	45.33	92.08	114.58
BC IRMA	7360.42	10.27	80.33	45.8	83.33	133.28	160.07	32.76	71	46.34	0.05	0.06	62.33	101.82	78.57
BC LORENA	7467.49	10.6	75.67	46.16	83.76	139.46	167.23	33.23	74	45.12	0.05	0.07	28.33	104.02	125.35
BC LJEPOTICA	9330.22	10.4	73	44.91	79.49	170.5	214.3	41.52	95	43.59	0.05	0.05	56.33	86.33	127.63
BC OPSESIJA	8823.25	10.7	78.67	47.61	83.28	166.79	200.13	39.27	89	44.69	0.05	0.05	62.33	95.47	108.11
BC TENA	5513.44	12.03	85	41.07	78.76	117.38	148.47	24.54	66	37.21	0.05	0.08	70	97.28	44.96
BEZOSTAJA-1	4925.3	12.8	124	38.16	79.46	111.17	140.37	21.92	62	35.54	0.06	0.09	45.33	110.48	67.96
BOLOGNA	6842.26	11.83	80.67	43.65	81.59	142.4	174.43	30.45	78	39.36	0.05	0.07	60.67	90.59	93.58
CALISOL	8055.84	10.03	86.67	50.32	85.33	141.62	165.97	35.85	74	48.79	0.04	0.06	70.33	103.07	73.16
DROPIA	7597.18	12.8	89.67	44.57	84.29	170.88	202.6	33.81	90	37.54	0.06	0.06	59.33	89.23	117.05
FELIX	6723.01	11.83	72.67	44.88	83.96	139.65	166.17	29.92	74	40.5	0.05	0.07	62.67	90.99	92.73
FICKO	7247.48	11.17	88	51.39	83.42	142.57	170.2	32.25	76	42.55	0.05	0.07	46.67	86.28	103.88
FLAMURA 85	7235.73	11.93	97	45.17	81.93	151.56	185.27	32.2	82	39.2	0.05	0.07	64	91.06	81.37
FORCALI	6947.41	11.3	79.33	42.13	79.54	137.82	173.67	30.92	77	40.18	0.05	0.07	58.67	94.06	81.74
GALLOPER	7382.16	10.17	96	40.66	80.89	131.69	162.77	32.85	73	45.36	0.05	0.06	60	110.62	68.34
GOLUBICA	6021.08	11.1	83	40.87	82.78	117.36	142.03	26.8	63	42.51	0.05	0.08	64	101.93	66
GRAINDOR	8731.09	9.13	90	44.17	82.43	140.23	170.1	38.86	76	51.48	0.04	0.06	61	107.76	98.51
ISENGRAIN	8287.7	9.77	87.33	47.38	79.76	142.13	178.1	36.88	79	46.59	0.04	0.05	41.67	104.91	96.63
KATARINA	7996.13	10.8	73.67	47.79	84.53	151.73	179.23	35.58	80	44.61	0.05	0.06	63.33	87.78	105.88
KRALJICA	7792.64	12.33	77	45.85	84.43	169.15	200.07	34.68	89	39.11	0.06	0.06	69.33	81.63	80.97
LUKULLUS	7833.72	12.1	106	41.84	83.34	167.58	201.03	34.86	89	39.53	0.05	0.06	65.67	92.29	106.64
MIHELCA	6988.73	10.93	91	43.5	80.79	134.3	166.83	31.1	74	42.31	0.05	0.07	58.67	92.98	93.39
MV-NADOR	7776.54	10.93	75.33	44.87	80.65	149.55	185.77	34.61	83	42.28	0.05	0.06	44.67	95.64	113.67
MV-NEMERE	7773.77	10.33	83.67	46.14	81.67	140.94	172.7	34.6	77	45.1	0.05	0.06	58.67	97.1	96.17
OS-JELENA	7492.57	11.17	93.33	42.77	82.51	146.99	177.97	33.34	79	42.14	0.05	0.06	58.67	94.32	98.37
OS-OLIMPIJA	6389.75	13.37	86.33	43.16	82.67	150.02	181.1	28.44	80	35.43	0.06	0.07	56	83.91	98.63
OS-CRVENKA	6124.4	12.37	88	44.16	84.07	133.2	158.03	27.26	70	38.85	0.06	0.08	64	94.91	71.85
PRIMA	7561.24	10.37	92.33	41.15	76.91	137.9	180.63	33.65	80	42.48	0.05	0.06	49	97.8	93.18
REBEKA	7106.08	11.23	98.67	45.32	83.05	139.35	167.87	31.62	75	42.37	0.05	0.07	63	99.87	79.24
RENAN	7658.89	11.43	93.33	42.82	79.9	153.76	192.93	34.09	86	39.92	0.05	0.06	49.33	93.86	133.1
SAN PASTORE	6095.72	11.03	103	42.14	83.66	118.5	141.53	27.13	63	43.32	0.05	0.08	63	102.83	67.32
SANA	7645.33	10.5	84.67	45.52	77.3	141.35	182.83	34.02	82	42.15	0.04	0.06	26.67	92.02	123.98
SILVIJA	6947.22	11.13	79.33	43.32	81.3	135.84	167.63	30.92	74	41.72	0.05	0.07	50	93.86	106.23
SLAVONIJA	7600.98	12	79.67	45.43	80.98	159.99	197.47	33.83	88	38.53	0.05	0.06	67.33	80.92	91.74
SOFRU	8755.55	9.67	78	48.48	82.57	148.68	180.13	38.96	80	48.79	0.04	0.05	55	100.01	107.68
SRPANJKA	6605.54	11.87	63.67	47.82	84.21	138.97	166.3	29.4	74	40.99	0.05	0.08	67.67	93.1	73.9
TIKA-TAKA	7938.49	11.3	90	46.07	81.5	157.07	192.5	35.33	86	41.34	0.05	0.06	35	92.01	134.31

TOSUNBEY	7506.41	11.8	102.67	42.21	80.63	155.73	193.47	33.4	86	39.13	0.05	0.06	61.67	85.23	105.64
U-1	4556.15	12.4	149.33	28.65	70.97	99.25	141.5	20.28	63	32.66	0.05	0.09	49.67	114.62	55.31
VIKTORIA	7278.84	12.33	78	44.41	82.65	157.47	190.6	32.39	85	38.2	0.05	0.07	47	87.95	121.26
VULKAN	6907.16	10.47	87.67	42.2	83.02	126.81	152.93	30.74	68	45.21	0.05	0.07	47.33	107.25	107.57
WALDINGER	8101.72	11.57	96	46.18	82.73	164.24	198.53	36.06	88	40.78	0.05	0.06	67.67	86.57	94.3
ZLATNA DOLINA	6967.3	11.2	86.33	45.94	81.47	136.93	168.13	31.01	75	41.58	0.05	0.07	67.67	92.87	55.74

Dodatna tablica 2. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Osijek u sezoni 2016/2017 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	8431.61	13.3	73	51.23	82.15	196.61	240.23	32.2	92	35.21	0.05	0.06	67.33	70.49	100.01
BC ANICA	8589.96	12.57	83.67	47.16	86.78	189.54	218.3	32.8	83	39.39	0.05	0.06	82	82.66	67.95
BC BERNARDA	7728.71	12.37	85.67	43.37	73.27	167.1	228.1	29.51	87	33.89	0.05	0.05	70	78.74	45.34
BC CERTISSA	6878.47	12	75.67	48.78	79.03	144.95	183.8	26.27	70	37.63	0.05	0.07	50.67	83.93	90.49
BC DARIJA	9195.55	12.3	81	50.09	85.28	198.55	233	35.11	89	39.53	0.05	0.05	74.67	80.88	90.69
BC IRENA	6549.23	13.43	89	47.7	83.36	154.57	185.57	25.01	71	35.41	0.05	0.07	64.67	91.09	59.14
BC IRMA	8296.02	12.83	87	47.79	84.32	186.59	221.8	31.68	85	37.45	0.05	0.06	63.33	83.3	98.93
BC LORENA	8147.37	12.97	82.67	49.6	88.11	185.03	210.07	31.11	80	38.74	0.05	0.06	81.67	82.58	61.53
BC LJEPOTICA	9782.52	11.67	75.33	49.5	80.81	200.07	247.77	37.36	95	39.48	0.04	0.05	54	79.21	130.85
BC OPSESIJA	8567.52	12.13	80.33	47.44	81.76	182.01	223.47	32.72	85	38.39	0.05	0.06	64	84.36	94.3
BC TENA	6031	13.23	87	43.29	78.78	140	177.97	23.03	68	34	0.05	0.08	77	87.78	59.28
BEZOSTAJA-1	5468.55	14.73	122	38.47	77.37	141.23	182.73	20.88	70	29.93	0.06	0.08	65.33	89.78	34.7
BOLOGNA	6564.64	13.37	81.67	44.32	76.58	153.96	201.2	25.07	77	32.67	0.05	0.07	57.33	76.87	83.98
CALISOL	7396.44	12.13	91.67	50.5	84.76	157.44	185.9	28.25	71	39.82	0.05	0.06	64	90.19	82.21
DROPIA	7332.56	13.87	90.67	46.79	86.01	178.44	207.63	28	79	35.36	0.05	0.07	69.33	82.4	97.25
FELIX	7932.59	13.33	71.67	49.82	84.35	185.94	220.77	30.29	84	36.1	0.05	0.06	65.67	78.78	104.9
FICKO	8710.8	13.43	86.67	45.31	80.09	205.38	256.2	33.26	98	33.99	0.05	0.05	60	75.2	124.18
FLAMURA 85	6564.11	13.13	91.33	45.62	81.38	151.24	187.03	25.07	71	35.32	0.05	0.07	64.33	85.23	75.72
FORCALI	6580.92	14.1	89	50.2	87.24	162.84	186.67	25.13	71	35.26	0.05	0.08	74.67	81.91	59.31
GALLOPER	6111.78	12.1	101	44.96	81.62	129.88	159.3	23.34	61	38.48	0.05	0.08	46.33	110.64	77
GOLUBICA	7229.14	14.67	86	43.53	85.83	185.67	215.9	27.61	82	33.39	0.06	0.07	79.67	73.28	76.92
GRAINDOR	8048.15	11.57	97.67	51.93	89.14	163.28	183.37	30.73	70	43.96	0.04	0.06	80	99.43	45.68
ISENGRAIN	7205.89	11.7	90.67	44.34	76.3	147.94	194.4	27.52	74	37.23	0.04	0.06	57.33	91.26	62.77
KATARINA	8516.35	12.77	76.33	52.32	85.37	190.75	223.63	32.52	86	38.14	0.05	0.06	75.33	76.54	64.03
KRALJICA	7719.04	14.07	78	48.43	83.08	190.47	229.17	29.48	87	33.67	0.05	0.06	64.33	81.57	77.48
LUKULLUS	7998.57	13.27	113.67	42.67	85.1	186.36	219.2	30.54	84	36.56	0.05	0.06	77	93.83	51.59
MIHELCA	6429.06	12.33	92.33	48.21	84.07	139.04	165.53	24.55	63	38.88	0.05	0.07	70.33	93.59	37.22
MV-NADOR	7832.16	13.53	80.67	42.45	78.88	185.12	241.03	29.91	92	33.18	0.05	0.06	72.33	79.75	84.42
MV-NEMERE	9456.24	12.37	89	50.72	85.35	205.33	239.8	36.11	92	39.33	0.05	0.05	67.33	79.74	123.47
OS-JELENA	6644.41	13.13	97	47.23	86.57	153.22	177	25.37	67	37.57	0.05	0.08	76.67	93.41	38.23
OS-OLIMPIJA	6071.24	15.43	85.33	43.09	79.9	164.36	206.77	23.19	79	29.46	0.06	0.08	67	71.63	69.16
OS-CRVENKA	5880.15	14.3	90	48.39	84.71	147.46	174.23	22.45	67	33.77	0.05	0.08	74.67	76.74	56.68
PRIMA	7555.56	12	88.33	44.99	76.53	158.82	207.53	28.85	79	36.37	0.05	0.06	55	84.22	79.66
REBEKA	7296.9	12.97	105.67	44.14	86.25	166.07	192.73	27.87	74	37.95	0.05	0.07	73	100.5	64.88
RENAN	7401.35	13.13	96.67	43.54	83.23	170.47	204.93	28.26	78	36.13	0.05	0.06	78	83.49	40.69
SAN PASTORE	6096.31	12.77	106.33	44.12	82.89	136.68	165.3	23.28	63	37.01	0.05	0.08	72	98.03	28.32
SANA	7168.68	12	86.67	47.24	82.81	150.84	181.83	27.38	69	39.35	0.05	0.07	67.33	86.98	73.12
SILVIJA	8297.14	13.03	82.33	44.63	80.08	189.73	237.93	31.68	91	35.04	0.05	0.06	60.67	81.78	108.56
SLAVONIJA	8201.64	13.43	80	49.04	83.6	193.1	231.07	31.32	88	35.48	0.05	0.06	69.67	73.33	78.14
SOFRU	9233.07	11.63	80	51.13	82.59	188.52	228.73	35.26	87	40.47	0.04	0.05	70.33	87.25	66.23
SRPANJKA	8586.86	13.7	66.67	49.98	86.01	206.15	239.63	32.79	92	35.79	0.05	0.06	77	69.18	99.3
TIKA-TAKA	8589.83	13	91.67	46.97	81.76	196.23	239.97	32.8	92	35.86	0.05	0.05	68.33	78.63	93.98
TOSUNBEY	8021.25	12.87	104.67	43.8	82.52	181.2	219.83	30.63	84	36.55	0.05	0.06	58.33	88.23	118.98
U-1	4942.53	15	150	24.72	65.23	130.12	222.7	18.87	85	24.85	0.06	0.07	65.33	107.22	19.76
VIKTORIA	7644.51	14.2	80.33	45.83	80.97	190.47	235.93	29.19	90	32.51	0.05	0.06	58	74.4	108.82

VULKAN	8785.92	13.23	94.33	45.38	85.12	203.85	239.67	33.55	91	36.67	0.05	0.05	61	91.66	129.87
WALDINGER	6896.61	12.33	93.67	47.12	86.17	149.17	173.1	26.34	66	39.86	0.05	0.07	82.67	91.3	11.46
ZLATNA DOLINA	5508.33	12.17	88.33	46.36	82.35	117.56	143.5	21.03	55	38.57	0.05	0.09	68.67	97.99	38.05

