



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

Bojan Marković

**POTENCIJAL PROIZVODNJE ETANOLA  
NENAMJENSKIH HIBRIDA KUKURUZA  
UZGOJENIH U RAZLIČITIM GUSTOĆAMA  
SKLOPA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 202\_.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Bojan Marković

**ETHANOL PRODUCTION POTENTIAL OF  
NON-DECLARED MAIZE HYBRIDS  
GROWN AT DIFFERENT PLANT  
DENSITIES**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 202\_.



Sveučilište u Zagrebu

AGRONOMSKI FAKULTET

BOJAN MARKOVIĆ

**POTENCIJAL PROIZVODNJE ETANOLA  
NENAMJENSKIH HIBRIDA KUKURUZA  
UZGOJENIH U RAZLIČITIM GUSTOĆAMA  
SKLOPA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof.dr.sc. Željko Jukić

Zagreb, 202\_.



University of Zagreb

FACULTY OF AGRICULTURE

Bojan Marković

**ETHANOL PRODUCTION POTENTIAL OF  
NON-DECLARED MAIZE HYBRIDS  
GROWN AT DIFFERENT PLANT  
DENSITIES**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Professor Željko Jukić

Zagreb, 202\_.

## Bibliografska stranica

Bibliografski podaci:

- Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
- Znanstveno polje: Poljoprivreda (agronomija)
- Znanstvena grana: Bilinogojstvo
- Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
- Voditelji doktorskog rada: Prof.dr.sc. Željko Jukić
- Broj stranica: 113
- Broj slika: 20
- Broj tablica: 17
- Broj grafikona: 21
- Broj literaturnih referenci: 184
- Datum obrane doktorskog rada: \_\_\_\_\_ 202\_\_.
- Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:

1. prof. dr. sc. Jerko Gunjača

2. prof. dr. sc. Neven Voća

3. izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550,  
10 000 Zagreb,

Knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog Fakulteta, Svetošimunska cesta 25, 10 000  
Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Agronomskog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, održanoj 07. svibnja 2019. godine, te odobrena na sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 09. srpnja 2019. godine.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**IZJAVA O IZVORNOSTI**

Ja, **Bojan Marković**, izjavljujem da sam samostalno izradio doktorski rad pod naslovom:

**POTENCIJAL PROIZVODNJE ETANOLA NENAMJENSKIH HIBRIDA KUKURUZA  
UZGOJENIH U RAZLIČITIM GUSTOĆAMA SKLOPA**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovog dokorskog rada;
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

Zagreb, \_\_\_\_\_ 202 . godine

---

Potpis doktoranda

## Ocjena doktorskog rada

Doktorski rad je obranjen na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, \_\_\_\_\_202\_\_\_\_.  
pred povjerenstvom u sastavu:

prof. dr. sc. Jerko Gunjača

---

prof. dr. sc. Neven Voća

---

izv. prof. dr. sc. Brigita Popović

---

## Informacije o mentoru

Dr.sc. Željko Jukić rođen je 24. srpnja 1969. u Slavonskom Brodu, gdje je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu 1996. godine. Od 1996. godine djelatnik je Agronomskog fakulteta, prvo u svojstvu znanstvenog novaka, a nakon toga u svojstvu mlađeg asistenta na predmetu "Uskladištenje i dorada ratarskih proizvoda". Magistrirao je 7. prosinca 2000. godine na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. Naslov magistarskog rada bio je "Oštećenje soje (Glycine max. (L. Merrill)) u procesu dorade i skladištenja sjemena". Doktorirao je 21. prosinca 2004. godine na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. Naslov doktorske disertacije bio je "Otpuštanje vode iz zrna kukuruza u polju i sušionici u procesu konvekcijskog sušenja".

Bio je učesnik svih važnijih agronomskih savjetovanja i kongresa u Republici Hrvatskoj, a od međunarodnih kongresa važno je istaći sudjelovanje na kongresu: "Postharvest 2000" koji je održan u Jeruzalemu od 26. do 31. ožujka 2000. godine. Bio je tajnik Prvog međunarodnog i 18. hrvatskog kongresa tehnologa za posliježetvenu tehnologiju "ZRNKO", koji je održan u Stubičkim Toplicama, 17. i 18. studenog 2004. godine. Sudjelovao je u radu Prvoga kongresa hrvatskih znanstvenika iz Domovine i inozemstva koji je održan u Zagrebu i Vukovaru od 15. do 19. studenoga 2004. godine.

Bio je potpredsjednik u uredu B.EN.A., Balkan Environmental Association za Republiku Hrvatsku, član Predsjedništva Udruge diplomiranih inženjera i prijatelja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (AMCA-FAZ) i član pregovaračke skupine RH za pregovore s Europskom Unijom (podskupina za neprehrambene usjeve, prerađene žitarice, krumpirov škrob, supstitute žitarica, rižu i sušenu krmu).

Trenutno Željko Jukić sudjeluje u radu sljedećih povjerenstava i odbora:

- Član je strukovnog odbora za mlinarstvo pri Žitozajednici d.d.,
- Član je Odbor za poljoprivredu i šumarstvo Županijske skupštine Koprivničko-križevačke Županije,
- Član je Povjerenstva za provedbu postupka zaštite naziva oznakom izvornosti, oznakom zemljopisnog podrijetla i zajamčeno tradicionalnim specijalitetom poljoprivrednih i prehrambenih proizvoda pri Ministarstvu poljoprivrede Republike Hrvatske.