Dodatna tablica 3. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Osijek u sezoni 2017/2018 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	5564.92	11.7	67	60.07	86.72	114.06	132.67	33.21	79	42.3	0.07	0.09	65.67	70.03	78.36
BC ANICA	5152.3	11.27	64.67	56.83	87.82	101.9	116.27	30.74	69	44.44	0.07	0.1	72.33	84.41	44.46
BC BERNARDA	5375.97	12.07	72.33	46.3	76.06	113.93	149.67	32.08	89	35.97	0.07	0.08	55.67	78.3	102.35
BC CERTISSA	5447.34	10.1	68	54.53	79.56	96.59	121.63	32.5	73	44.97	0.06	0.09	62.67	85.38	44.52
BC DARIJA	6099.2	11.53	67.33	60.5	88.17	123.27	139.83	36.39	84	43.63	0.07	0.08	81.33	70.64	52.76
BC IRENA	5740.57	12.17	68	53.6	83.15	122.43	147.3	34.25	88	38.96	0.07	0.08	70.67	69.67	66.35
BC IRMA	5671.87	11.5	70.67	54.43	84.69	114.67	136.43	33.84	81	42.05	0.07	0.09	61.67	77.64	76.71
BC LORENA	5332.79	11.23	69	54.93	87.81	105.2	120.4	31.82	72	44.58	0.07	0.09	58.33	86.42	54.74
BC LJEPOTICA	6955.28	10.67	63	58.2	78.94	130.14	165.57	41.5	99	42.12	0.06	0.06	23.67	74.48	100.67
BC OPSESIJA	5862.87	10.17	70.33	57.8	84.99	104.58	122.93	34.98	73	47.64	0.06	0.08	67.67	86.74	50.02
BC TENA	4592.09	11.8	76.67	48.37	86.64	94.96	109.17	27.4	65	41.85	0.07	0.11	38.33	97.35	83.03
BEZOSTAJA-1	3677.99	11.9	77.33	47.7	75.8	76.94	103.97	21.94	62	36.51	0.07	0.12	50	86.9	62.61
BOLOGNA	5056.8	11.07	74.33	43.83	69.37	95.1	136.77	30.17	82	36.76	0.07	0.08	53	73.56	66.03
CALISOL	6211.9	9.97	76	52.17	82.68	108.35	131.47	37.06	78	47.48	0.06	0.08	69.33	84	60.43
DROPIA	4208	12	73.67	53.37	85.54	88.35	103.47	25.11	62	40.82	0.07	0.12	80.67	80.07	15.25
FELIX	5236.05	12.27	68.33	59.47	89.17	112.49	126.17	31.24	75	41.57	0.07	0.1	72.33	78.09	61
FICKO	5738.62	11.47	74.67	51.4	78.89	115.44	146.8	34.24	88	39.18	0.07	0.08	58.33	78.74	51.31
FLAMURA 85	4822.17	12	74	49.17	79.17	100.85	127.27	28.77	76	37.8	0.07	0.1	63	75.28	56.61
FORCALI	5529.21	12.63	66	45.47	78.87	122.54	158.33	32.99	95	35.53	0.08	0.08	59.67	66.02	97.93
GALLOPER	5572	11	80.33	52.27	87.07	107.74	124.23	33.25	74	45.27	0.07	0.09	81.67	90.27	46.59
GOLUBICA	4854.33	11.67	71.67	55.3	86.51	99.3	114.13	28.96	68	42.34	0.07	0.1	79	80.52	33.62
GRAINDOR	5751.5	9.93	79	56.9	86.67	99.27	114.7	34.32	68	50.34	0.06	0.09	77	97.36	30.68
ISENGRAIN	6263.25	11.17	73	52.9	78.58	123.96	157.4	37.37	94	40.41	0.07	0.07	62.67	83.48	378.29
KATARINA	5016.93	11.07	63.33	61.93	85.14	97.6	114.47	29.93	68	43.91	0.07	0.1	62.33	74.14	63.27
KRALJICA	5692.89	11.83	71.33	54.03	85.25	117.77	138.7	33.97	83	41.07	0.07	0.09	63	76.3	71.9
LUKULLUS	5019.93	12.47	84.33	44.6	80.31	110.36	137.97	29.95	82	36.91	0.07	0.09	42.33	83.58	91.69
MIHELCA	4941.91	11	72	46.57	82.12	94.95	115.2	29.49	69	42.64	0.07	0.1	69.33	89.42	75.73
MV-NADOR	5819.69	11.13	65.67	56.63	85.53	113.78	133.2	34.72	79	43.88	0.07	0.09	67	72.26	82.72
MV-NEMERE	5641.37	11.67	74.67	50.73	77.34	115.5	149.73	33.66	89	37.89	0.07	0.08	57.33	73.11	70.65
OS-JELENA	5352.99	11.03	80	55.13	88.57	103.81	117.77	31.94	70	46.09	0.06	0.09	78.67	83.86	33.66
OS-OLIMPIJA	4167.44	13.4	77	49.07	77.02	97.63	129.13	24.87	77	33.22	0.08	0.11	66	66.04	38.36
OS-CRVENKA	3694.46	12.4	81.67	47.3	83.9	80.72	98.5	22.04	59	38.77	0.08	0.13	73	90.56	26.38
PRIMA	5359.74	10.37	76.67	50.73	82.99	96.59	116.23	31.98	69	45.9	0.06	0.09	81.67	89.31	20.54
REBEKA	5339.14	11.33	74.67	49.7	83.55	106.84	128.33	31.86	76	42.2	0.07	0.09	69	89.68	52.07
RENAN	4487.84	12.83	80.33	41.93	80.2	101.29	130.97	26.78	78	35.97	0.08	0.1	53	87.39	82.36
SAN PASTORE	4633.75	11.63	80	51.8	80.88	94.48	116.83	27.65	70	39.7	0.07	0.1	51.67	85.72	56.82
SANA	5155.78	10.57	68.67	55.33	78.61	95.63	121.83	30.76	73	42.41	0.06	0.09	66.33	76.75	37.18
SILVIJA	5790.61	11.67	74.33	51.43	79.24	118.52	150.23	34.55	90	38.79	0.07	0.08	41.67	74.5	97.59
SLAVONIJA	5200.55	11.13	66.33	53.97	83	101.59	122.23	31.03	73	42.5	0.07	0.09	66.67	80.78	49.74
SOFRU	6510.57	10.3	68.33	59.07	86.81	117.87	135.93	38.85	81	48.16	0.06	0.08	78.33	85.28	39.37
SRPANJKA	5516.75	11.17	61.33	59.4	86.51	107.42	124.07	32.92	74	44.33	0.06	0.09	82.33	77.96	20.21
TIKA-TAKA	5411.18	11.5	80	54.1	79.58	109.35	138.83	32.29	83	39.48	0.07	0.08	39.33	78.18	87.97
TOSUNBEY	3969.84	12.2	90	48.13	79.07	84.46	106.8	23.68	64	37	0.07	0.12	70.33	87.58	25.44
U-1	2715.63	13.73	122.33	29.4	69.91	65.53	96.53	16.2	58	29.41	0.08	0.15	45.67	105.21	56.53
VIKTORIA	5112.75	13.07	67.33	52.13	86.48	117.08	135.87	30.51	81	37.84	0.08	0.1	71.33	72.64	74.51

VULKAN	5805.74	11.43	74.33	51.23	85.77	116.36	136.4	34.64	82	42.74	0.07	0.09	69.67	76.21	79.9
WALDINGER	5929.38	10.87	79	53	82.98	112.88	136	35.38	81	43.6	0.06	0.08	63.67	86.28	55.13
ZLATNA DOLINA	4368.17	11.73	70.67	51.23	84	89.75	106.13	26.06	63	40.84	0.07	0.11	83.67	77.9	30.65

Dodatna tablica 4. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Osijek u sezoni 2017/2018 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	6671.96	13.1	67.33	61.57	84.61	153.42	181.23	29.57	80	36.82	0.06	0.07	73	59.18	81.64
BC ANICA	6692.56	13.17	70.67	54.67	83.19	154.64	185.9	29.66	82	36.01	0.06	0.07	71	65.72	79.6
BC BERNARDA	7189.39	13.83	74.33	48.37	78.39	174.5	223.27	31.87	99	32.29	0.06	0.06	43	63.67	135.73
BC CERTISSA	7156.63	11.63	71	56.7	86.8	146.02	168.3	31.72	74	42.6	0.05	0.07	82	70.68	60.4
BC DARIJA	6558.96	12.63	74.33	57.53	85.68	145.23	169.43	29.07	75	38.66	0.06	0.08	79	66.27	57.85
BC IRENA	6880.52	13.53	76.67	55.27	82.94	163.33	197	30.5	87	34.95	0.06	0.07	72.33	62.56	79.21
BC IRMA	6704.62	13.33	73	53.83	84.32	156.87	186.5	29.72	83	36.03	0.06	0.07	82	65.9	39.43
BC LORENA	7100.82	13.8	71.67	56.73	84.83	171.98	203.3	31.47	90	35.04	0.06	0.07	79.67	60.11	66.61
BC LJEPOTICA	7579.25	11.9	67.67	62.33	89.36	158.32	178.37	33.6	79	42.98	0.05	0.07	81.33	71.14	59.3
BC OPSESIJA	8198.19	11.97	72	58	80.92	171.95	213.67	36.34	95	38.55	0.05	0.05	58.33	68.82	103.51
BC TENA	6253.31	14.53	82.67	51.2	87.17	159.54	183.87	27.72	81	34.21	0.06	0.08	76.67	68.5	82.14
BEZOSTAJA-1	3443.52	14.77	85.33	47.7	83.09	88.48	106.97	15.26	47	32.14	0.06	0.14	74	82.5	20.36
BOLOGNA	6070.76	13.53	71.67	55.17	86.53	144.1	166.93	26.91	74	36.48	0.06	0.08	77.33	67.53	57.19
CALISOL	6559.07	12.37	77.67	53.87	87.83	142.33	163.2	29.07	72	40.66	0.05	0.08	84.67	74.66	38.02
DROPIA	5606.02	14.03	75.33	46.27	75.84	137.83	182	24.85	81	30.86	0.06	0.08	66.33	60.23	69.54
FELIX	6808.77	13.73	67.33	59.47	88.55	164.05	185.2	30.18	82	36.81	0.06	0.08	75.67	64.6	72.89
FICKO	6951.87	14.13	78	53.4	83.2	172.46	208	30.81	92	33.61	0.06	0.07	56.67	64.04	121.41
FLAMURA 85	5554.33	13.33	79	53.27	83.19	129.82	156.03	24.62	69	35.6	0.06	0.09	74	66.2	56.64
FORCALI	6301.81	14.67	66.33	52.13	85.45	162.26	190.27	27.93	84	33.28	0.07	0.08	83.67	58.12	57.36
GALLOPER	6129.16	13.27	87	48.2	84.17	142.41	173.73	27.17	77	36.37	0.06	0.08	82	70.68	51.97
GOLUBICA	6174.65	14.73	76	51.6	80.29	159.95	199.03	27.37	88	31.08	0.07	0.07	59.67	59.76	88.09
GRAINDOR	6345.52	11.67	81	52.7	84.05	129.83	155.1	28.13	69	41.14	0.05	0.07	76.67	81.4	41.89
ISENGRAIN	6574	12.73	73.67	45.5	75.59	146.9	194.73	29.14	87	33.85	0.06	0.06	64.33	71.86	62.68
KATARINA	7412.15	13.1	62.67	62.53	87.07	170.48	196.27	32.85	87	37.97	0.06	0.07	68.67	63.04	101.11
KRALJICA	7237.71	14.4	71	57.63	87.04	182.87	210.8	32.08	93	34.48	0.06	0.07	80	57.76	92.95
LUKULLUS	5638.69	14.57	90.67	38.4	78.39	143.92	185.5	24.99	82	30.69	0.06	0.08	62.33	76.23	121.12
MIHELCA	6193.58	13.07	71	50.4	78.16	142.1	183.5	27.45	81	34.14	0.06	0.07	73.67	65.15	58
MV-NADOR	7513.2	13.23	66.67	56.23	85.05	174.32	205.53	33.3	91	36.69	0.06	0.07	77.67	64.41	75.52
MV-NEMERE	6843.08	13	71.33	60.07	91.5	156.13	171.37	30.33	76	40.23	0.06	0.08	79.33	71.13	79.1
OS-JELENA	6417.7	13.2	81	48.77	82.82	148.52	179.5	28.45	80	35.77	0.06	0.08	77	67.36	59.85
OS-OLIMPIJA	5462.14	16.07	78.67	50.13	80.62	153.68	191	24.21	84	28.63	0.07	0.09	66.67	56.67	66.81
OS-CRVENKA	4749.84	14.27	75.67	49.53	79.84	119.1	149	21.05	66	31.91	0.06	0.1	63.67	68.01	51.88
PRIMA	7502.61	11.93	80.33	48.57	80.49	157.07	195.5	33.25	87	38.69	0.06	0.06	76.33	73.56	50.55
REBEKA	6062.85	13.33	79.33	53.43	90.7	141.82	156.53	26.87	69	38.78	0.06	0.09	88	74.41	33.86
RENAN	5841.13	14.83	77.33	46.43	83.3	151.98	182.93	25.89	81	32	0.07	0.08	50.67	67.85	112.5
SAN PASTORE	5083.85	13.83	82.67	49.43	82.86	123.13	148.83	22.53	66	34.14	0.06	0.1	70.67	75.93	62.42
SANA	6753.02	12.1	72.33	51.27	80.84	143.37	177.93	29.93	79	38.17	0.05	0.07	76	73.96	38.55
SILVIJA	6880.16	13.77	72.33	55.87	86.47	166.42	193.73	30.49	86	35.93	0.06	0.07	71.67	67.22	91.29
SLAVONIJA	6349.92	13.17	69.33	57.7	88.96	146.58	164.97	28.14	73	38.53	0.06	0.08	79	69.23	62.87
SOFRU	8347.34	11.43	68	63.2	91.21	167.29	183.5	37	81	45.6	0.05	0.06	89.33	68.35	53.04
SRPANJKA	7305.34	13.13	64.33	58.47	86.27	168.34	195.23	32.38	87	37.48	0.06	0.07	74.67	66.28	77.73
TIKA-TAKA	7646.16	12.93	77.33	56.53	84.24	173.61	207.13	33.89	92	37.22	0.06	0.06	56	66.97	125.79
TOSUNBEY	5451.04	13.83	88.33	51.03	81.34	132.24	162.5	24.16	72	33.52	0.06	0.09	64.33	69.7	66.28
U-1	3773.61	16.73	121.33	31.27	70.99	110.8	157.87	16.73	70	24.2	0.07	0.1	60.33	78.4	60.44
VIKTORIA	6301.15	15.13	72.67	52.3	80.82	167.64	208.1	27.93	92	30.47	0.07	0.08	69.33	58.52	74.99

VULKAN	7225.31	13.3	73	50.03	78.8	168.54	218.73	32.02	97	34.05	0.06	0.06	63.33	66.08	104.96
WALDINGER	7102.26	12.9	81.67	56.37	88.81	160.74	182.4	31.48	81	39.29	0.06	0.07	86.67	67.34	48.19
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6178.71	13.2	71.33	53.9	82.38	143.23	173.77	27.39	77	35.57	0.06	0.08	64.33	66.42	76.15

Dodatna tablica 5. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Poreč u sezoni 2016/2017 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	4755.58	8.93	67.67	44.57	82.81	75.6	90.27	38.98	74	53.17	0.07	0.1	42	142.91	60.27
BC ANICA	3767.41	9.13	79.33	36.05	74.04	60.28	82.1	30.88	67	46.17	0.07	0.11	45.67	137.25	49.76
BC BERNARDA	5486	8.73	88	37.69	75.07	84.89	112.1	44.97	92	48.95	0.07	0.08	30.67	145.67	69.08
BC CERTISSA	3515.31	8.17	72.33	44.7	83.32	50.76	60.4	28.82	50	58.01	0.07	0.14	48.67	170.32	42.02
BC DARIJA	4530.93	9.3	76.67	42.26	82.63	73.87	89.6	37.14	73	50.62	0.08	0.1	49	147.33	45.68
BC IRENA	4599.75	8.37	87.67	37.39	82.69	67.45	81.4	37.71	67	56.34	0.07	0.1	63	173.74	26.18
BC IRMA	4526.99	9.53	84.33	35.47	77.14	76.06	98.1	37.11	80	46.07	0.08	0.1	56.67	143.53	54.21
BC LORENA	3856.3	9.87	76	36.78	79.38	66.95	83.93	31.61	69	45.99	0.08	0.12	40.33	142.48	42.07
BC LJEPOTICA	4630.48	9.53	78	41.9	83.27	76.13	91.57	37.96	75	50.59	0.08	0.11	38.67	144.45	45.94
BC OPSESJA	5045.6	8.33	79.33	39.54	86.83	74.25	86.2	41.36	71	59.73	0.07	0.1	75	172.31	34.47
BC TENA	2432.32	10.67	87.67	36.12	78.37	46.06	58.07	19.94	47	41.86	0.09	0.19	22.67	156.71	39.16
BEZOSTAJA-1	3855.01	10.37	120	31.87	77.88	71.16	89.8	31.6	74	42.9	0.09	0.13	52.33	158.87	38.68
BOLOGNA	3945.02	9.43	81.33	34.65	82.56	65.43	79.1	32.33	65	49.82	0.08	0.12	58.67	161.47	36.02
CALISOL	4261.94	8.13	86.33	43.84	79.11	59.87	76.37	34.93	63	55.88	0.07	0.11	65.67	160.17	5.72
DROPIA	4314.15	9.6	93	34.45	74.93	72.73	98.53	35.36	81	44.42	0.08	0.1	61.67	135.69	23.65
FELIX	3888.34	9.33	74	36.89	75.57	64.33	83.83	31.87	69	46.02	0.07	0.11	41.33	137.99	38.25
FICKO	3954.77	9.83	80	37.26	77.14	68.31	88.47	32.42	72	44.68	0.08	0.11	59.33	141.15	43.54
FLAMURA 85	4531.75	9.63	96.33	37.01	86.2	76.56	88.77	37.15	73	51.04	0.08	0.11	49.33	173.33	53.94
FORCALI	3871.47	10.23	78.67	34.47	73.27	69.93	94.4	31.74	77	40.71	0.09	0.11	30.33	130.97	60.69
GALLOPER	4627.35	8.5	99	37.87	80.42	69.07	86.37	37.93	71	54.08	0.07	0.1	52	176.78	38.3
GOLUBICA	4073.04	9.57	86.33	37.37	76.02	68.82	89.7	33.39	74	45.16	0.08	0.11	41.67	141.49	41.05
GRAINDOR	5063.29	7.7	92.33	41.11	79.92	68.34	85.57	41.5	70	59.14	0.06	0.09	48.33	161.98	46.67
ISENGRAIN	4725.89	8.4	90	35.25	73.23	70.57	94.43	38.74	77	49.67	0.07	0.09	61	121.6	28.67
KATARINA	3255.31	8.93	74.67	42.56	82.45	51.1	62.57	26.68	51	52.51	0.07	0.5	50	224.81	28.59
KRALJICA	4148.6	10.27	75.33	39.53	84.32	75.25	88.6	34.01	73	46.82	0.08	0.12	51.67	150.31	49.99
LUKULLUS	4256.75	9.23	99	32.82	73.51	69.01	94.9	34.89	78	45.23	0.08	0.1	36.33	157.06	51.53
MIHELCA	3826.76	9.37	85.33	41.32	80.66	62.93	78	31.37	64	49.05	0.08	0.12	57.67	162.54	37.55
MV-NADOR	4676.61	9.23	80	36.6	72.86	76.07	103.97	38.34	85	44.95	0.07	0.09	34	127.92	58.32
MV-NEMERE	4649.09	9.73	85.33	37.53	78.79	79.82	100.33	38.11	82	46.11	0.08	0.1	30.33	140.5	58.96
OS-JELENA	4973.77	9.2	93.67	33.85	76.16	81.15	106.8	40.77	87	47.34	0.08	0.09	40.67	149.84	53.53
OS-OLIMPIJA	3638.65	10.9	84.67	31.91	77.41	69.68	89.83	29.83	74	40.61	0.09	0.12	58.33	135.66	28.3
OS-CRVENKA	4394.38	9.97	88.67	36.32	81.18	77.82	93.9	36.02	77	46.33	0.08	0.11	62	156.98	32.85
PRIMA	5517.89	8.13	93.33	38.82	78.44	80.7	100.97	45.23	83	55.23	0.07	0.08	58.67	158.97	27.39
REBEKA	3872.54	9.07	93.67	39.91	78.48	61.47	77.9	31.74	64	49.37	0.07	0.12	29	147.86	50.87
RENAN	4608.81	9.03	90.67	31.89	70.02	73.49	104.13	37.78	85	44.08	0.07	0.08	52.33	140.31	30.85
SAN PASTORE	4359.81	9.23	105.67	35.34	78.05	70.6	91.97	35.74	75	48.17	0.08	0.1	65.33	159.75	29.62
SANA	4181.78	7.73	82.33	40.17	72.77	56.52	78.97	34.28	65	53.75	0.06	0.1	23.33	161.74	45.96
SILVIJA	4596.38	9.33	83.67	36.22	73.05	76.02	102.5	37.68	84	44.45	0.07	0.09	36.67	132.92	44.66
SLAVONIJA	4147.53	8.63	76.33	38.27	76.74	63.22	82.1	33.99	67	50.42	0.07	0.11	45.33	145.98	45.06
SOFRU	6258.44	8.43	83	42.39	83.17	93.33	111.43	51.3	91	56.26	0.07	0.08	67.67	140.32	48.83
SRPANJKA	4426.62	9.5	68	44.93	83.93	73.85	87.9	36.28	72	50.29	0.08	0.11	52.33	154.8	40.5
TIKA-TAKA	4588.83	8.37	85.33	40.98	74.68	67.83	90.17	37.61	74	50.7	0.07	0.09	35.33	140.61	49.86
TOSUNBEY	3793.29	9.1	100	30.18	71.45	60.89	84.57	31.09	69	44.69	0.07	0.11	47.67	158.34	43.85
U-1	3036.14	10.2	149.33	26.08	71.26	54.71	76.27	24.88	62	39.76	0.08	0.13	48.67	195.2	23.52
VIKTORIA	4178.64	10.07	81.67	32.03	77.94	74.13	95.63	34.25	78	44.19	0.08	0.11	68	140.24	28.31