Bio je mentor 21 diplomskog i završnog rada, a još je bio i član povjerenstva za obranu 42 završna i diplomatska rada. Bio je voditelj jednog znanstvenog projekta financiranog od strane MZOŠ RH, a kao suradnik sudjelovao je u provođenju pet nacionalnih znanstvenih i jednom međunarodnom znanstvenom projektu. Željko Jukić, bio je član Fakultetskog vijeća Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta u razdoblju od 2009. do 2012. godine. Ponovo je izabran za člana Fakultetskog vijeća od 2018. godine. Član je također i Odbora za nastavu i studijske programe pri Agronomskom fakultetu.

Za potrebe daljnjeg znanstvenog i stručnog usavršavanja boravio je u Češkoj, Slovačkoj, Austriji, Njemačkoj i SAD. Do sada je u koautorstvu objavio 60 znanstvenih radova u domaćim i stranim, znanstvenim i stručnim časopisima i sudjelovao u izradi studija razvitka za nekoliko županija. Održao je 15 javnih predavanja u kojima je prezentirao inovacije i dostignuća u poljoprivrednoj proizvodnji za poljoprivredne proizvođače te za ostale zainteresirane subjekte u lancu proizvodnje i prerade poljoprivrednih proizvoda. Trenutno radi na Zavodu za specijalnu proizvodnju bilja, Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta.



## Zahvala

## SAŽETAK

Kukuruz se globalno najviše koristi kao stočna hrana, ali je važan i kao prehrambeni usjev. Osim toga, kukuruz se sve više koristi za proizvodnju etilnog alkohola koji se nakon miješanja s benzinskim gorivima koristi kao pogonsko gorivo, te pri tome pridonosi zadovoljavanju kriterija smanjivanje emisije ugljičnog dioksida u atmosferu. U svijetu vodeću ulogu u proizvodnji i primjeni etanola kao pogonskog goriva imaju SAD i Brazil. Najveći proizvodni kapaciteti u Europskoj uniji nalaze se u Francuskoj, Njemačkoj i Mađarskoj. Ovakva djelatnost, stvaranjem dodatne vrijednosti doprinijela bi gospodarskom i industrijskom razvoju Republike Hrvatske. Iako se u prošlosti dosta govorilo o pokretanju „greenfield“ investicije, izgradnje postrojenja za preradu kukuruza u etanol u Republici Hrvatskoj do toga još nije došlo. Kada se govori o proizvodnji sjemena hibrida kukuruza može se utvrditi da kod nas postoji jaka oplemenjivačka djelatnost, međutim, do sada u Hrvatskoj nije postojao ciljani oplemenjivački program selekcije kukuruza za namjensku proizvodnju etanola.

Cilj istraživanja bio je utvrditi razliku u proizvodnji zrna i etanola iz kukuruza između domaćih, nenamjenskih hibrida kukuruza koji se uobičajeno koriste za proizvodnju zrna i uvezenih HTF (High Total Fermentable) hibrida namjenjenih za proizvodnju etanola.

Poljski pokus je postavljen na 3 lokacije (Kneževo, Osijek, i Šašince) dvije godine uzastopno (2012, 2013) u tri gustoće sklopa (60.000, 70.000 i 80.000 biljaka/ha). Hibridi tvrtke Pioneer, deklarirani kao „HTF“ hibridi za proizvodnju etanola iz zrna kukuruza korišteni su kao kontrola za procjenu produktivnosti etanola iz domaćih hibrida Poljoprivrednog instituta Osijek i Bc Instituta d.d. Laboratorijska proizvodnja etanola utvrđena je Lemuz metodom.

Zbog kompleksnog dizajna pokusa i načina na koji su prikupljeni podaci statistička analiza je provedena prema različitim modelima za različita svojstva. Za prinos zrna analiza je provedena u dvije faze. U prvoj fazi analizirani su objedinjeni podaci iz svih pokusa prema kompleksnom hijerarhijskom modelu koji je odgovarao dizajnu pokusa, a koji je uključivao efekte godina, lokacija, gustoće sklopa, hibrida, sve njihove interakcije, te tri različite pogreške. Za sve ostale varijable (sadržaj škroba, hektolitarska masa, omjer amiloze i amilopektina, te sadržaj etanola) podaci su prikupljeni na temelju jednog uzorka za svaku kombinaciju gustoće sklopa i hibrida u svakom pokusu, pa je model prema kojem su podaci analizirani uključivao efekte godina, lokacija, gustoća sklopa i hibrida, te sve njihove interakcije, osim četverostruke interakcije (godina x lokacija x gustoća sklopa x hibrid) koja se nije mogla razdvojiti od pogreške.

Promatrajući dobivene rezultate analiziranih svojstava u 2013. godini ostvaren je viši prosječni prinos zrna po jedinici površine u iznosu od 731,4 kg, te je prosječni sadržaj škroba bio veći za 0,4 % čemu su doprinjeli bolji vremenski uvjeti u navedenoj sezoni. Preostala svojstva u 2013. godini bilježe manje rezultate u odnosu na 2012. godinu i to: hektolitarska masa zrna za 0,9 kg, omjer amiloze i amilopektina za 0,009, a prinos etanola za 6,63 l/t.

Hibridi koji su namijenjeni za proizvodnju etanola ostvarili su veći prinos zrna i veći prinos etanola. Najveći prinos zrna ostvario je HTF hibrid (PR37Y12). Međutim neznatno manji prinos ostvario je hibrid Os 378 iz domaće selekcije. Najveći pojedinačni prinos etanola po toni zrna ostvario je hibrid Bc 532, nenamjenski hibrid domaće selekcije, a neznatno manje etanola po toni zrna dao je HTF hibrid PR35F38. HTF hibridi zbog većeg prinosa zrna po hektaru i zbog boljeg prinosa etanola iz jedne tone zrna ostvaruju ukupno veće prinose etanola po jedinici površine. Svi hibridi nisu ostvarili najveće prinose zrna i etanola u gušćem sklopu, kako je bilo za očekivati. Iz ovog istraživanja nameće se zaključak da se na lokacijama na kojima su provedena istraživanja i u klimatskim uvjetima koji su vladali tijekom 2012. i 2013. godine gustoća sjetve od 70.000 biljaka/ha pokazala kao najbolja u proizvodnji etanola po jedinici površine.