VULKAN	5239.24	9.73	89.67	35.06	77.4	89.46	115.43	42.94	95	45.33	0.08	0.08	60	130.74	48.86
WALDINGER	5318.53	8.77	86.67	40.35	77.69	82.76	104.8	43.6	86	50.31	0.07	0.08	38.67	146.15	76.08
<u>ZLATNA DOLINA</u>	4320.31	9.13	88.33	37.87	80.52	69.51	86.63	35.41	71	50.33	0.08	0.11	55.33	161.44	32.83

Dodatna tablica 6. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Poreč u sezoni 2016/2017 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNV	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	4607.98	10.6	71.33	39.49	78.69	85.69	109.8	29.21	70	42.3	0.07	0.1	55.67	118.66	45.42
BC ANICA	5176.84	11.33	80	45.78	87.04	102.92	118.7	32.82	75	43.78	0.07	0.1	61.33	128.78	56.73
BC BERNARDA	4959.9	10.43	86.33	40.11	82.63	89.53	108.47	31.45	69	46.02	0.07	0.1	59.67	135.28	60.75
BC CERTISSA	4950.41	10.73	78	45.42	87	93.71	107.4	31.39	68	46.22	0.07	0.1	61.67	134.25	44.93
BC DARIJA	4728.91	11.4	79.67	44.59	84.6	94.7	111.5	29.98	71	42.3	0.07	0.1	66	123.68	36.16
BC IRENA	4917.01	10.87	84	42.73	87.59	94.08	107.73	31.17	68	46.11	0.07	0.1	82.33	141.82	57.34
BC IRMA	4877.95	11.23	80.33	40.76	89.13	96.07	108.07	30.93	69	45.23	0.07	0.11	62.33	151.48	52.41
BC LORENA	3739.02	11.87	76	39.47	82.12	77.08	93.03	23.71	59	39.59	0.08	0.14	55	130.42	38.72
BC LJEPOTICA	5154.92	10.47	76	44.08	85.42	94.31	111.57	32.68	71	46.5	0.07	0.1	66	136.16	37.75
BC OPSESJA	5491.86	10.47	76	45.74	85.11	101.07	119.77	34.82	76	46.4	0.07	0.09	62.67	134.92	44.61
BC TENA	2682.99	13.87	78.67	32.14	73.91	65.84	86.23	17.01	55	30.39	0.09	0.21	67.33	120.05	57.85
BEZOSTAJA-1	4613.88	12.23	124	33.89	83.04	99.28	119.27	29.25	76	38.73	0.08	0.11	69	136.56	35.69
BOLOGNA	5682.67	12	87	42.94	82.31	119.93	145.73	36.03	92	39.14	0.07	0.08	43.33	109.49	68.93
CALISOL	6318.47	10.4	91.67	44.76	81.61	115.82	147	40.06	93	45.35	0.06	0.08	58.33	125.05	77.36
DROPIA	4492.88	12.27	91.33	36.56	79.37	96.69	121.7	28.49	77	36.92	0.08	0.1	52.67	118.13	54.64
FELIX	3664.63	12.07	74.33	48.3	86.67	77.65	88.97	23.23	56	40.93	0.08	0.14	70.33	122.17	31.56
FICKO	4042.12	12.23	83	34.68	70.37	87.06	121.5	25.63	77	32.73	0.08	0.11	42.67	111.25	49.59
FLAMURA 85	4546.88	11.97	93.67	37.57	81.9	95.74	117.1	28.83	74	39.04	0.08	0.11	68.67	121.27	29.64
FORCALI	4724.9	13.07	82.33	36.15	76.43	109.03	141.47	29.96	90	33.27	0.08	0.1	69.33	106.04	19.31
GALLOPER	5142.95	10.7	99.33	40.54	82.95	96.51	116.4	32.61	74	44.22	0.07	0.09	62.33	140.77	40.87
GOLUBICA	4181.4	12.03	84.67	40.65	84.17	88.22	104.87	26.51	66	39.91	0.08	0.12	72.33	122.18	20.34
GRAINDOR	4929.27	10.27	87.33	42.89	85.22	88.79	104.07	31.25	66	47.58	0.06	0.1	64	133.75	46.26
ISENGRAIN	5135.73	10.53	91.67	47.17	84.03	93.06	110.6	32.56	70	45.58	0.06	0.13	77.67	111.41	35.79
KATARINA	5785.54	11.13	73	47.11	84.39	113.39	134.8	36.68	86	43.44	0.07	0.08	50.67	109.41	60.01
KRALJICA	4910.98	12.33	78.33	40.38	85.47	105.99	124.13	31.14	79	39.62	0.08	0.1	75	112.89	31.18
LUKULLUS	3998.57	11.83	101	34.9	76.73	82.59	107.23	25.35	68	36.93	0.08	0.12	52.67	142.7	35.59
MIHELCA	3508.98	11.33	92.33	36.73	79.28	69.77	86.83	22.25	55	39.9	0.07	0.14	59.67	138.77	26.45
MV-NADOR	4609.23	11.27	77.67	39.14	80.58	90.97	112.53	29.22	71	40.76	0.07	0.1	66.67	122.3	28.93
MV-NEMERE	5087.53	11.83	85.67	39.79	82.51	105.31	127.87	32.25	81	39.94	0.07	0.09	68	115.77	40.34
OS-JELENA	5789.99	11.37	97.67	41.41	81.41	115.23	141.2	36.71	90	40.82	0.07	0.08	48.33	117.67	66.51
OS-OLIMPIJA	4478.08	13.9	90.67	39.75	80.38	109.37	136	28.39	86	33.11	0.09	0.1	38.33	104.23	69.95
OS-CRVENKA	4200.25	12.33	88	35.3	81.66	91.06	112.17	26.63	71	37.75	0.08	0.11	67	125.59	42.37
PRIMA	3699.75	10.33	84.67	38.96	83.43	66.97	82.8	23.46	53	46.03	0.07	0.15	74	162.24	27.15
REBEKA	4732.63	11.77	102.67	38.66	79.2	99.22	130.23	30.01	83	38.84	0.08	0.1	59	121.96	44.69
RENAN	4806.93	11.8	96.33	35.52	74.94	99.94	132.9	30.48	84	36.26	0.07	0.09	47.67	116.5	46.15
SAN PASTORE	4891.94	11.23	104	36.72	77.97	96.22	122.67	31.02	78	39.59	0.07	0.1	66	128.42	20.83
SANA	3764.43	10.4	83.67	43.18	81.75	68.68	82.6	23.87	52	44.92	0.06	0.14	65.67	144.74	36.01
SILVIJA	4875.87	11.17	76.33	40.19	79.66	95.73	121.07	30.92	77	40.78	0.07	0.09	44	120.82	66.07
SLAVONIJA	4318.49	11.07	77	39.89	83.25	83.9	99.17	27.38	63	42.9	0.07	0.12	72.67	126.17	38.58
SOFRU	5432.57	10.23	78	42.37	80.39	97.24	120.2	34.44	76	44.79	0.07	0.09	66	118.08	34.87
SRPANJKA	4556.31	11.63	66	41.52	83.42	92.93	111.53	28.89	71	40.9	0.07	0.11	62.33	114.76	45.05
TIKA-TAKA	5199.92	10.97	88.33	38.51	75.36	99.6	129.73	32.97	83	39.25	0.07	0.09	44	114.36	55.09
TOSUNBEY	3226.27	12.07	101.67	34.69	77.74	68.65	86.83	20.46	55	36.72	0.08	0.15	61	137.81	26.16
U-1	3173.82	13.43	154.67	27.35	72.32	75.64	103.4	20.12	65	30.69	0.09	0.14	54.67	146.06	37.85
VIKTORIA	3562.26	12.53	81.33	33.71	78.59	78.55	99.13	22.59	63	35.74	0.08	0.13	72.67	120.83	34.27

VULKAN	4164.28	11.77	89	37.09	77.77	86.65	109.47	26.4	69	37.54	0.08	0.11	53.33	129.04	34.8
WALDINGER	6114.14	11.5	89.67	42.31	86.08	123.09	142.9	38.77	91	42.73	0.07	0.08	71	119.49	50.11
<u>ZLATNA DOLINA</u>	4017.62	11.57	80.67	35	74.78	82.18	105.63	25.47	67	36.71	0.07	0.12	69.67	117.39	21.75

Dodatna tablica 7. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Poreč u sezoni 2017/2018 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	5898.49	10.57	69	53.8	89.64	110.26	122.13	37	77	48.75	0.07	0.09	87.67	88.61	31.04
BC ANICA	5537.3	10.9	74	50.07	91.64	106.06	115.9	34.74	73	48.02	0.07	0.1	89.33	94.82	56.56
BC BERNARDA	6169.03	10.73	82.33	29.03	77.43	116.15	151.23	38.7	95	41.26	0.07	0.07	86.67	106	18.06
BC CERTISSA	6008.61	9.2	74.33	41.6	83.85	96.76	116.03	37.69	73	51.91	0.06	0.08	92	101.94	30.65
BC DARIJA	5948.34	10.9	73.67	43.53	85.92	113.78	133.33	37.31	84	44.8	0.07	0.08	86	95.76	43.81
BC IRENA	6079.53	11.07	83.33	51.73	90.32	117.88	131.4	38.14	82	46.93	0.07	0.09	89.33	86.91	55.33
BC IRMA	6026.96	10.63	86	44.73	87.51	112.97	129.87	37.81	82	47.21	0.07	0.08	88.67	97.13	17.06
BC LORENA	5526.79	10.87	79.33	50.2	90.3	105.38	117	34.67	73	47.58	0.07	0.09	89.33	93.26	32.41
BC LJEPOTICA	5287.38	10.63	71	40.13	84.02	99.54	116.13	33.17	73	45.01	0.06	0.11	88.67	124.44	36.22
BC OPSESIJA	6774.68	10.6	81.33	45.3	88.84	126	141.97	42.5	89	47.91	0.07	0.08	87.67	88.71	51.04
BC TENA	5036.46	11.67	92.67	26.8	76.03	103.46	136.37	31.59	86	37.38	0.07	0.08	74	126.68	25.46
BEZOSTAJA-1	5281.12	10.77	102.67	30.97	79.06	99.7	127.23	33.13	80	41.73	0.07	0.09	82.67	119.42	29.63
BOLOGNA	5190.9	11.5	79.33	30.57	80.46	105.37	130.3	32.56	82	39.94	0.07	0.09	81.33	108.51	28.78
CALISOL	5860.7	9.83	89.33	49.07	89.68	101.38	112.87	36.77	71	52.26	0.06	0.09	86	126.66	24.24
DROPIA	5515.66	11.3	88.33	50.13	88.21	109.06	124.23	34.6	78	44.6	0.07	0.09	88	85.79	18.66
FELIX	5875.49	11.07	76.33	53.73	89.81	113.76	126.9	36.86	80	46.38	0.07	0.09	93	76.22	80.49
FICKO	5579.34	11.63	84.67	27.2	72.43	114.19	161.37	35	101	35.68	0.07	0.07	78	114.83	35.81
FLAMURA 85	5245.8	10.77	90.33	45.2	88.55	99.7	112.33	32.91	70	47.06	0.07	0.1	88.33	105.6	23.46
FORCALI	5519.03	12.03	84.33	46.13	87.81	117.22	133.4	34.62	83	41.81	0.07	0.09	83.33	97.32	32.84
GALLOPER	5931.13	10.7	96	45.03	88.45	110.94	125.5	37.21	79	47.45	0.07	0.08	87.33	113.67	66.66
GOLUBICA	5446.08	11.6	87.33	45.4	85.53	110.8	129.77	34.16	81	42.03	0.07	0.09	86.67	87.56	17.07
GRAINDOR	6743.66	9.53	91.67	43.5	84.83	112.39	132.73	42.3	83	50.78	0.06	0.07	75.33	108.24	63.45
ISENGRAIN	6723.6	10.9	81.67	44.63	87.46	124.23	142.03	42.18	89	47.59	0.07	0.08	95	217.68	49.48
KATARINA	6539.66	10.8	73	38.97	83.12	123.82	149.3	41.02	94	43.86	0.07	0.07	88.33	92.09	42.65
KRALJICA	5617.35	11.53	77.33	45.4	86.8	113.99	131.43	35.24	83	42.92	0.07	0.09	88.67	86.55	17.95
LUKULLUS	5370.7	12.4	101.67	41.73	89.07	117.07	131.4	33.69	82	41.07	0.08	0.1	47	103.85	98.64
MIHELCA	5918.02	10.17	87.33	46.17	89.02	105.69	118.63	37.12	75	50.2	0.06	0.09	92.33	91.27	25.97
MV-NADOR	5361.01	10.2	65	53.33	88.35	96.29	108.87	33.63	68	49.46	0.06	0.1	80	98.32	37.9
MV-NEMERE	6315.34	10.3	83.33	50.07	89.13	114.04	127.87	39.62	80	49.41	0.06	0.08	94	87.72	345.42
OS-JELENA	5763.72	10.3	83.33	47.87	87.1	105.02	120.2	36.16	75	48.59	0.07	0.09	85	99.92	24.11
OS-OLIMPIJA	4800.66	12.33	88	38.7	81.47	104.19	127.83	30.12	80	37.79	0.08	0.1	79	89.27	29.05
OS-CRVENKA	5723.87	11.1	89	55.63	90.74	111.57	122.8	35.91	77	46.76	0.07	0.09	91.67	84	9.74
PRIMA	7209.87	9.8	85.67	53.1	89.98	123.91	138	45.23	87	52.46	0.06	0.07	89.33	93.33	26.53
REBEKA	5058.39	10.6	94.67	46.87	88.41	94.21	106.8	31.73	67	47.52	0.07	0.1	86.67	95.11	27.44
RENAN	5484.46	11.9	89	44.63	86.51	114.18	132.03	34.4	83	41.57	0.08	0.09	88.67	85.35	45.1
SAN PASTORE	5526.4	11.07	102	45.37	89.22	107.36	120	34.67	75	46.16	0.07	0.09	80.67	104.14	35.31
SANA	5846.42	10.07	75	38.63	80.1	103.34	129	36.67	81	45.36	0.06	0.08	88.33	87.76	21.22
SILVIJA	6128.79	11.37	76.67	42.2	86.31	122.48	142.3	38.45	89	43.38	0.07	0.08	90	87.4	34.77
SLAVONIJA	5601.91	11.47	78.33	50.63	90.75	112.71	124.1	35.14	78	45.17	0.07	0.09	90.33	90.04	15.09
SOFRU	6907.88	10.17	74.67	62.03	92.74	123.08	132.67	43.33	83	52.34	0.06	0.08	92	82.81	23.16
SRPANJKA	5700.61	10.43	66	47.2	85.84	104.54	121.87	35.76	76	47.01	0.06	0.09	87.67	89.33	17.22
TIKA-TAKA	6022.02	10.6	82.67	42.37	83.08	112.47	136.33	37.78	86	45.1	0.07	0.08	75.67	114.86	31.36
TOSUNBEY	5763.45	11.17	101.67	47.87	88.75	113.51	127.5	36.16	80	45.37	0.07	0.09	85.33	96.6	23
U-1	4425.78	12.67	137.67	33.97	83.3	97.44	117.7	27.76	74	37.78	0.08	0.11	73.67	108.75	40.37
VIKTORIA	5125	12.37	80	43.43	86	111.2	130.07	32.15	82	39.76	0.08	0.09	88.67	86.57	19.59