**Ključne riječi:** prinos, hibrid, gustoća sklopa, lokacija, vegetacijska sezona, proizvodnja etanola

## Ethanol production potential of non-declared maize hybrids grown at different plant densities

### ABSTRACT

**Introduction:** Meeting the criteria for reducing the emission of carbon dioxide into the atmosphere is an important factor in reducing the impact of climate change on today's life. Given that the Republic of Croatia annually generates a certain surplus in the production of corn grains, that could potentially be used in ethanol processing. The goal of the research was to determine the difference in the production of grain and ethanol from corn between domestic, non-purpose corn hybrids that are commonly used for grain production and imported HTF (High Total Fermentable) hybrids intended for ethanol production. Corn is globally used primarily as animal feed, but it is also important as a food crop. In addition, corn is increasingly used for the production of ethyl alcohol, which, after mixing with gasoline, is used as a motor fuel. Production technologies vary and can generally be divided into three stages: pre-treatment, fermentation and ethanol extraction. In the world, the leading role in the production and use of ethanol as a fuel is played by the USA and Brazil. The largest production capacities in the European Union are located in France, Germany and Hungary. By creating additional value, this kind of activity would contribute to the economic and industrial development of the Republic of Croatia. Although in the past there was a lot of talk about starting a "greenfield" investment, the construction of a plant for processing corn into ethanol in the Republic of Croatia has not yet happened. When talking about the production of corn hybrid seeds, it can be established that there is a strong breeding activity in Croatia, however, until now, there has been no targeted breeding program for the selection of corn for the purposeful production of ethanol.

**Materials and methods:** A total of six maize hybrids that belong to the FAO groups 300 and 500 were sown. These hybrids are: Bc 344 and Bc 532 from the breeding program of Bc Institut za oplemenjivanje i selekciju bilja d.d., Os 378 and Osk 515 from the breeding program of Poljoprivredni Institut Osijek and PR37Y12 and PR35F38 belonging to Corteva Agriscience Croatia d.o.o. (before Pioneer Sjeme d.o.o.). Hybrids from the breeding program of the Bc Institute and the Agricultural Institute from Osijek were chosen as high-yielding hybrids in their crop groups, and hybrids from Corteva Agriscience Croatia d.o.o. as declared "HTF" hybrids for purposeful corn production for ethanol production. All hybrids were created without the use of biotechnology and are classified as high-yielding corn hybrids. Field experiments were conducted during two growing seasons and at three locations. The selected locations where the research was conducted (Kneževo, Osijek and Šašince) differ from each other in pedological and climatic properties. At the Kneževo location, the soil type is carbonate chernozem on loess and represents the best quality soil in the Republic of Croatia. In both growing seasons, the pre-crop to corn was sugar beet. The field experiments at the Osijek location were planted on a semi-gley soil leached on a banner, and the pre-culture in both vegetations was wheat. The type of soil at the Šašince location where the field experiments were set up is classified as a fluvisol and is characterized by a powdery clay loamy texture. The pre-crop in both years was spring barley. In the experiments, selected corn hybrids were grown in both years under conditions of intensive production, which included deep plowing, application of a higher level of fertilization, application of herbicides before and after emergence, and inter-row cultivation. An identical two-factorial experiment was set up in four replicates at all locations. The main factor in the experiment is the plant density, and the sub-factor is the hybrid. Field experiments were sown at each location separately, and all members of the experiment at a particular location were sown on the same day (same date). The target plant densities were: 60.000, 70.000 and 80.000 plants/ha. Sowing for each plot was done with 20% more seeds, and then after emergence, in phase 3 developed leaves, manual thinning was done to the given plot. Sowing was done with a four-row Wintersteiger "TC 2700" pneumatic seed planter, and experimental harvesting was done in the physiological ripening stage using a

two-row Wintersteiger "Nurserymaster Elite" combine, which is specialized for microexperiments.

In the Seed Testing Laboratory of the Croatian Centre for Agriculture, Food and Rural Affairs - Institute for Seed and Seedlings (today the Croatian Agency for Agriculture and Food - Centre for Seed and Seedlings), sample preparation was carried out, which included drying in the "NI00CF" drying oven (ELE International, Leighton Buzzard, UK) at 130 °C to constant weight and grinding on a "Cemotec 1090" hammer mill (Foss A/s, Hillerød, Denmark), with sieves of 3 mm diameter. The ground samples, whose average weight was 25 g, were used in the Laboratory for Soil, Plant and Fertilizer Analysis, Faculty of Agrobiotechnical Sciences, Osijek, to determine the ethanol yield. The ground samples were homogenized, and 25 g of the sample was placed in a 125 mL Erlenmeyer flask. 75 ml of distilled water was added to the flasks. The pH of the suspension was adjusted to 6,0-6,5 with a dilute NaOH solution. An aliquot of  $\alpha$ -amylase (Termamyl, SC DS, Novozymes, Denmark), 27  $\mu$ l/flask (108  $\mu$ l/100 g maize) was added to the suspension with a digital pipette. Flasks with corn suspension and  $\alpha$ -amylase were placed in a water bath at 90 °C and kept for 60 min after reaching the desired temperature. To avoid coagulation of the suspension, the flasks were shaken strongly during the first 5 minutes and then every 20 minutes. After 60 min, the flasks were taken out and cooled to 40 °C, and by adding 325  $\mu$ l of concentrated HCl solution (20 % v/v), the pH of the suspension was adjusted to 4,5-5,0. 4,2 mL of yeast solution (Fleischmann's, Fenton, MO, USA), 400  $\mu$ L of 12 %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , and 20  $\mu$ L of glucoamylase (Attenuzyme Core, Novozymes, Denmark) were then added to each flask. The flasks were closed with rubber stoppers into which needles (18 ga x 38,1 mm) were inserted. The initial weight of the flask with corn mash, enzymes and yeast was weighed. The flasks were placed in a bath at 150 rpm and 32 °C for 64 hours (Figure 18). After fermentation, the final weight of the flask with corn mash, enzymes and yeast was weighed. A blank (no corn, enzyme, or yeast) was used to check for potential evaporation errors. Evaporation from the blank during fermentation was negligible. Ethanol yield was determined by the gravimetric method (Lemuz et al. 2009) as the difference in weight after fermentation (separated  $\text{CO}_2$ ). In working samples on the whole grain, the following were determined: starch content, protein content, oil content, water content and hectoliter mass. The mentioned parameters were determined using the NIR device Infratec Grain Analyzer 1241 (FOSS, Denmark). Also, in the same grain samples, the amylose content was determined using the method developed by the company Megazyme (Wicklow, Ireland). The content of amylopectin was determined mathematically on the basis of the obtained values for amylose.

Due to the complex design of the experiments and the way in which the data were collected, the statistical analysis was performed according to different models for different characteristics. The statistical analysis was carried out in the R environment, where in addition to the basic application, specialized packages were also used: „lme4“, „lmerTest“, „multcomp“ i „emmeans“.

**Results and conclusions:** In 2013, a higher average grain yield per unit area was achieved in the amount of 731 kg, and the average starch content was higher by 0,4 %, which was affected by better weather conditions in the mentioned season. The remaining properties in 2013 recorded lower results compared to 2012: hectoliter grain weight by 0,9 kg, ratio of amylose and amylopectin by 0,009, and ethanol yield by 6,63 l/t. For the most complex interaction: year x location x assemblage x hybrid, a significant ( $P=0,001$ ) difference in grain yield was determined. In the conducted research, grain yield changed from year to year and from location to location. The differences in the yield between the examined years were mostly affected by the yield at the Kneževo and Osijek locations, where the yields were around 2.004 kg and 1.226 kg lower than the average of all locations for 2012. In 2013, weather conditions were more favorable for corn production, as it is evident from the yield data that the average grain yield at the Kneževo location in 2013 was higher for 3.564 kg. It is interesting to note that the higher yield at the Šašincev location was determined in 2012, not in 2013. Although the weather was generally more favorable in 2013, there are two facts that must be taken into account, namely that the amount of precipitation is always

higher in the western part of continental Croatia and that in both years the decrease in the amount of precipitation was less in Šašinovac in compared to Kneževo and Osijek. Analysis of variance revealed a statistically significant ( $P=0,05$ ) difference in the interaction of years, locations and hybrids, and a statistically significant ( $P=0,01$ ) difference in the interaction of years and systems in ethanol yield. The average yield of ethanol in 2012 was 130 l/t grain. In 2013, although it was more favorable for growing corn, the ethanol yield was lower on average, which was 124 l/t of grain. This is a bit unusual considering that in 2013 higher grain yields were found, and during the growing season no significant stress conditions were found that would affect ethanol production. In other words, this means that there are some other factors that affect the possibility of converting starch into ethanol. On average, the highest amount of ethanol was obtained per ton of grain at the Kneževo location (129 l/t of grain), and the lowest at the Osijek location (123 l/t of grain). At the Šašinovec location, an average of 128 l/t of grain was obtained. Among the hybrids, on average, the highest amount of liters of ethanol per ton of grain was obtained with the hybrid Bc 532 (131 l/t of grain). Only slightly less ethanol per ton of grain was found in hybrid PR35F38 (130 l/t). The analysis of variance revealed a statistically significant ( $P=0,001$ ) difference in the interaction of year and hybrid, and between hybrids and years in the starch content of grain. A statistically significant ( $P=0,01$ ) difference was found in the interaction of years and locations. The effect of plant density is also statistically significant ( $P=0,01$ ) but is not included in any significant interaction. According to the data obtained from this research, the starch content was higher on average in 2013 and was 71,44% compared to 2012 when it was 70,99%. In 2013, the climatic conditions were more favorable, which was reflected in a slightly higher starch content in corn kernels. On average, the most starch was determined at the Šašinovec location and was 71,30 %, which was slightly higher than the starch content determined at the Osijek location (71,24 %) and at the Kneževo location (71,10 %). On average, the highest starch content was found in the PR35F38 hybrid and was 71,74 %. Another four hybrids had an average starch content of more than 71%. Analysis of variance revealed a statistically significant ( $P=0,001$ ) difference in the interaction of year, location, and hybrid in relation to hectoliter grain weight. The average hectoliter mass was higher in 2012 and amounted to 74,56 kg/hl compared to 2013, when the value for the hectoliter mass was 73,56 kg/hl. The highest average hectoliter weight was determined at the Šašinovec location and was 74,68 kg/hl. On the other hand, the smallest hectoliter mass was determined at the Osijek location and was 73,54 kg/hl. In the case of hybrids, on average, the highest hectoliter mass was found in the hybrid PR35F38 (76,56 kg/hl), and the lowest in the hybrid Osk 515 (72,38 kg/hl). Analysis of variance revealed a statistically significant ( $P=0,05$ ) difference in the interaction of year and location in the ratio of amylose and amylopectin. In 2012, a slightly higher ratio of amylose and amylopectin was determined and was 0,271, compared to 0,262, which was the same in 2013. In hybrids, the lowest average ratio between amylose and amylopectin was 0,256 in the PR37Y12 hybrid, and the highest in the amount of 0,272 in the Bc 532 hybrid. At the other two locations, it was smaller, 0,264 at the Osijek location and at the Šašinovec location. Hybrids intended for ethanol production achieved higher grain yield and higher ethanol yield. The highest grain yield was achieved by the HTF hybrid (PR37Y12). However, a slightly lower yield was achieved by the hybrid Os 378 from domestic selection. The highest individual yield of ethanol per ton of grain was achieved by the hybrid Bc 532, a non-purpose hybrid of domestic selection, and slightly less ethanol per ton of grain was produced by the HTF hybrid PR35F38. HTF hybrids, due to higher grain yield per hectare and better ethanol yield from one ton of grain, achieve overall higher ethanol yields per unit area. All hybrids did not achieve the highest yields of grain and ethanol in a denser structure of plant/ha, as it was expected. The conclusion of this research is that in the locations where the research was conducted and in the climatic conditions that prevailed during 2012 and 2013, the sowing density of 70.000 plants/ha proved to be the best in ethanol production per unit area.