VULKAN	6083.09	11.5	96.67	44.77	85.63	122.68	143.37	38.16	90	42.39	0.07	0.08	93	71.34	24.41
WALDINGER	5651.74	10.3	88.33	55.27	93.75	102.43	109.03	35.45	68	52.2	0.07	0.1	93.33	84.12	31.22
<u>ZLATNA DOLINA</u>	5439.95	10.73	78	39.73	83.11	102.62	123.57	34.12	78	44.4	0.07	0.09	79.67	97.87	37.38

Dodatna tablica 8. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Poreč u sezoni 2017/2018 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	7053.65	12.97	75	58.6	87.55	160.63	183.53	30.13	78	38.52	0.06	0.07	87	64.11	47.43
BC ANICA	6887.5	12.8	76	53.2	88.12	154.68	175.6	29.42	75	39.25	0.06	0.07	87	82.65	33.95
BC BERNARDA	6386.42	13.67	84.33	32.1	73.65	152.77	210.13	27.29	90	30.82	0.06	0.07	89	77.11	90.72
BC CERTISSA	6749.52	12.93	76	48.63	81.06	153.2	188.77	28.83	81	35.79	0.06	0.07	80.33	75.12	42.23
BC DARIJA	7012.07	13.27	77	51.63	87.79	163.13	185.87	29.95	79	37.72	0.06	0.07	96	52.15	38.27
BC IRENA	6434.08	13.67	85.67	50.3	85.59	154.36	182.13	27.49	78	35.76	0.06	0.08	87.33	72.58	20.13
BC IRMA	6639.96	14.1	79.67	38.37	81.76	162.89	200.13	28.37	86	33.35	0.06	0.07	82.33	91.98	14.05
BC LORENA	7298.23	12.9	74.67	46.27	85.45	165.07	193.57	31.18	83	37.78	0.06	0.06	85.67	69.6	68.39
BC LJEPOTICA	6500.88	13.1	72	45.97	83.93	149	177.4	27.77	76	36.57	0.06	0.08	83.67	82.81	9.77
BC OPSESIJA	7573.71	13.27	78.67	57.43	90.49	176.38	195.07	32.36	83	38.91	0.06	0.07	91.67	65.15	26.86
BC TENA	5817.72	14.23	94	38.67	83.02	145.53	176.57	24.85	75	33.27	0.06	0.08	86.67	77.89	79.45
BEZOSTAJA-1	5435.91	14.4	115.67	36.8	84.14	136.86	163.07	23.23	70	33.43	0.06	0.09	85.33	99.4	33.25
BOLOGNA	6428.87	13.47	81.33	39.27	82.35	151.78	184.63	27.47	79	34.84	0.06	0.07	89	77.16	35.02
CALISOL	7345.4	13	89	46.37	85.72	167.7	196.37	31.38	84	37.64	0.06	0.07	83.33	85.81	13.96
DROPIA	6471.55	13.83	85.33	51.47	88.96	157	176.83	27.65	76	36.66	0.06	0.08	86.33	81.82	46.55
FELIX	7258.99	13.5	77.67	51.83	87.35	171.98	197.43	31.01	84	36.86	0.06	0.07	88	73.25	20.32
FICKO	7029.35	13.8	93.67	51.87	88.63	170.14	191.93	30.03	82	36.61	0.06	0.07	92	63.62	41.37
FLAMURA 85	6360.01	13.17	96.67	49.63	87.23	146.95	169.2	27.17	72	37.82	0.06	0.08	86.33	83.75	26.77
FORCALI	7028.64	15.1	85	50.07	85.75	186.06	217.03	30.02	92	32.37	0.06	0.07	86.33	67.93	98.79
GALLOPER	6749.08	12.3	103.33	48.87	86.22	145.91	169.47	28.83	72	39.98	0.05	0.07	85.33	86.99	28.88
GOLUBICA	6344.99	14.53	83.67	35.83	79.8	161.93	203.2	27.11	87	31.32	0.06	0.07	87.67	73.65	73.38
GRAINDOR	7303.56	12.73	95	51.97	88.24	163.19	185.73	31.2	79	39.5	0.05	0.07	89	76.02	20.74
ISENGRAIN	8161.13	12.4	85	43.57	84.5	177.63	210.4	34.86	90	38.85	0.05	0.06	86	80.05	71.41
KATARINA	7326.67	12.97	72	59.23	87.17	166.69	191.43	31.3	82	38.33	0.06	0.07	88	59.93	35.66
KRALJICA	7153.76	14.6	75.33	32.63	77.11	182.84	237.4	30.56	101	30.18	0.06	0.06	85.33	71.69	42.11
LUKULLUS	6120.13	14.2	105.33	44.3	85.93	152.68	177.57	26.15	76	34.52	0.06	0.08	46.33	85.23	181.38
MIHELCA	6156.19	13	85.33	52.03	87.79	139.86	159.33	26.3	68	38.58	0.05	0.08	79	84.7	52.66
MV-NADOR	6468.03	13.53	71.33	56.7	91	152.96	168.17	27.63	72	38.41	0.06	0.08	94.67	65.67	82.81
MV-NEMERE	7098.99	12.4	82.67	43.53	83.29	154.29	185.9	30.33	80	38.37	0.05	0.07	82	93.75	53.76
OS-JELENA	6163.2	13.33	96.33	46.8	84.32	144.15	171.37	26.33	73	36.05	0.06	0.08	92.33	68.32	86.52
OS-OLIMPIJA	6754.4	15.53	86.33	44.3	82.43	184.14	223.63	28.86	95	30.26	0.07	0.07	87.67	56.12	30.21
OS-CRVENKA	6256.68	14.1	90.67	53.57	86.31	155.12	181.2	26.73	78	34.98	0.06	0.08	79.67	75.51	81.22
PRIMA	7934.57	12.77	83.33	44.37	86.35	178.06	206.87	33.9	88	38.6	0.06	0.06	89.33	72.37	44.76
REBEKA	7435.21	13.6	104.33	52.3	90.42	177.28	196.07	31.76	84	37.9	0.06	0.07	87.33	74.52	47.8
RENAN	6471.88	14	86.67	41.63	80.28	159.07	201	27.65	86	32.74	0.06	0.07	79.67	78.92	20.62
SAN PASTORE	6688.26	13.8	93.33	44.63	84.38	161.75	192.57	28.58	82	34.87	0.06	0.07	89.67	70.87	22.35
SANA	6773.59	12.47	79	53.2	86.63	148.07	171	28.94	73	39.61	0.05	0.07	91	68.56	48.51
SILVIJA	7196.23	13.8	80.67	43.13	85.81	174.22	202.87	30.74	87	35.45	0.06	0.07	87.67	77.45	74.61
SLAVONIJA	7240.22	13.53	75.67	47.6	85.46	172.1	202.47	30.93	87	36.06	0.06	0.06	88	73.72	36.18
SOFRU	7379.37	12.37	76	58.1	90.59	160.21	176.93	31.52	76	41.77	0.05	0.07	88	71.65	63.84
SRPANJKA	6392.87	13.5	71.67	48.57	84.38	151.4	180.37	27.31	77	35.63	0.06	0.08	83.33	75.75	45.08
TIKA-TAKA	7346.13	13.67	83.67	54.27	88.37	176.18	199.5	31.38	85	36.87	0.06	0.07	90.33	64.71	36.73
TOSUNBEY	6494.07	13.1	99.67	45.13	84.22	149.17	177.47	27.75	76	36.73	0.06	0.07	82	87.43	8.87
U-1	4617.8	16.4	136	28.5	64.64	132.82	248.37	19.73	106	22.32	0.07	0.08	73.67	80.17	37.26
VIKTORIA	6744.72	14.7	77	48.7	77.48	173.92	232.77	28.81	99	30.1	0.06	0.06	76.67	62.39	84.24

VULKAN	7558.51	13.1	84.33	56.57	91.25	173.75	190.37	32.29	81	39.72	0.06	0.07	91.67	69.57	9.09
WALDINGER	6763.62	13.3	94.33	52.33	88.81	157.81	178.2	28.9	76	38.06	0.06	0.08	86.33	75.74	48.77
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6153.05	12.97	78.33	46.17	87.19	139.95	161.23	26.29	69	38.31	0.06	0.08	86.67	82.25	67.41

Dodatna tablica 9. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Zagreb u sezoni 2016/2017 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNV	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	6649.16	12.83	81	51.92	86.86	149.73	173	33.13	86	38.6	0.06	0.08	67.67	83.08	88.67
BC ANICA	7164.82	11.97	84	64.66	92.75	150.36	162.07	35.69	81	44.19	0.06	0.08	86.33	70.26	64.76
BC BERNARDA	7169.15	12	83	50.5	84.09	151.01	181.13	35.72	90	39.91	0.06	0.07	78	81.56	41.89
BC CERTISSA	6788.12	11.23	85.67	52.86	88.74	133.82	151	33.82	75	45.02	0.06	0.07	85	98.7	37.24
BC DARIJA	7042.12	11.9	90	47.06	87.8	147.36	167.73	35.08	84	42.07	0.06	0.07	81.67	97.09	60.76
BC IRENA	7011.53	12.03	89.33	51.21	89.05	148.39	166.6	34.93	83	42.18	0.06	0.07	82.33	89.8	48.33
BC IRMA	8244.39	12.27	87	52.9	90.46	177.59	196.57	41.08	98	42.04	0.06	0.06	89	77.88	53.4
BC LORENA	7526.5	12.27	88.33	55.87	90.7	161.92	178.4	37.5	89	42.15	0.06	0.07	91.67	68.14	32.78
BC LJEPOTICA	7372.9	11.53	79.33	60.46	90.57	149.42	164.5	36.73	82	44.78	0.06	0.07	85.67	80.64	30.03
BC OPSESIJA	8203.71	11.57	83.67	54.18	89.77	166.68	185.33	40.87	92	44.23	0.06	0.06	88	80.52	35.65
BC TENA	4780.41	13.67	86.67	48.74	85.3	114.72	134.27	23.82	67	35.58	0.07	0.1	58.33	100.07	47.95
BEZOSTAJA-1	5159.04	13.63	85.67	41.59	85.85	123.35	143.2	25.7	71	35.9	0.07	0.1	77.33	95.05	37.78
BOLOGNA	5872.08	12.77	85.33	46.16	86.64	131.69	152.03	29.25	76	38.72	0.06	0.09	80.33	90.11	32.42
CALISOL	7728.68	11.03	90.67	62.48	92.21	149.83	162.57	38.5	81	47.69	0.06	0.07	87.33	82.91	30.87
DROPIA	6518.35	12.9	83.67	56.44	90.69	147.45	162.57	32.48	81	40.17	0.06	0.08	80.33	79.48	52.28
FELIX	6675.2	13.63	78.33	57.32	90.81	158.95	174.67	33.26	87	38.06	0.07	0.08	86	66.8	62.66
FICKO	5778.7	13.13	87.67	46.14	86.77	133.4	153.93	28.79	77	37.67	0.07	0.09	74.67	95.34	56.68
FLAMURA 85	6740.15	12.9	90.33	54.46	88.98	152.68	171.4	33.58	85	39.32	0.07	0.08	81.67	77.75	43.48
FORCALI	6867	13.17	100.67	45.77	85.77	158.85	185.33	34.21	92	37.11	0.07	0.07	83.67	84.49	39.2
GALLOPER	6589.07	11.17	91.67	52.32	90.5	129.54	143.17	32.83	71	46.27	0.06	0.08	81	99.31	51.07
GOLUBICA	6217.77	13.47	89.33	51.35	88.79	146.84	165.83	30.98	83	37.66	0.07	0.08	80.67	80.91	51.48
GRAINDOR	7231.5	11.87	89	55.4	90.08	150.54	167.23	36.03	83	43.26	0.06	0.07	89.33	76.85	29.41
ISENGRAIN	7013.9	10.9	87.67	55.55	93.85	134.38	142.97	34.94	71	49.09	0.05	0.08	88	106.1	40.64
KATARINA	6485.99	12.2	79.67	55.6	88.38	139.13	157.37	32.31	78	41.38	0.06	0.08	85	76.93	45.67
KRALJICA	7491.47	13.83	89.33	57.55	91.9	181.99	197.9	37.32	98	37.92	0.07	0.07	83.67	71.86	60.04
LUKULLUS	6287.44	12.87	90	51.29	91.45	141.27	154.57	31.32	77	40.65	0.06	0.09	85.67	86.22	69.44
MIHELCA	6225.63	12.53	92.67	56.17	90.65	136.91	151.03	31.02	75	41.23	0.06	0.08	82.33	79.34	47.04
MV-NADOR	7636.33	11.67	79.67	59.29	89.85	156.37	174.73	38.05	87	43.96	0.06	0.07	90.33	71.01	33.53
MV-NEMERE	7636.97	12.2	90.33	51.74	88.73	163.42	184.33	38.05	92	41.46	0.06	0.07	90	64.56	51.73
OS-JELENA	6289.63	11.9	86	51.5	90.74	131.82	145.17	31.34	72	43.53	0.06	0.08	78.33	93.5	62.08
OS-OLIMPIJA	5592.52	15.23	87	58.22	92.29	149.84	162	27.86	81	34.62	0.08	0.1	84.33	68.85	54.25
OS-CRVENKA	5714.74	13.87	85.33	43.07	84.85	139.07	164.37	28.47	82	34.92	0.07	0.08	70	89.7	64.3
PRIMA	7338.05	11.33	86.33	53.31	90.77	145.01	159.6	36.56	79	45.8	0.06	0.07	87.33	92.94	32.7
REBEKA	5951.76	12.97	90	56.27	91.21	135.69	148.87	29.65	74	40.12	0.06	0.09	87.67	79.06	23.14
RENAN	6928.25	12.5	82	56.85	90.2	152.07	168.37	34.52	84	41.13	0.06	0.07	84.33	72.45	63.29
SAN PASTORE	6275.78	12.27	93	49.57	89.95	136.41	151.27	31.27	75	41.89	0.06	0.09	83	96.68	44
SANA	6202.37	11.53	104.67	43.35	85.25	125.73	146.8	30.9	73	42.11	0.06	0.08	87	88.43	73.16
SILVIJA	7437.6	12.43	73.33	49.86	88.61	162.76	184.03	37.06	92	40.61	0.06	0.07	87.33	84.14	28.58
SLAVONIJA	6201.06	12.73	81.67	54.42	88.15	138.82	157.27	30.89	78	39.41	0.06	0.08	79.67	79.33	43.32
SOFRU	7955.58	11.33	82.33	62.71	93.24	158.43	169.77	39.63	85	46.95	0.06	0.07	93.33	69.62	43.84
SRPANJKA	6649.91	13.27	62.33	50.21	88.41	154.73	176.3	33.13	88	38.03	0.07	0.08	80	82.16	54.12
TIKA-TAKA	7402.12	11.87	85.67	60.05	92.16	153.9	167	36.88	83	44.32	0.06	0.07	88	76.84	35.17
TOSUNBEY	5117.39	13.13	89	49.95	86.82	117.76	136.07	25.5	68	37.66	0.06	0.1	69.67	93.93	52.24
U-1	5036.99	14.77	113.67	36.7	83.88	130.98	159.17	25.09	79	32.64	0.07	0.1	79	99.75	25.82
VIKTORIA	6571.47	13.87	79.67	50.14	86.98	159.74	183.53	32.74	91	35.81	0.07	0.08	82.67	67.04	54.25

VULKAN	6591.89	12.67	87.33	49.97	89.24	146.59	164.13	32.84	82	40.16	0.06	0.08	80	91.81	48.78
WALDINGER	7088.52	11.53	88.67	60.87	92.42	143.48	155.2	35.32	77	45.69	0.06	0.08	89.67	77.72	40.25
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6171.34	12.3	85	50.2	87.48	133.7	152.77	30.75	76	40.58	0.06	0.08	77.33	80.24	47.33

Dodatna tablica 10. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Zagreb u sezoni 2016/2017 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNV	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	7296.47	13.77	73.67	64.55	90.19	176.26	195.37	31.08	83	37.34	0.06	0.07	89.67	60.59	29.53
BC ANICA	7517.2	13.27	79.67	60.97	92.48	174.95	189.17	32.02	80	39.75	0.06	0.07	88.67	74.44	53.5
BC BERNARDA	7500.37	13.4	86.67	53.39	84.18	175.8	209.1	31.95	89	35.91	0.06	0.07	78.33	70.48	37.91
BC CERTISSA	7181.75	12.7	81	56.37	88.94	160.17	179.93	30.59	77	40.12	0.05	0.07	88	79.44	48.64
BC DARIJA	8331.07	13.23	86	56.78	89.36	193.39	216.7	35.49	92	38.48	0.06	0.06	86.33	70.18	59.64
BC IRENA	7656.48	13.67	88.67	53.15	86.27	183.55	212.73	32.61	90	35.98	0.06	0.06	76.67	71.8	71.94
BC IRMA	8906.46	13.43	83.67	53.99	90.02	209.87	233.17	37.94	99	38.2	0.06	0.06	89	71.79	42.57
BC LORENA	8036.56	13.63	81	62.19	92.24	192.31	208.73	34.23	89	38.58	0.06	0.07	92	64.67	33.66
BC LJEPOTICA	9025.11	12.77	78	64.34	91.38	201.7	220.7	38.44	94	40.88	0.05	0.06	90.33	64.47	42.18
BC OPSESIJA	7886.04	12.57	83.33	58.69	88.22	173.83	197.1	33.59	84	40.01	0.05	0.06	90	65.42	45.71
BC TENA	4608.39	15.17	84	53.87	86.68	122.66	141.37	19.63	60	32.57	0.06	0.11	82.67	72.74	22.77
BEZOSTAJA-1	6017.76	14.83	112	49	87.05	156.58	179.9	25.63	77	33.45	0.06	0.08	86.67	71.72	15.26
BOLOGNA	7036.19	13.97	88.67	61.87	91.65	172.39	188.1	29.97	80	37.4	0.06	0.07	86	63.71	48.67
CALISOL	8420.01	12.17	91	62.69	92.69	179.72	193.87	35.87	83	43.43	0.05	0.06	91.33	73.85	46.36
DROPIA	7868.71	14.53	93.67	59.15	90.58	200.57	221.47	33.51	95	35.54	0.06	0.07	84	61.44	70.76
FELIX	7197.94	14.57	82.67	50.13	84.35	183.71	217.77	30.66	93	33.07	0.06	0.07	78.33	70.54	58.55
FICKO	7701.8	14.33	86.67	57.28	88.5	193.66	219	32.81	93	35.22	0.06	0.06	81.33	63.22	69.25
FLAMURA 85	7654.11	14.1	92.33	55.47	88.72	189.34	213.57	32.6	91	35.87	0.06	0.07	87	68.51	27.08
FORCALI	7802.52	15.13	84	52.9	87.81	207.12	236.07	33.23	100	33.09	0.07	0.06	83.33	62.19	58.84
GALLOPER	7704.97	12.4	95.33	62.1	92.6	167.59	181.23	32.82	77	42.61	0.05	0.07	89	72.36	42.25
GOLUBICA	6855.65	15.53	89.33	56.87	90.81	186.84	205.93	29.2	88	33.33	0.07	0.08	89.33	61.5	41.46
GRAINDOR	7757.75	12.5	92	61.49	92.3	170.09	184.67	33.04	79	42.09	0.05	0.07	89.33	76.78	57.94
ISENGRAIN	9046.95	11.87	86.33	61.1	91.86	188.38	205.03	38.54	87	44.12	0.05	0.06	89	74.24	34.45
KATARINA	7136.02	13.8	75.67	63.88	91.45	172.82	188.93	30.4	80	37.78	0.06	0.07	88.33	67.69	27.43
KRALJICA	7419.91	14.67	86	54.25	89.12	190.4	213.2	31.61	91	34.67	0.06	0.07	87.33	70.36	77.62
LUKULLUS	8260.64	13.83	94	56.4	90.53	200.39	221.7	35.19	94	37.3	0.06	0.06	85.33	70.11	79.18
MIHELCA	6227.56	13.7	86.33	57.6	90.99	149.62	164.23	26.53	70	37.86	0.06	0.08	88.67	72.71	59.23
MV-NADOR	8199.83	13.17	81.67	58.03	89.97	189.25	210.17	34.92	90	39.03	0.05	0.06	84.67	72.3	47.92
MV-NEMERE	8483.37	13.83	91	61.75	92.79	205.84	221.9	36.13	94	38.27	0.06	0.06	91.67	61.37	35.81
OS-JELENA	7744.25	13.77	97	59.26	93.07	187	200.9	32.99	85	38.54	0.06	0.07	92.67	61.19	38.09
OS-OLIMPIJA	6081.28	16.77	78.67	50.64	84.9	178.91	210.83	25.9	90	28.87	0.07	0.08	75.67	61.02	56.58
OS-CRVENKA	6591.7	15.37	81.67	53.29	89.56	177.76	198.57	28.08	84	33.23	0.07	0.08	86	64.59	37.97
PRIMA	7879.63	13.83	87.33	53.71	89.68	189.32	211.2	33.56	90	37.7	0.06	0.07	87.67	68.34	36.43
REBEKA	7409.82	13.7	97	50.38	86.7	178.16	206.4	31.56	88	36.04	0.06	0.07	82.67	76.57	33.44
RENAN	8129.94	13.47	98	53.85	87.62	192.11	219.37	34.63	93	37.09	0.06	0.06	83.33	72.41	32.91
SAN PASTORE	7016.32	13.73	99.67	51.65	88.97	169.16	190.23	29.88	81	36.94	0.06	0.07	84.67	75.11	23.9
SANA	7198.8	12.2	81	60.01	89.66	153.95	171.73	30.66	73	41.91	0.05	0.07	88.33	75.57	36.61
SILVIJA	8118.75	13.33	83.33	57.7	89.77	190.09	212.1	34.58	91	38.42	0.06	0.06	91	61.15	35.61
SLAVONIJA	6972.11	14	82.67	54.77	86.72	171.18	197.63	29.7	84	35.31	0.06	0.07	80	70.93	54.04
SOFRU	9473.99	12.33	82	60.8	90.29	204.95	226.83	40.35	97	41.73	0.05	0.05	87	69.27	58.71
SRPANJKA	7174.59	14.3	71	51.14	86.37	180.04	209.23	30.56	89	34.52	0.06	0.07	87	67.57	27.17
TIKA-TAKA	8727.37	13.17	90.67	59.3	91.07	201.5	221.37	37.18	94	39.43	0.06	0.06	90	62.32	49.08
TOSUNBEY	6710.83	13.53	95.33	49	88.04	158.87	180.57	28.59	77	37.16	0.06	0.08	82	84.51	30.49
U-1	5592.67	14.83	142.33	39.78	83.51	145.83	174	23.82	74	32.32	0.06	0.09	81.33	86.16	41.83
VIKTORIA	7462.46	15.3	82.33	47.67	85.68	200.31	234	31.79	100	31.92	0.07	0.07	84	68.92	37.39

VULKAN	7298.2	13.57	80.67	58.6	92.75	173.7	187.93	31.09	80	38.97	0.06	0.07	91	68.68	41.79
WALDINGER	7356.09	12.87	82.67	60.09	91.09	166.03	182.27	31.33	78	40.35	0.05	0.07	85	72.58	52.6
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6470.62	13.53	83.33	56.94	88.04	153.62	174.77	27.56	74	37.08	0.06	0.08	84.67	68.55	31.39

Dodatna tablica 11. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Zagreb u sezoni 2017/2018 pri niskoj opskrbljenosti dušikom (LN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	6923.52	10.5	81	49.07	85.63	144.78	169.07	31.36	77	40.95	0.05	0.06	43	128.16	91.42
BC ANICA	7159.62	12.63	79	45.67	80.05	166.44	207.7	32.43	94	34.57	0.06	0.06	51.67	97.33	80.33
BC BERNARDA	6525.28	12.63	85.33	43.6	85.27	155.75	183.27	29.56	83	35.73	0.06	0.07	64	110.4	64.52
BC CERTISSA	6849.15	9.63	80.33	46.83	83.46	134.86	162.03	31.02	74	43.57	0.04	0.06	65	130.41	54.63
BC DARIJA	6968.85	12.5	81.67	48.4	82.2	159.31	193.7	31.56	88	36.02	0.06	0.06	50	100.52	82.53
BC IRENA	6033.51	10.17	85.33	49.33	88	126.39	143.43	27.33	65	42.48	0.04	0.07	63.67	134.9	49.09
BC IRMA	7760.26	11.43	85	42.97	80.35	155.3	193.27	35.15	87	40.77	0.05	0.06	59	111.64	69.48
BC LORENA	7225.62	11.9	79	45.57	83.71	153.01	183.33	32.72	83	39.73	0.05	0.06	49.67	117.38	92.87
BC LJEPOTICA	6400.54	10.37	75	46.2	79.11	121.87	153.37	28.99	69	42.02	0.05	0.07	48	117.51	58.89
BC OPSESIJA	6764.84	11.47	81.67	50.77	88.33	164.91	187.97	30.64	85	36.06	0.05	0.06	65.33	114.8	64.15
BC TENA	6679.5	13.5	94.33	43.5	83.44	159.79	191.97	30.25	87	35.3	0.06	0.07	45	112.22	102.12
BEZOSTAJA-1	5145.24	13.53	108.67	38.4	77.77	134.69	170.83	23.3	77	30.7	0.06	0.08	61	102.55	30
BOLOGNA	5893.49	10.03	82.67	45.77	78.3	112.89	143.87	26.69	65	41.27	0.05	0.07	55.33	119.43	31.37
CALISOL	6428.11	9.93	92.33	40.03	75.53	144.98	193.47	29.11	88	33.14	0.04	0.05	44.33	116.55	68.22
DROPIA	6575.11	12.2	97	43.8	80.46	154.89	192.63	29.78	87	34.11	0.06	0.07	37.33	109.67	106.75
FELIX	7466.94	11.73	74.33	44	76.02	152.34	199.07	33.82	90	38.82	0.05	0.06	35.67	104.33	110.63
FICKO	6308	10.87	91	40.73	81.82	134.66	164.43	28.57	74	39.6	0.05	0.07	58	120.67	61.83
FLAMURA 85	6566.99	11.2	101	48.8	82.36	109.51	132.83	29.74	60	49.98	0.05	0.09	50	143.69	41.95
FORCALI	6569.06	13.77	83.67	40.7	82.01	157.01	192.4	29.75	87	34.67	0.06	0.07	53.33	103.08	86.46
GALLOPER	6041.01	11.03	103	38	72.79	114.01	155.8	27.36	71	38.89	0.05	0.07	57	120.11	27.1
GOLUBICA	6540.65	12.7	90.67	43.03	79.93	151.09	188.8	29.62	85	34.84	0.06	0.07	57	99.12	64.77
GRAINDOR	6383.06	11.4	102.33	44	85.64	154.87	179.2	28.91	81	35.6	0.05	0.06	53	133.9	76.57
ISENGRAIN	7142.83	10.7	90	46.67	83.89	150.67	180.3	32.35	82	40.04	0.05	0.06	48	126.22	82.05
KATARINA	7889.56	12.2	71.67	52.37	85.02	173.35	204.13	35.74	92	38.84	0.05	0.06	45	96.87	111.05
KRALJICA	7312.72	11.8	81.67	47.67	82.77	152.67	184.17	33.12	83	39.71	0.05	0.06	42.67	111.68	92.12
LUKULLUS	6067.21	12.27	113.33	38.1	85.17	150.65	176.63	27.48	80	34.48	0.05	0.07	67	125.79	58.32
MIHELCA	6793.71	11.43	95.33	45.57	85.13	149.29	175.77	30.77	79	38.67	0.05	0.07	58.67	125.71	62.5
MV-NADOR	7228.94	10.67	73.33	48.4	81.91	130.73	159.33	32.74	72	45.6	0.05	0.07	53	125.46	51.16
MV-NEMERE	7752.53	10.6	82.33	47	80.18	150.49	187.17	35.11	85	41.7	0.05	0.06	47.67	114.63	82.87
OS-JELENA	6495.36	12.33	91.67	42.37	84.11	166.55	198.2	29.42	90	33.15	0.05	0.06	45.67	116.8	106.13
OS-OLIMPIJA	5612.95	12.67	97.67	47.07	83.42	141.41	169.8	25.42	77	33.07	0.06	0.07	53.67	107.11	57.66
OS-CRVENKA	7612.8	13.17	95	39.6	76.23	142.38	188.37	34.48	85	40.69	0.06	0.07	60	101.89	59.3
PRIMA	7795.62	11.1	93.67	47.47	84.51	168.07	198.9	35.31	90	39.62	0.05	0.06	64.33	114.46	58.33
REBEKA	6784.76	11.4	112.67	44.63	81.06	148.36	182.83	30.73	83	37.15	0.05	0.06	53.33	118.26	57.35
RENAN	6674.13	11.37	95	38.17	72.65	131.41	182	30.23	82	36.82	0.05	0.06	41.67	110.57	65.9
SAN PASTORE	5406.31	11.97	106.33	40.83	81.3	140.84	174.73	24.49	79	31.32	0.05	0.07	50	115.98	66.67
SANA	6962.82	10.57	82	50.37	78.87	134.21	171.33	31.54	78	41.36	0.05	0.06	45.67	106.34	70.9
SILVIJA	7145.93	11.43	83	45	77.6	155.55	200.2	32.37	91	35.82	0.05	0.06	31.33	104.88	111.65
SLAVONIJA	6933.11	11.53	77.67	47.83	82.34	136.53	166.07	31.4	75	41.79	0.05	0.07	63.33	103.22	51.29
SOFRU	6702.24	10.3	83	45.13	79.49	134.95	169.8	30.36	77	39.78	0.05	0.06	47.33	120.77	55.95
SRPANJKA	7367.15	11.6	69	46.47	81.57	147.5	181.17	33.37	82	41.4	0.05	0.06	67	110.07	30.64
TIKA-TAKA	7328	11.3	85.67	48.1	84.5	155.8	184.43	33.19	83	40.14	0.05	0.06	63.33	118.46	47.32
TOSUNBEY	4745.65	12.3	107.67	43.43	80.71	122.72	150.57	21.49	68	33.05	0.05	0.09	41.33	115.9	64.11
U-1	3761.2	14.13	132.67	24.77	64.82	86.44	135.83	17.03	61	28.49	0.06	0.11	47.67	125.31	29.76
VIKTORIA	7000.55	11.53	83.67	46	79.61	130.95	164.1	31.71	74	43.97	0.05	0.07	63	111.54	38.05

VULKAN	7240.38	12.5	96.33	42.77	83.65	175.27	211.5	32.79	96	35.44	0.06	0.06	50	113.29	110.22
WALDINGER	4729.45	12.57	105.33	42.47	87.21	154.93	179.3	21.42	81	26.52	0.06	0.07	55.33	109.7	78.59
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6086.81	11.23	82.67	47.87	81.55	126.06	155.8	27.57	71	39.81	0.05	0.07	38.67	115.06	80.87