**Key words:** yield, hybrid, plant density, location, growing season, ethanol production

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja .....	3
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....	4
2.1. Obnovljivi izvori energije – etanol .....	4
2.2. Kukuruz – ulazna sirovina za proizvodnju etanola.....	6
2.3. Tehnološki postupci proizvodnje etanola i nusproizvodi .....	9
2.4. Čimbenici koji utječu na prinos etanola iz zrna kukuruza .....	14
2.4.1. Izbor hibrida .....	14
2.4.2. Prinos zrna .....	16
2.4.2.1. Gustoća sklopa .....	18
2.4.2.2. Hektolitarska masa zrna .....	20
2.4.3. Sadržaj škroba .....	22
2.4.3.1. Građa zrna kukuruza .....	24
2.4.3.2. Građa škroba .....	25
2.4.4. Omjer amiloze i amilopektina .....	27
2.4.5. Sadržaj proteina .....	28
2.4.6. Utjecaj klimatskih čimbenika .....	29
3. MATERIJAL I METODE RADA .....	33
3.1. Poljska i laboratorijska istraživanja .....	33
3.1.1. Istraživani hibridi .....	33
3.1.2. Poljski pokusi .....	37
3.1.2.1. Kneževo .....	37
3.1.2.2. Osijek/Brijest .....	38
3.1.2.3. Šašinovec .....	38
3.1.3. Vremenske prilike .....	41
3.1.3.1. Kneževo .....	41
3.1.3.2. Osijek/Brijest .....	42
3.1.3.3. Šašinovec .....	43
3.1.4. Laboratorijske analize .....	45
3.1.4.1. Priprema uzoraka .....	45
3.1.4.2. Fermentacija i određivanje etanola .....	46

3.1.4.3. Određivanje kemijskog sastava zrna .....	47
3.2. Statistička analiza podataka .....	48
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	49
4.1. Prinos zrna kukuruza .....	50
4.1.1. Prinos zrna na lokaciji Kneževo u 2012. godini .....	51
4.1.2. Prinos zrna na lokaciji Kneževo u 2013. godini .....	56
4.1.3. Prinos zrna na lokaciji Osijek u 2012. godini .....	58
4.1.4. Prinos zrna na lokaciji Osijek u 2013. godini .....	62
4.1.5. Prinos zrna na lokaciji Šašinovec u 2012. godini .....	64
4.1.6. Prinos zrna na lokaciji Šašinovec u 2013. godini .....	67
4.2. Sadržaj škroba u zrnu kukuruza .....	69
4.2.1. Interakcija godina i hibrida .....	70
4.2.2. Interakcija godina i lokacija .....	72
4.2.3. Usporedba prosjeka sklopova .....	73
4.3. Hektolitarska masa zrna kukuruza .....	74
4.4. Omjer amiloze i amilopektina .....	77
4.5. Prinos etanola .....	79
4.5.1. Interakcija godina i hibrida .....	79
4.5.2. Interakcija godina i gustoće sjetve .....	81
4.5.3. Interakcija godina i lokacija .....	82
5. RASPRAVA .....	83
5.1. Prinos zrna kukuruza .....	83
5.2. Sadržaj škroba u zrnu kukuruza .....	88
5.3. Hektolitarska masa zrna kukuruza .....	89
5.4. Omjer amiloze i amilopektina .....	90
5.5. Prinos etanola .....	91
6. ZAKLJUČCI .....	94
7. POPIS LITERATURE .....	96
8. Životopis .....	112