Dodatna tablica 12. BLUP vrijednosti za agronomska svojstva za Zagreb u sezoni 2017/2018 pri visokoj opskrbljenosti dušikom (HN)

SORTA	YIELD	GPC	PH	HI	NHI	GNY	NTA	NUE	NUPE	NUTE	NUEPROT	NUTEPROT	NREM	BPE	PANU
ANDJELKA	7849.15	11.6	75.33	52	78.75	140.73	179.1	31.47	72	44.19	0.05	0.06	58.33	100.3	29.46
BC ANICA	7501.47	13.13	78.67	51	78.44	164.48	209.63	30.07	84	35.91	0.05	0.06	29.67	93.19	111.97
BC BERNARDA	7016.63	13.2	85.67	41.2	73.14	151.11	208.77	28.13	84	33.89	0.05	0.06	36.67	105.65	86.82
BC CERTISSA	7950.13	10.73	79	43.63	73.14	128.38	175.53	31.87	70	45.34	0.04	0.06	54	112.97	40.3
BC DARIJA	7250.66	12.8	80.67	47.57	75.43	154.78	205.77	29.07	83	35.45	0.05	0.06	35.67	93.91	85.8
BC IRENA	7071.94	13.03	90	47.3	73.41	137.73	189	28.35	76	37.73	0.05	0.07	42	99.89	48.06
BC IRMA	7712.26	13.4	85.67	42.63	73.82	181.98	248.2	30.92	99	31.42	0.06	0.05	34.67	91.47	146.28
BC LORENA	7325.56	12.9	89.67	46.77	73.63	164.3	221.23	29.37	89	33.79	0.05	0.06	33	89.69	110.19
BC LJEPOTICA	6669.05	12.97	72.33	45.93	74.4	145.04	195.67	26.74	79	34.85	0.05	0.07	38.67	94.32	61.44
BC OPSESIJA	8195.28	12.67	84.67	44.27	65.62	149.14	229.43	32.85	92	36.34	0.05	0.06	26.33	90.99	89.47
BC TENA	6703.41	14.13	93.33	42.47	78.61	166.41	211.3	26.87	85	31.9	0.06	0.07	36.33	102.13	101.34
BEZOSTAJA-1	5578.73	12.57	106	39.7	69.32	113.16	162.8	22.36	65	34.37	0.05	0.08	40.67	109.78	33.56
BOLOGNA	6416.84	10.5	82.67	41.9	64.91	108.22	170.07	25.72	68	38.07	0.04	0.06	47.67	107.26	69.96
CALISOL	8328.49	11	91.67	41.33	61.28	122.3	198.77	33.39	80	41.97	0.04	0.06	28.33	105.62	65.09
DROPIA	7235.7	12.43	88	46.07	77.76	144.16	186.03	29.01	74	39.78	0.05	0.07	48	111.01	55.72
FELIX	7337.16	12.13	76.33	50.33	78.8	158.35	201.7	29.42	81	36.42	0.05	0.06	28.33	97.85	113.27
FICKO	7060.79	12	88.67	43.13	70.42	132.94	187.77	28.31	75	39.13	0.05	0.07	33	106.24	78.53
FLAMURA 85	5675.27	13.07	94.33	50.4	85.25	150.14	175.97	22.75	70	32.37	0.05	0.08	50.33	104.77	61.6
FORCALI	6499.57	14.23	82.67	43.67	81.15	163.82	202.23	26.06	81	32.33	0.06	0.07	56.67	99.44	61.28
GALLOPER	5935.28	12.5	102.67	44.6	76.17	132.59	172.63	23.8	69	34.52	0.05	0.07	30	112.7	79.02
GOLUBICA	6765.03	15.47	92.33	41.47	73.16	177.59	243.37	27.12	98	27.99	0.06	0.07	48	82.1	60.11
GRAINDOR	7649.27	12.5	97	40.8	66.73	142.91	209.73	30.67	84	36.6	0.05	0.06	44.33	99.32	59.42
ISENGRAIN	8036.3	10.23	86	42.77	64.87	129.02	203.17	32.22	81	40.86	0.04	0.05	36.33	108.04	80.78
KATARINA	8119.13	12.6	73	47.93	74.58	174.23	233.23	32.55	94	35.33	0.05	0.05	32.33	92.33	106.06
KRALJICA	7397.05	12.67	89.67	43.5	75.23	163.57	217.03	29.65	87	34.82	0.05	0.06	41	96.35	95.08
LUKULLUS	6968.57	14	110.67	35.87	71.02	149.08	211.63	27.94	85	33.25	0.05	0.07	41.33	118.5	59.45
MIHELCA	7432.5	12.93	93	51	79.5	152.19	190.63	29.79	77	39.18	0.05	0.07	49	101.33	57.71
MV-NADOR	6988.64	12.43	79.67	40.1	72.52	157.04	216.2	28.02	86	32.44	0.05	0.06	38.33	97.68	91.06
MV-NEMERE	8103.4	11.33	81.67	54.37	81.45	154.37	189.13	32.48	76	43.43	0.04	0.06	51.33	104.35	59.82
OS-JELENA	6378.63	12.53	87.67	42.4	76.7	168.38	218.37	25.57	88	30.05	0.05	0.06	35.67	99.87	104.81
OS-OLIMPIJA	6143.8	12.27	91	42.2	72.51	140.08	193.03	24.63	77	31.82	0.05	0.06	33	96.03	84.1
OS-CRVENKA	7729.6	14.7	95.33	43.83	74.17	144.29	194.37	30.99	78	40.02	0.06	0.08	50.67	99.06	58.18
PRIMA	8611.99	10.33	87.67	44	75.27	139.83	184.93	34.53	74	47.23	0.04	0.05	53	122.94	53.22
REBEKA	7428.82	10.9	92.33	47.27	76.73	128.66	168.8	29.78	68	44.58	0.05	0.07	36.67	126.71	74.4
RENAN	6581.98	12.97	87	39.23	72.5	151.86	210.43	26.39	85	31.54	0.05	0.06	41.67	103.11	63.98
SAN PASTORE	6751.69	14.53	108.33	40.27	70.9	137.11	211.3	27.07	85	36.79	0.06	0.07	41.33	109.77	66.1
SANA	7241.96	12.17	76.67	48.6	73.34	148.16	202.97	29.03	81	35.92	0.05	0.06	28.33	91.86	101.22
SILVIJA	7773.97	11.7	80.67	52.97	80.74	146.04	180.87	31.17	73	43.15	0.05	0.06	39.33	106.98	86.97
SLAVONIJA	6758.78	12.53	76.33	46.73	76.86	152.92	200.27	27.1	80	33.81	0.05	0.06	52	94.98	53.55
SOFRU	7456.93	11.37	84.33	45.73	73.14	133.13	182.57	29.9	73	40.96	0.05	0.06	53	106.99	35.66
SRPANJKA	7218.52	13.07	79.33	45.43	78.98	169.07	214.23	28.94	86	33.79	0.05	0.06	49	93.61	79.72
TIKA-TAKA	7881.79	10.8	96.33	45.17	71.44	138.33	193.13	31.6	78	40.94	0.04	0.06	47.33	108.28	38.66
TOSUNBEY	5643.35	12.53	107	43.97	68.06	103.75	148.5	22.62	60	40.26	0.05	0.09	27.33	109.03	54.51
U-1	3472.35	14.9	130	17.7	42.89	98.16	229.87	13.92	92	15.12	0.06	0.07	23.67	89.12	53.64
VIKTORIA	6445.81	13.83	85	45.97	76.93	170.41	221.53	25.84	89	30.2	0.06	0.06	34	87.92	104.29

VULKAN	7955.15	11.6	88.33	42.77	72.86	147.42	203.23	31.89	81	39.32	0.05	0.06	35.33	106.4	95.13
WALDINGER	7027.23	12.97	93	40	60.52	107.08	178.33	28.17	71	39.66	0.05	0.07	31	108.66	88.9
<u>ZLATNA DOLINA</u>	6397.35	13.1	87	44.37	70.64	139.82	200.03	25.65	80	32.59	0.05	0.07	16.33	91	113.62

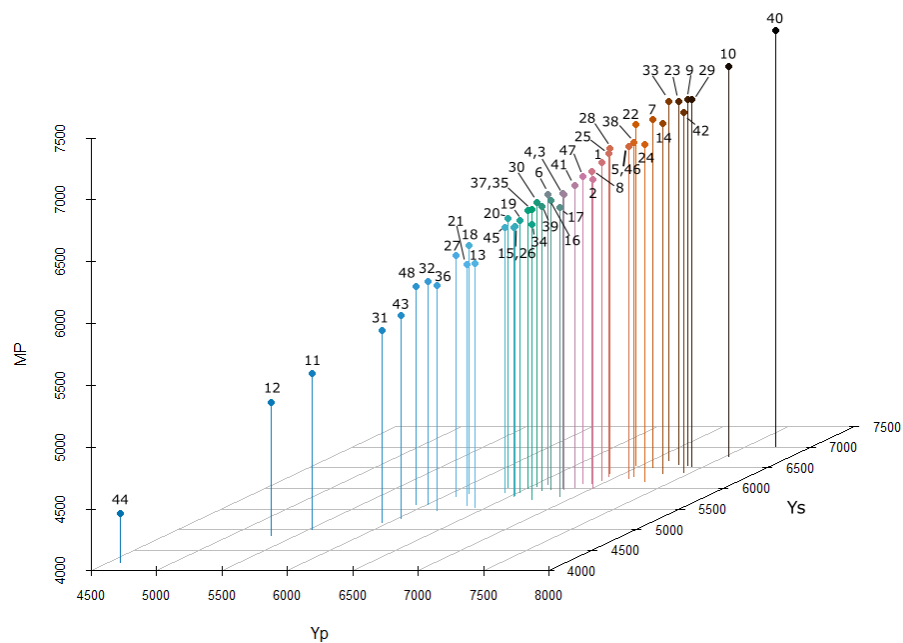
Dodatna tablica 13. Prikaz vrijednosti agronomskih svojstava (i standardne devijacije) kroz šest okolina pri LN

Svojstvo	LN					
	2017			2018		
	OSIJEK	POREČ	ZAGREB	OSIJEK	POREČ	ZAGREB
GY	7241.3 (954.6)	4344.2 (666.2)	6679.7 (812.0)	5236.9 (780.8)	5762.3 (550.3)	6620.4 (844.2)
PH	87.0 (14.0)	87.1 (13.3)	86.7 (7.5)	74.0 (9.3)	84.9 (12.1)	90.1 (12.7)
GPC	11.2 (0.9)	9.2 (0.7)	12.5 (1.0)	11.5 (0.8)	10.9 (0.8)	11.7 (1.0)
GNV	141.9 (16.6)	70.2 (9.5)	145.9 (14.1)	105.0 (13.2)	110.1 (8.3)	144.2 (17.8)
NTA	173.3 (19.3)	89.6 (12.2)	163.7 (14.9)	128.0 (16.0)	128.0 (11.3)	177.4 (18.7)
HI	44.4 (3.5)	37.4 (4.0)	52.8 (5.7)	52.2 (5.7)	44.7 (7.5)	44.5 (4.6)
NHI	82.0 (2.6)	78.2 (4.1)	89.2 (2.5)	82.5 (4.6)	86.4 (4.4)	81.3 (4.3)
NUE	32.2 (4.2)	35.6 (5.5)	33.3 (4.0)	31.2 (4.7)	36.1 (3.5)	30.0 (3.8)
NU_pE	0.77 (0.09)	0.73 (0.10)	0.81 (0.07)	0.76 (0.10)	0.80 (0.07)	0.80 (0.08)
NU_tE	42.1 (3.7)	48.7 (4.9)	40.9 (3.7)	41.2 (4.1)	45.5 (4.2)	37.9 (4.5)
NU_tE_PROT	0.07 (0.03)	0.11 (0.06)	0.08 (0.01)	0.09 (0.02)	0.09 (0.01)	0.07 (0.01)
NUE_PROT	0.05 (0.00)	0.08 (0.01)	0.06 (0.01)	0.07 (0.01)	0.07 (0.01)	0.05 (0.01)
NRE	57.8 (11.0)	48.7 (12.5)	82.7 (6.6)	64.1 (13.3)	85.7 (7.8)	52.3 (9.0)
BPE	96.3 (10.7)	152.1 (18.1)	83.3 (10.5)	81.2 (8.2)	99.5 (21.6)	114.9 (10.3)
PANU	93.2 (21.0)	42.3 (13.0)	47.2 (13.6)	65.3 (51.5)	40.7 (48.1)	68.7 (23.5)

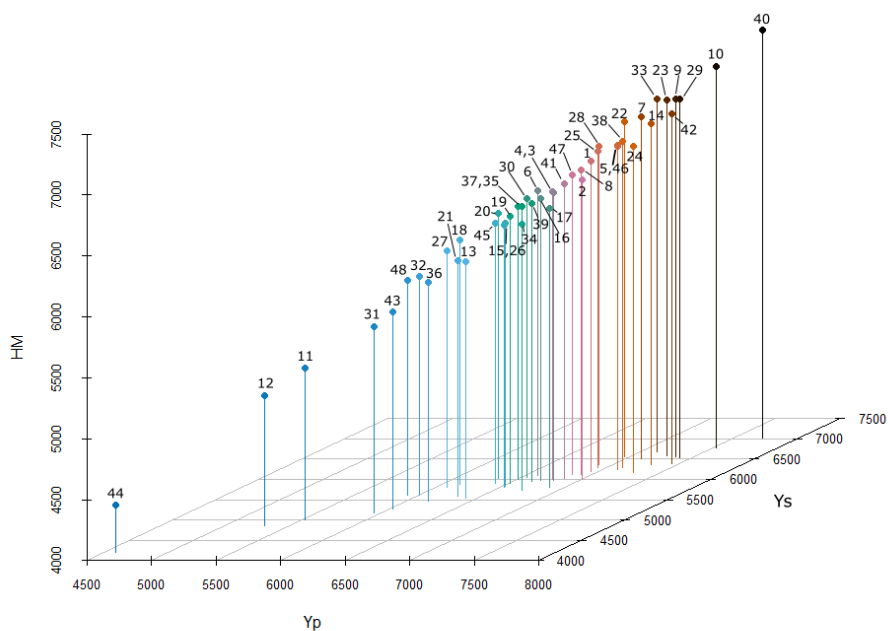
Dodatna tablica 14. Prikaz vrijednosti agronomskih svojstava (i standardne devijacije) kroz šest okolina pri HN

Svojstvo	HN					
	2017			2018		
	OSIJEK	POREČ	ZAGREB	OSIJEK	POREČ	ZAGREB
GY	7502.4 (1128.9)	4618.1 (772.6)	7503.1 (918.3)	6474.5 (964.8)	6770.0 (628.0)	7076.5 (899.1)
PH	89.5 (13.9)	87.4 (14.4)	87.7 (10.9)	75.8 (9.2)	86.1 (12.4)	88.8 (10.9)
GPC	13.0 (0.9)	11.5 (0.9)	13.8 (1.0)	13.5 (1.1)	13.5 (0.8)	12.6 (1.2)
GNV	170.8 (23.8)	93.0 (13.8)	180.0 (18.1)	151.9 (18.4)	160.3 (13.2)	145.3 (19.3)
NTA	208.2 (27.3)	114.2 (16.8)	201.7 (20.0)	182.4 (21.5)	190.6 (19.4)	199.6 (20.8)
HI	46.3 (4.4)	39.7 (4.4)	56.4 (5.1)	53.0 (5.9)	47.4 (7.2)	44.2 (5.5)
NHI	82.4 (4.2)	81.3 (4.2)	89.3 (2.5)	83.6 (4.3)	85.0 (4.7)	73.1 (6.8)
NUE	28.6 (4.3)	29.3 (4.9)	32.0 (3.9)	28.7 (4.3)	28.9 (2.7)	28.4 (3.6)
NU_pE	0.79 (0.10)	0.72 (0.11)	0.86 (0.09)	0.81 (0.10)	0.81 (0.08)	0.80 (0.08)
NU_tE	36.2 (3.2)	40.5 (4.4)	37.3 (3.3)	35.7 (3.9)	36.0 (3.5)	36.3 (5.5)
NU_tE_PROT	0.06 (0.01)	0.11 (0.02)	0.07 (0.01)	0.08 (0.01)	0.07 (0.01)	0.06 (0.01)
NUE_PROT	0.05 (0.00)	0.07 (0.01)	0.06 (0.01)	0.06 (0.01)	0.06 (0.00)	0.05 (0.01)
NRE	68.0 (8.5)	61.7 (10.0)	86.2 (4.1)	72.1 (10.0)	85.6 (7.3)	39.6 (9.6)
BPE	85.0 (9.2)	125.9 (12.5)	69.5 (6.0)	67.6 (6.0)	75.2 (9.6)	101.7 (9.2)
PANU	74.7 (29.2)	43.0 (14.2)	44.6 (14.8)	71.4 (25.4)	48.4 (30.8)	75.2 (25.2)