## Popis kratica

<b>CGF</b>	eng. Corn gluten feed
<b>CGM</b>	eng. Corn gluten meal
<b>DAP</b>	eng. days after pollination
<b>DDGS</b>	eng.: Distiller's dried grains with solubles / suhi trop s otopinom
<b>ePURE</b>	European renewable ethanol association
<b>EU</b>	Europska unija
<b>FAO</b>	Organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (eng. <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> )
<b>GMO</b>	Genetski modificirani organizam
<b>HTF</b>	eng. High Total Fermentable
<b>MLCan</b>	eng. multilayer canopy-root-soil model
<b>NIR</b>	eng. Near-Infrared
<b>OIE</b>	obnovljivi izvori energije
<b>PCA</b>	eng. principal component analysis
<b>pH</b>	broj koji služi kao mjera kiselosti (aciditeta), odnosno lužnatosti (alkaliteta) vodenih otopina
<b>RFA</b>	Renewable Fuels Association
<b>RH</b>	Republika Hrvatska
<b>ROS</b>	eng. reactive oxygen species
<b>SAD</b>	Sjedinjene Američke Države
<b>QTL</b>	eng. Quantitative Trait Locus
<b>TW</b>	eng. test weight



## **Popis tablica**

**Tablica 1.** Osnovne značajke ispitivanih hibrida

**Tablica 2.** Prosječne vrijednosti analiziranih čimbenika ostvarenih u 2012. i 2013. godini

**Tablica 3.** Analiza varijance za objedinjene podatke o prinosu (kg/ha) iz svih pokusa

**Tablica 4.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2012. godini

**Tablica 5.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2013. godini

**Tablica 6.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Osijek u 2012. godini

**Tablica 7.** Prinosi hibrida (kg/ha) u različitim sklopovima na lokaciji Osijek u 2012. godini

**Tablica 8.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Osijek u 2013. godini

**Tablica 9.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Šašinovec u 2012. godini

**Tablica 10.** Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Šašinovec u 2013. godini

**Tablica 11.** Analiza varijance sadržaja škroba u zrnu (%)

**Tablica 12.** Sadržaj škroba u zrnu u različitim gustoćama sjetve

**Tablica 13.** Analiza varijance hektolitarske mase zrna kukuruza

**Tablica 14.** Hektolitarska masa ispitivanih hibrida na svim lokacijama i u obje godine istraživanja

**Tablica 15.** Analiza varijance omjera amiloze i amilopektina

**Tablica 16.** Omjer amiloze i amilopektina kod ispitivanih hibrida na svim lokacijama i u obje godine istraživanja

**Tablica 17.** Analiza varijance za prinos etanola

## **Popis slika**

**Slika 1.** Faze tehnologije proizvodnje etanola

**Slika 2.** Shematski prikaz postupka suhe meljave s nusproizvodima

**Slika 3.** Shematski prikaz postupka vlažne meljave s nusproizvodima

**Slika 4.** Škrobna zrnca (II – svjetlosni mikroskop; III – elektronski mikroskop) različitih tipova zrna kukuruza (I – A, B, C, D)

**Slika 5.** Građa zrna kukuruza

**Slika 6.** Amilopektin i amiloza

**Slika 7.** Hibrid Bc 344

**Slika 8.** Bc 532

**Slika 9.** Hibrid Os 378

**Slika 10.** Hibrid Ossk 515

**Slika 11.** Hibrid PR37Y12

**Slika 12.** Hibrid PR35F38

**Slika 13.** Karta Hrvatske sa lokacijama na kojima su provedeni poljski pokusi

**Slika 14.** Sijačica Wintersteiger „TC 2700“ u sjetvi

**Slika 15.** Kombajn Wintersteiger „Nurserymaster Elite“ u berbi

**Slika 16.** Priprema uzoraka za sušenje

**Slika 17.** Mlin čekićar „Cemotec 1090“

**Slika 18.** Postupak fermentacije uzoraka

**Slika 19.** Interakcija S x H na lokaciji Kneževo u 2012. godini

**Slika 20.** Interakcija S x H na lokaciji Osijek u 2012. godini

## Popis grafikona

**Grafikon 1.** Proizvodnja etanola u 2021. godini

**Grafikon 2.** Prosječna godišnja proizvodnja kukuruza u razdoblju od 1994.-2022. godine

**Grafikon 3.** Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Kneževo, te višegodišnji prosjeci

**Grafikon 4.** Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Osijek, te višegodišnji prosjeci

**Grafikon 5.** Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Šašincev, u 2012. i 2013. godini, te višegodišnji prosjeci

**Grafikon 6.** Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 60.000 biljaka/ha u 2012. godini

**Grafikon 7.** Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 70.000 biljaka/ha u 2012. godini

**Grafikon 8.** Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 80.000 biljaka/ha u 2012. godini

**Grafikon 9.** Prosječni prinosi hibrida na lokaciji Osijek u 2012. godini

**Grafikon 10.** Prinosi hibrida (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2013. godini

**Grafikon 11.** Prosječni prinosi hibrida na lokaciji Osijek u 2012. godini

**Grafikon 12.** Prosječni prinosi ostvareni u različitim gustoćama sklopa na lokaciji Osijek u 2012. godini

**Grafikon 13.** Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Osijek u 2013. godini

**Grafikon 14.** Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Šašincev u 2012. godini

**Grafikon 15.** Prosječni prinosi ostvareni u različitim gustoćama sklopa na lokaciji Šašincev u 2012. godini

**Grafikon 16.** Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Šašincev u 2013. godini

**Grafikon 17.** Prosječni sadržaj škroba ispitivanih hibrida u 2012. i 2013. godini

**Grafikon 18.** Sadržaj škroba u zrnu ispitivanih hibrida na svim lokacijama u obje godine istraživanja

**Grafikon 19.** Prinos etanola ispitivanih hibrida u obje godine istraživanja

**Grafikon 20.** Prinos etanola u svim sklopovima u obje godine istraživanja

**Grafikon 21.** Prinos etanola ispitivanih hibrida na svim lokacijama u obje godine istraživanja

# 1. UVOD

U novije vrijeme, odnosno unazad dva desetljeća, kukuruz se sve više koristi za proizvodnju etanola koji se nakon miješanja s benzinskim gorivima koristi kao pogonsko gorivo. Etanol nastaje u procesu fermentacije šećera prisutnih u biomasi (npr. zrna kukuruza) u kojem sudjeluju mikroorganizmi, najčešće kvasci ili bakterije (Semenčenko, 2013). Za proizvodnju etanola iz zrna kukuruza postoje dvije osnovne tehnologije prerade kukuruza, a to su: proces suhog mljevenja (mlinarska prerada) i proces vlažnog mljevenja (proizvodnja škroba). Nusproizvodi iz vlažnog i suhog mljevenja kukuruza, također su postali važni izvori energije, proteina, probavljivih vlakana, minerala i vitamina u stočarskoj proizvodnji (Loy i Lundy, 2019).