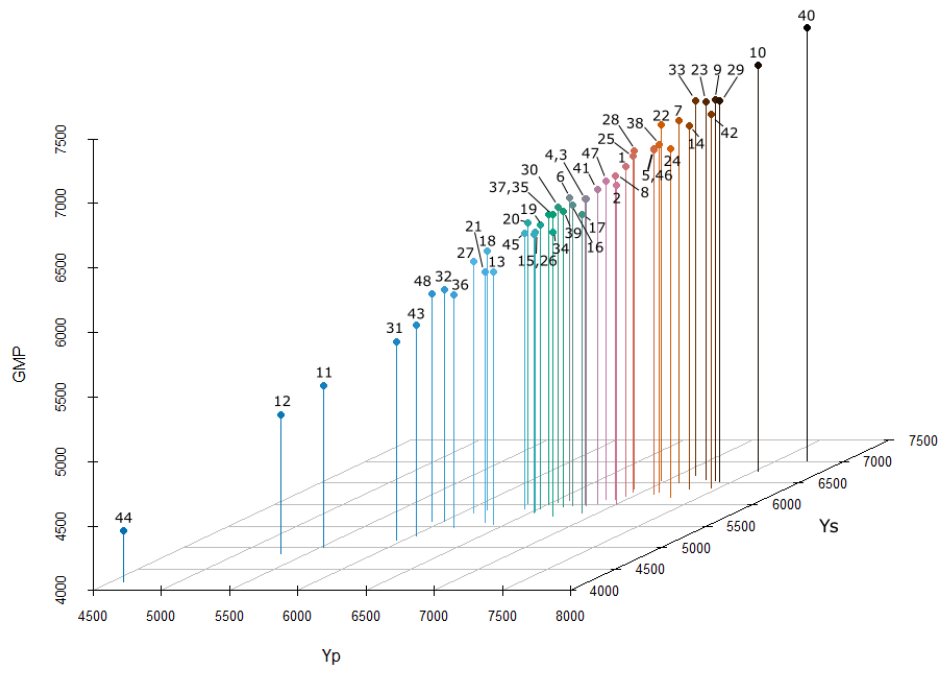
Prilog: Dodatna slika 1. 3D dijagrami za indekse stresa **(a)** MP, **(b)** HM, **(c)** GMP, **(d)** YI, **(e)** TOL, **(f)** SSI, **(g)** YSI, **(h)** RDI i prinos zrna pod HN (Yp) i LN (Ys) tretmanima kod 48 genotipova ozime pšenice.



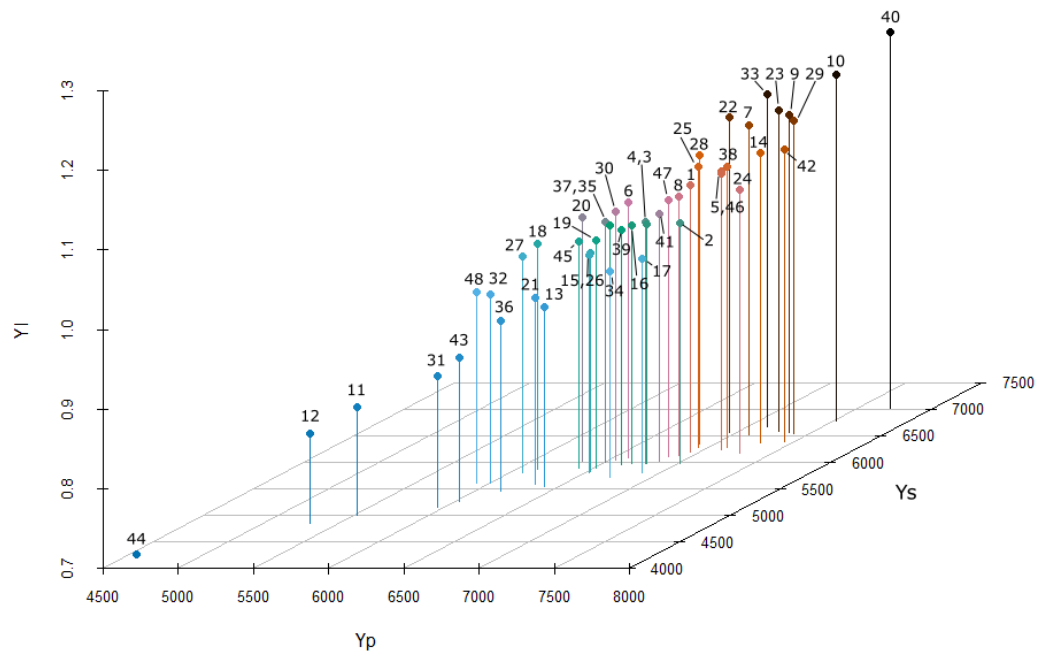
(a) MP



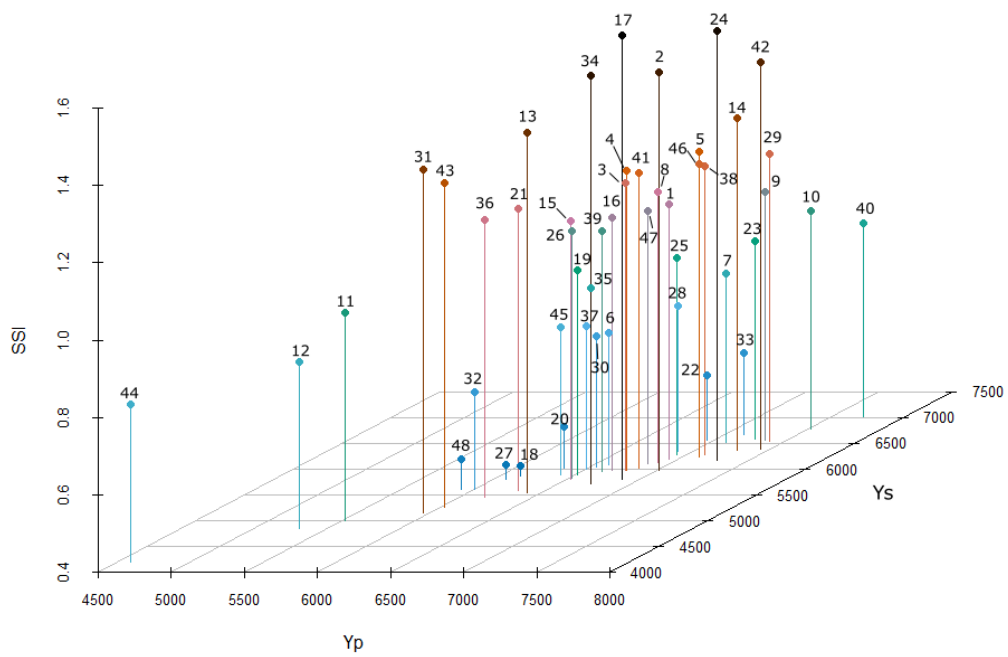
(b) HM



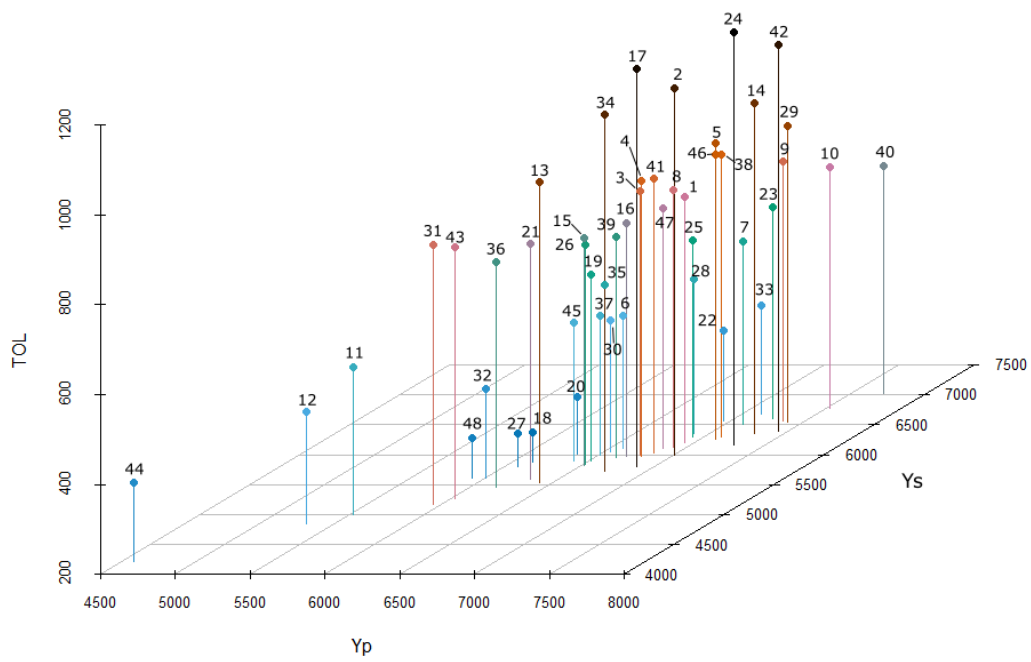
(c) GMP



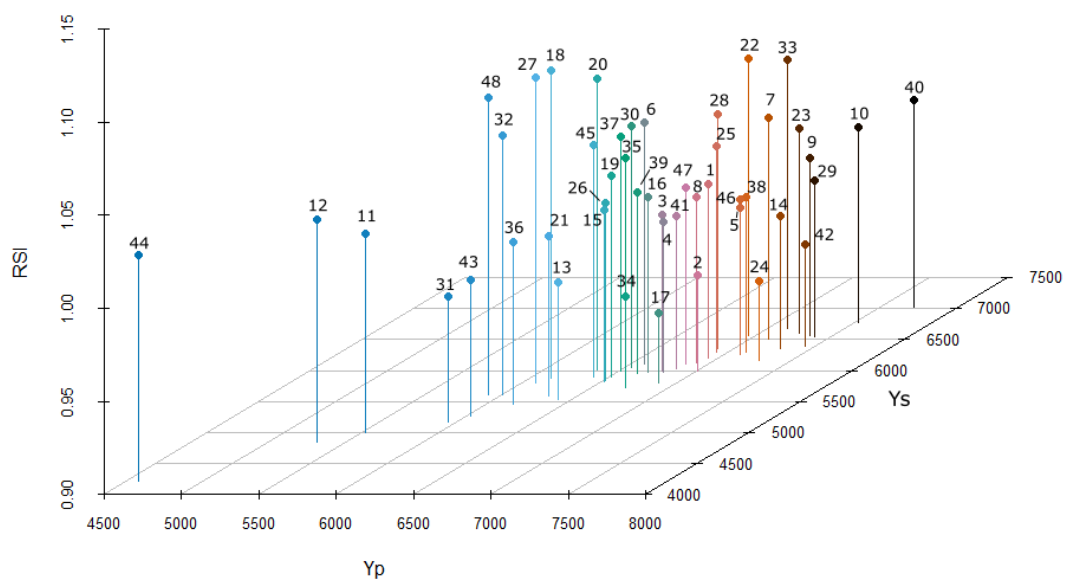
(d) YI



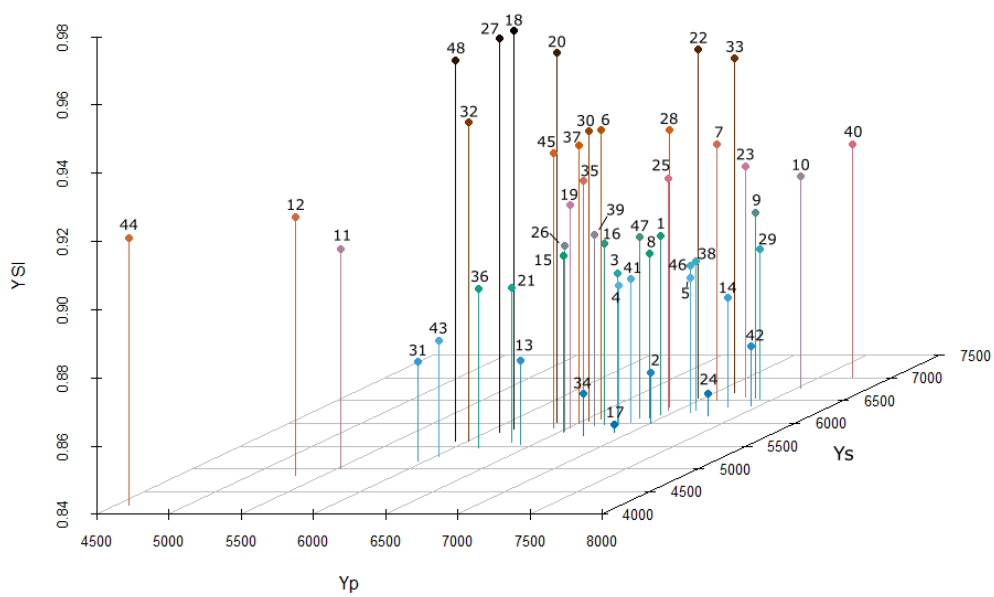
(e) SSI



(f) TOL

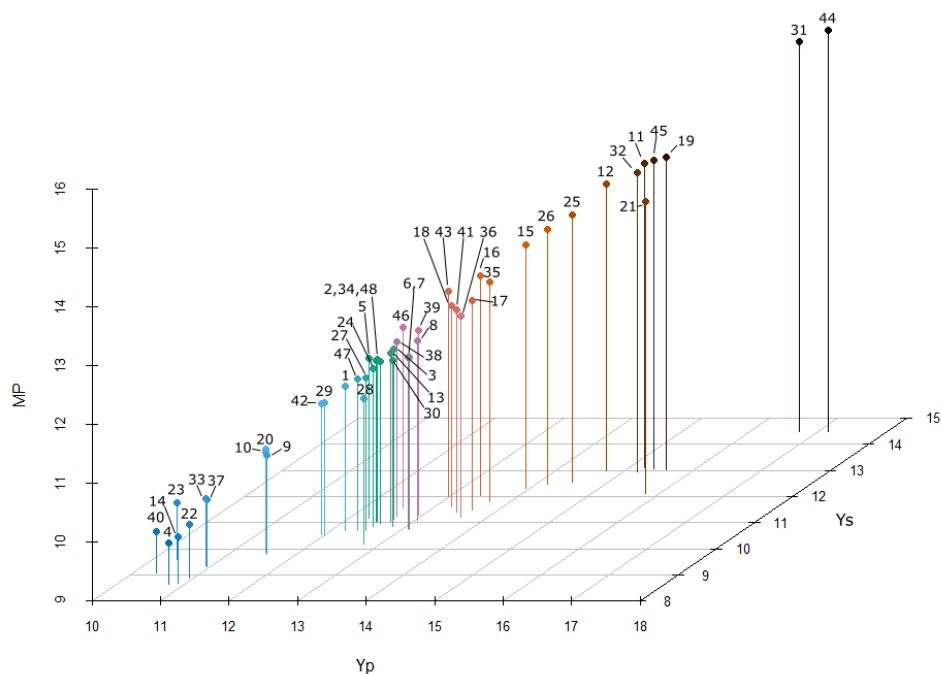


(g) RSI

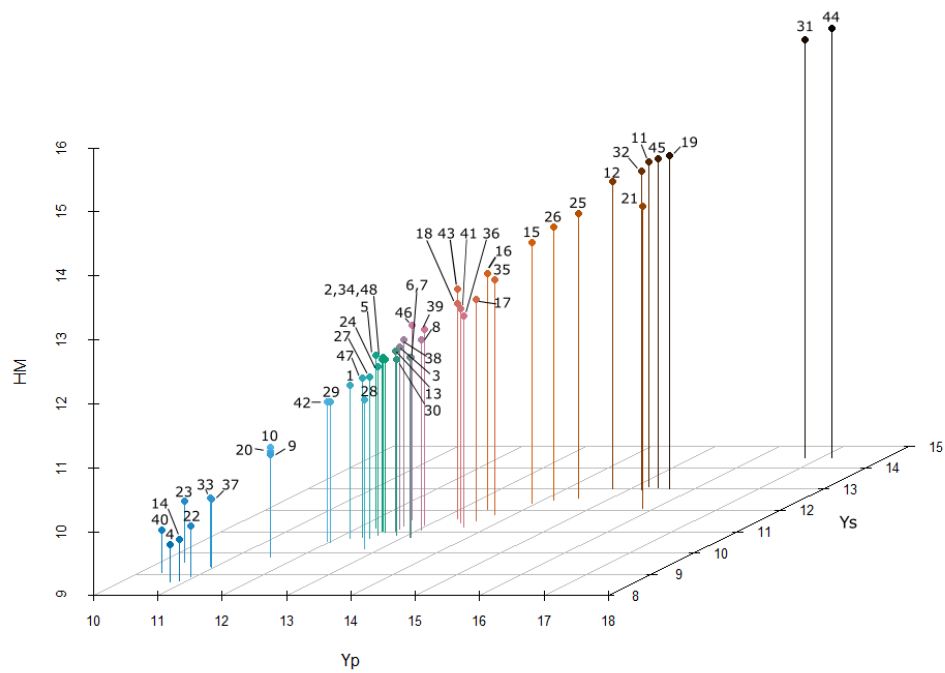


(h) YSI

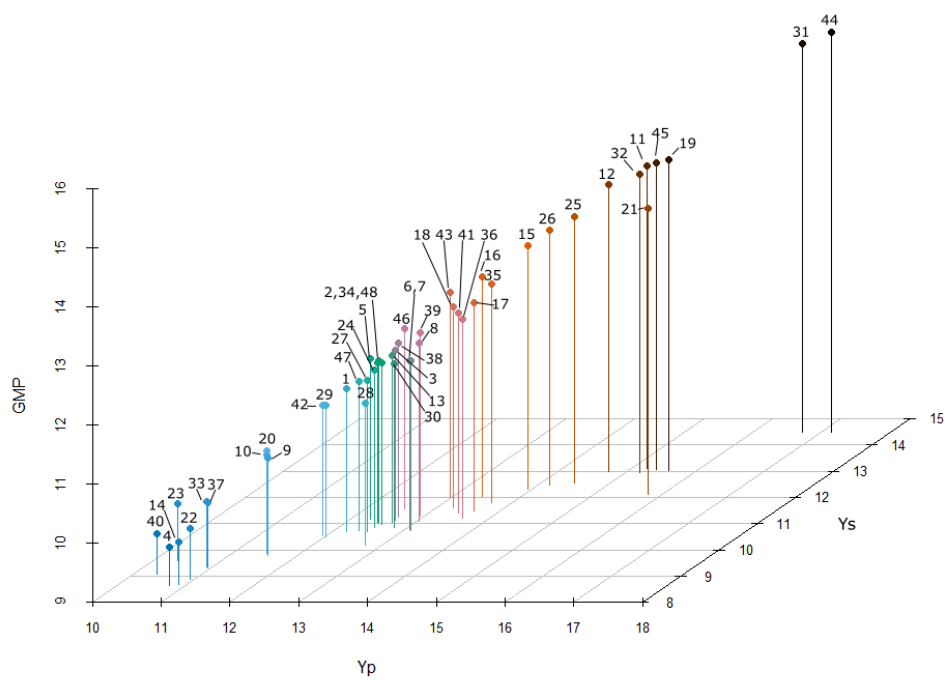
Prilog: Dodatna slika 2. 3D dijagrami za indekse stresa **(a)** MP, **(b)** HM, **(c)** GMP, **(d)** YI, **(e)** TOL, **(f)** SSI, **(g)** YSI, **(h)** RDI i sadržaja proteina u zrnju pod HN (Yp) i LN (Ys) tretmanima kod 48 genotipova ozime pšenice.



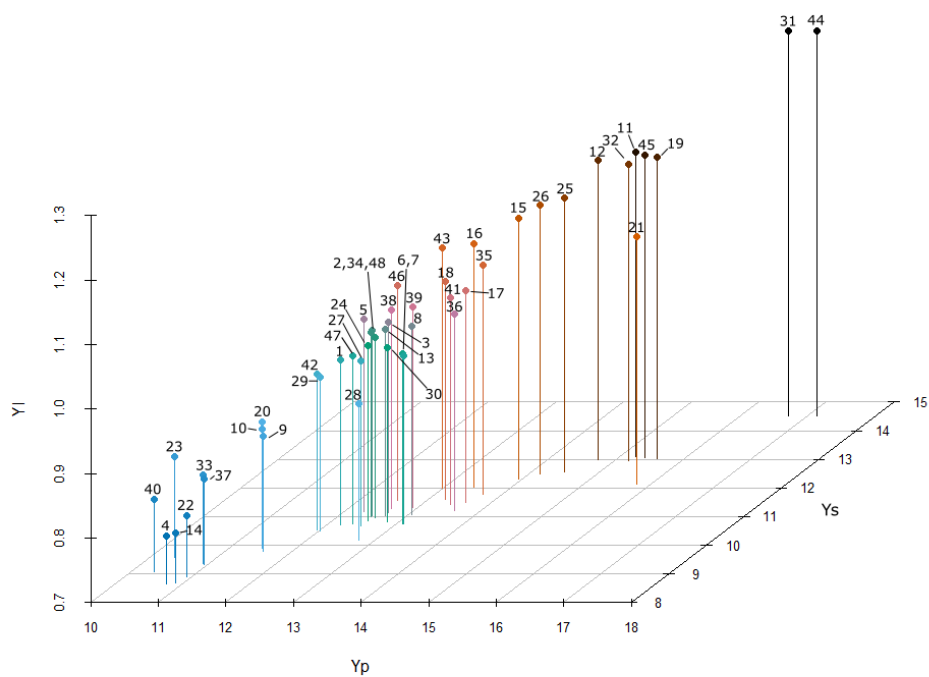
(a) MP



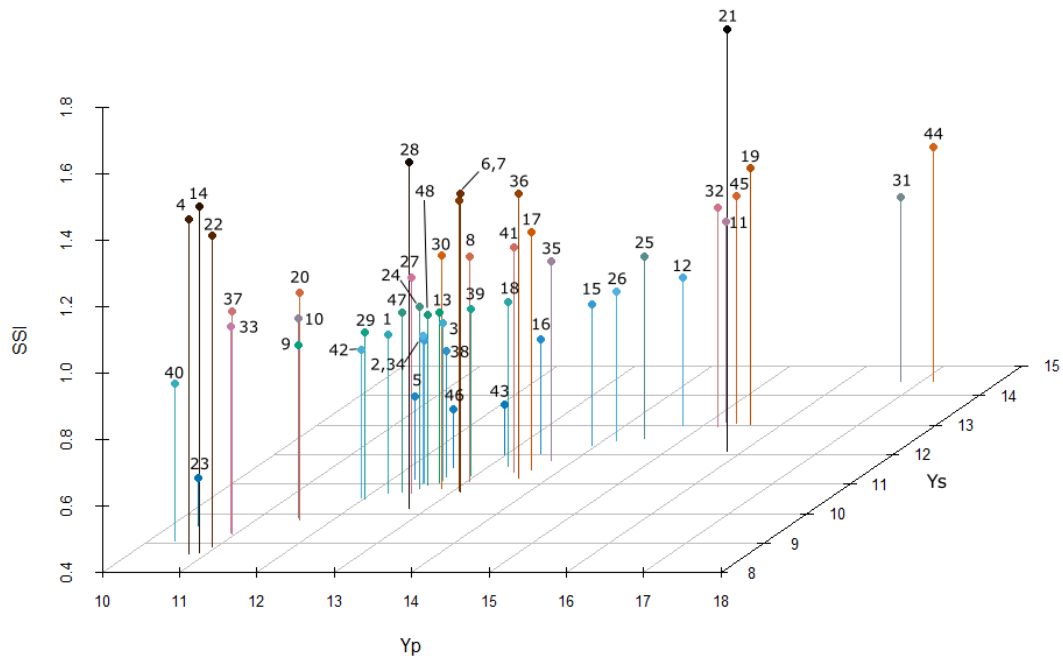
(b) HM



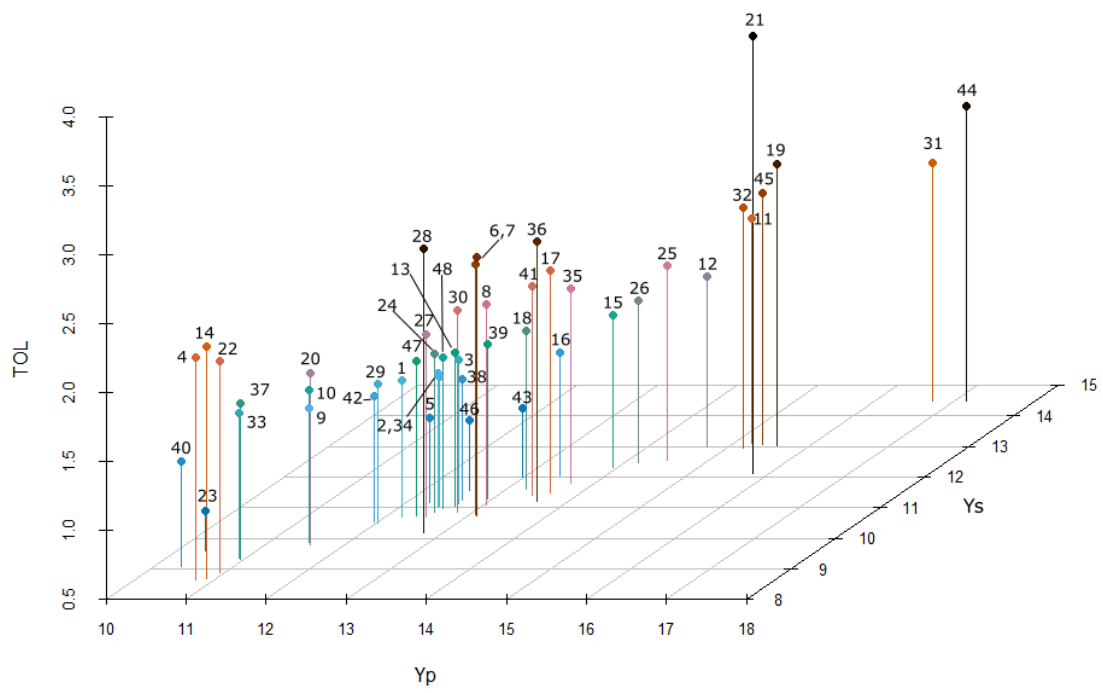
(c) GMP



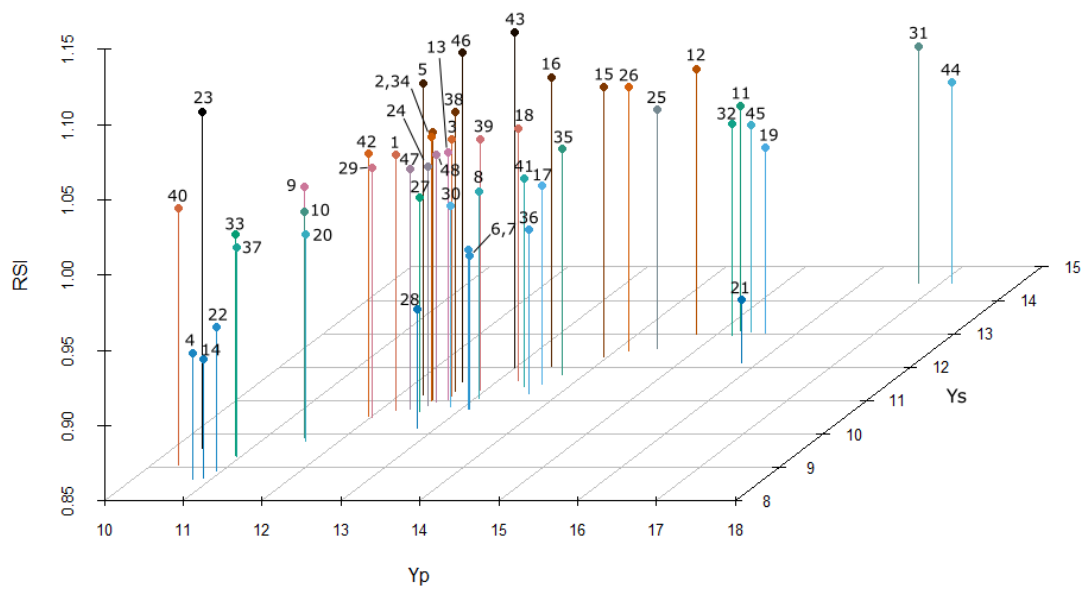
(d) YI



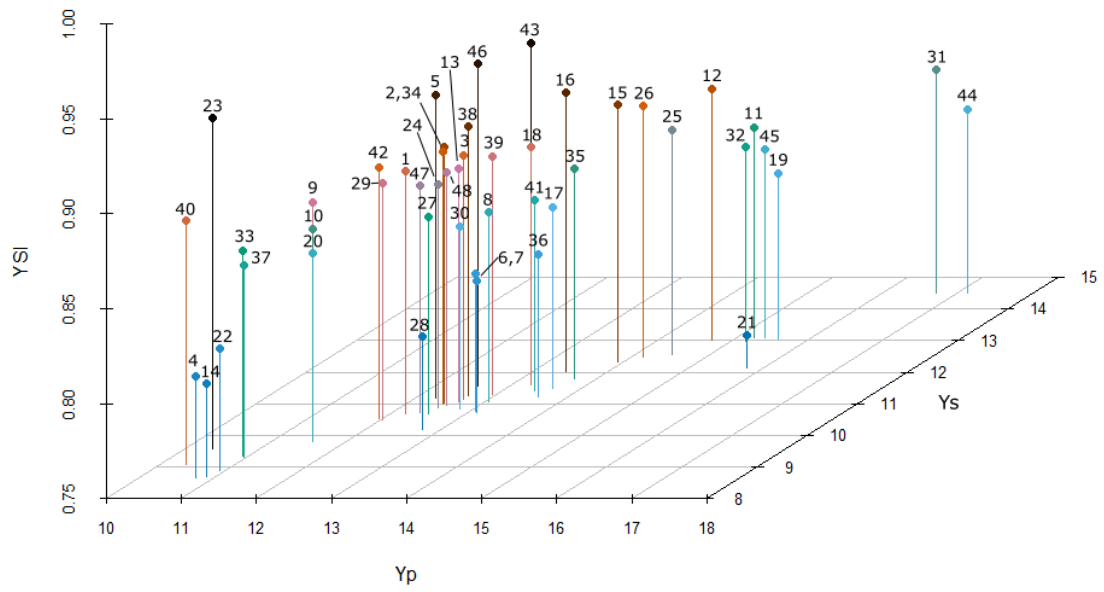
(e) SSI



(f) TOL



(g) RSI



(h) YSI

10. ŽIVOTOPIS

Marko Ivić rođen je 28.6.1991. godine u Virovitici. Osnovnu i srednju školu (smjer opća gimnazija) završio je u Slatini. Preddiplomski studij sveučilišni studij Kemija na Odjelu za kemiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku završio je 2013. godine i stekao akademski naziv sveučilišni prvostupnik kemije, a 2016. godine završava diplomski studij nastavnički smjer, također na Odjelu za kemiju pri čemu je stekao akademsku titulu magistra edukacije kemije. Tijekom studija sudjelovao je na Festivalima znanosti sa usmenim predavanjima, a dobio je dvije proćelnikove nagrade za najboljeg studenta (2013., 2014.).

Nakon krećeg rada kao nastavnik kemije u srednjoj školi, 1.10.2017. godine se zapošljava na Poljoprivrednom Institutu Osijek na Odjelu za genetiku i oplemenjivanje strnih žitarica kao asistent, a u prosincu iste godine upisuje poslijediplomski sveučilišni doktorski studij Poljoprivredne znanosti, smjer Agrokemija na Fakultetu agrobiotehničkih znanosti. Bio je suradnik na projektu HRZZ-a pod nazivom Genetsko poboljšanje i optimizacija potencijala rodnosti pšenice voditelja dr.sc. Darija Novoselovića. U razdoblju od lipnja 2024. do prosinca 2025. godine bio je suradnik na IPA-Interreg projektu New Emerging Technologies 4 Digital Innovative Agricultural Research – NET4DINAR voditelja dr.sc. Darija Novoselovića. Tijekom 2018. godine boravi dva mjeseca na stručnom usavršavanju u NIAB-u, Cambridge, Velika Britanija, a u prosincu 2024. godine se stručno obučava za korištenje alata za brzu fenotipizaciju (UAV i Literal) u Hiphenu, Avignon, Francuska.

Tijekom rada na Poljoprivrednom institutu Osijek kao autor i koautor sudjelovao je u izradi 4 znanstvena rada Q1 kategorije, jednog priručnika i 13 sažetaka sa domaćih i međunarodnih konferencija. Koautor je „Barbe“ sorte ozime pšenice priznate 2020. godine od Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske.

Oženjen i otac djevojčice.