Kvaliteta zrna kukuruza prvenstveno je povezana sa svojstvima endosperma zrna (Cheetham i sur., 2006.). Svojstva endosperma, iako su uglavnom određena genotipom, mogu se promijeniti zbog utjecaja vremenskih prilika tijekom vegetacije. No, i primijenjena agrotehnika kao i gnojidba dušikom mogu utjecati na svojstva endosperma (Sabata i Mason, 1992).

Etanol nastaje fermentacijom škroba, međutim koncentracija (sadržaj) škroba u zrnu nije dobar pokazatelj količine etanola koji se može proizvesti iz zrna kukuruza. Sadržaj i prinos škroba prvenstveno je genetsko svojstvo (Zehr i sur., 1995) ali ovisi i o primijenjenoj agrotehnici i okolišnim uvjetima u kojima se uzgaja (Freeman, 1973). Obzirom da se u ovom doktorskom radu proučavao utjecaj klimatskih prilika i primijenjene agrotehnike na prinos i kakvoću zrna, potrebno je navesti koji sve čimbenici i kako mogu utjecati u konačnici na sadržaj škroba i prinos etanola. Prije svega potrebno je navesti da su hibrid ili genotip, klimatske prilike tijekom vegetacije i primijenjena agrotehnika, najvažniji čimbenici. Međutim, u okviru primijenjene agrotehnike, gnojidba dušikom, gustoća sklopa i datum sjetve su čimbenici koje su razni autori pokušali povezati i još bolje objasniti povezanost prinosa zrna, sadržaja škroba i potencijalnog prinosa etanola.

U posljednjih dvadesetak godina tvrtke koje se bave primjenom biotehnologije u oplemenjivačkim programima, značajno su povećale broj hibrida na tržištu koji su namijenjeni za proizvodnju etanola. Bothast i Schlicher (2005) u svom radu navode kako su istraživači tvrtke Pioneer utvrdili da određeni hibridi daju do 4 % više etanola po jedinici mase u odnosu na ostale hibride korištene u istraživanju, te su ih označili kao „HTF“ (High Total Fermentable).

Kada se govori o proizvodnji sjemena hibrida kukuruza može se utvrditi da kod nas postoji jaka oplemenjivačka djelatnost. S obzirom da je u Hrvatskoj kukuruz uz pšenicu

najzastupljenija ratarska kultura ne čudi podatak da je prva hrvatska sorta poljoprivrednog bilja dobivena planskim međusortnim križanjem bila sorta kukuruza „Stražimirac“, dobivena polovicom 19. stoljeća (Kozumplik i Martinić-Jerčić, 2000). Međutim, do sada u Hrvatskoj nije postojao ciljani oplemenjivački program selekcije kukuruza za namjensku proizvodnju etanola. Oplemenjivanje se u Hrvatskoj provodi klasičnim metodama bez utjecaja biotehnologije.

Klima u Panonskoj nizini u kojoj se najvećim dijelom odvija poljoprivredna proizvodnja je kontinentalna, sa značajnim godišnjim temperaturnim variranjima od vrućih ljeta do hladnih zima, uključujući oba tipa kontinentale klime: topla i vlažna ljeta i vruća i vlažna ljeta (Peel i sur., 2007.; Beck i sur., 2018., koje navode Kondić-Špika i sur., 2022). Kao najproduktivnija regija jugoistočne Europe, Panonska nizina ima dugu tradiciju poljoprivredne proizvodnje, agronomskih istraživanja i oplemenjivanja bilja (Kondić-Špika i sur., 2022). Prema istim autorima, nagle klimatske promjene koje su se dogodile tijekom posljednjih desetljeća povećale su interes za istraživanje složenih interakcija između biljke i okoline i stvaranje na stres tolerantnih sorata i hibrida. Pandžić i sur. (2021) istraživajući utjecaj umjerene suše na prinos zrna kukuruza u panonskom dijelu Hrvatske, kroz samo dvije godine, dolaze do zaključka da suša nije jednako utjecala na smanjenje prinosa u središnjem dijelu u odnosu na istočni dio Hrvatske. Naime, ukupno smanjenje prinosa u 2017. (u usporedbi s 2018.) iznosilo je 13% u središnjem dijelu, a čak 20% u istočnom dijelu što autori pripisuju nižim vrijednostima višegodišnjih prosječnih stvarnih i potencijalnih omjera evapotranspiracije, odnosno nižem višegodišnjem prosjeku raspoložive vlage u istočnom nego u središnjem dijelu Hrvatske u razdoblju od lipnja do kolovoza.

Kako je postizanje što većeg prinosa zrna kukuruza po jedinici površine preduvjet i za ostvarivanje maksimalnog prinosa etanola, odabir optimalne gustoće sklopa ključna je odluka u proizvodnji kukuruza (Assefa i sur., 2016). Murányi (2015) navodi da se visoki prinosi mogu ostvariti u velikoj gustoći sklopa (90.000 biljaka/ha), kada se u sjetvi biljke siju na standardni razmak između redova neovisno o količinama oborina i njihovoj distribuciji tijekom vegetacije. Autorica je istraživanje provela na osam različitih genotipova kukuruza u različitim gustoćama sklopa (50.000, 70.000 i 90.000 biljaka/ha), pri čemu je razmak između redova iznosio 45 i 76 cm. Gustoće sklopa više su se nego udvostručile između 1930-ih i 1990-ih (Duvick i sur., 2004) s primarnim ciljem povećanja prinosa. Preporuke za optimalni broj biljaka po jedinici površine ovisit će o vrsti tla, dostupnosti vode i hranjivih tvari, hibridu i datumu sjetve (Sangoi i sur., 2001). Broj biljaka po jedinici površine, datum sjetve, sustav obrade tla, tip tla, hidrološka i kemijska svojstva tla kao i primijenjene agrotehničke mjere utječu na prinos zrna kukuruza (Ciampitti i Vyn, 2012; Haegerle i sur.,

2014; Assefa i sur., 2016). Iz navedenoga, može se utvrditi da se pravilnim odabirom broja biljaka po jedinici površine može povećati prinos zrna kukuruza.

## 1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

Na temelju pregleda literature formirane su slijedeće hipoteze:

- Hibridi namijenjeni za proizvodnju etanola ostvaruju veći prinos zrna i etanola.
- Svi hibridi ostvaruju najbolja agronomska svojstva te najveći prinos zrna i etanola u gušćem sklopu.

Na temelju postavljenih hipoteza, glavni ciljevi istraživanja su kako slijedi:

- Utvrditi razlike u prinosu zrna i etanola između nenamjenskih hibrida dobivenih oplemenjivanjem u RH i introduciranih namjenskih hibrida kukuruza.
- Utvrditi da li gustoća sklopa utječe na agronomska svojstva te na prinos zrna i etanola.

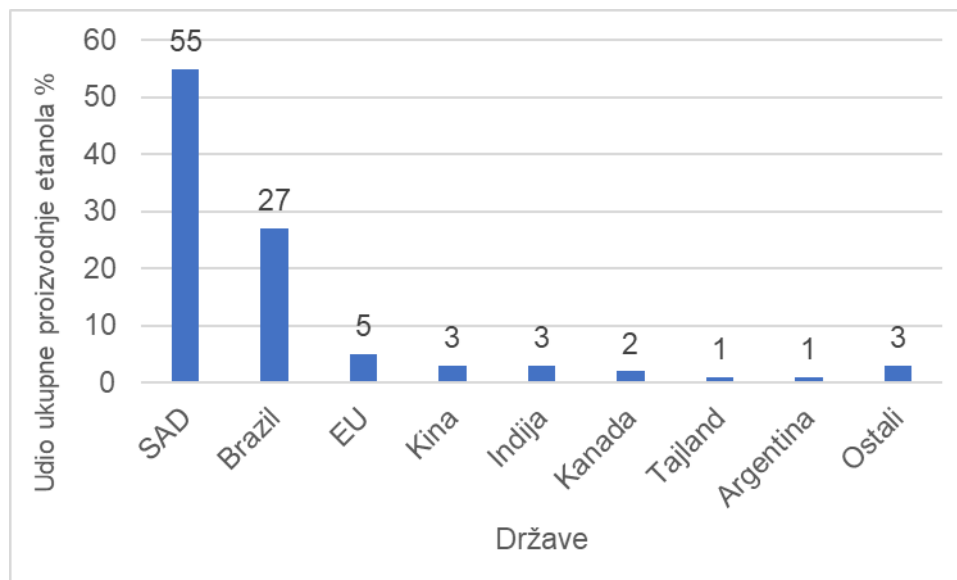
## 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Obnovljivi izvori energije – etanol

Obnovljivi izvori energije (OIE) koriste se za proizvodnju električne, toplinske, mehaničke i kemijske energije, a njihova najvažnija karakteristika je neškodljivost za okoliš (Subić i sur., 2017). Navedeni autori dalje navode da se njihovim korištenjem u procesu proizvodnje energije, smanjuje emisija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), te klasificiraju OIE na:

- bioenergiju (bioplin, biogorivo, biomasa),
- energiju sunca,
- energiju vjetra,
- energiju vode (hidroenergija), i
- geotermalnu energiju.

U svijetu vodeću ulogu u proizvodnji i primjeni etanola kao pogonskog goriva imaju SAD i Brazil. Prema podacima Renewable Fuels Association (RFA, 2022) u 2021. godini u Sjedinjenim Američkim Državama proizvedeno je 55 %, a u Brazilu 27 % od ukupno proizvedenog etanola u svijetu (Grafikon 1.). U Europskoj uniji (EU) proizvedeno je samo 5 % od ukupne količine etanola koji se tada proizveo u svijetu.



Grafikon 1. Proizvodnja etanola u 2021. godini.

SAD i Brazil dva su vodeća proizvođača etanola kao goriva i to od početka 1970-ih i njihove nacionalne politike podržavaju proizvodnju i korištenje etanola iz kukuruza i šećerne trske



(Solomon i sur., 2007). Najveći proizvodni kapaciteti u EU nalaze se u Francuskoj, Njemačkoj i Mađarskoj. Od 5,58 milijardi litara proizvedenog etanola u 2021. godini u EU, 50,4 % bio je etanol iz kukuruza, 21,8 % etanol dobiven iz pšenice, 14,5 % etanola dobiveno je iz šećera, a 3 % iz ostalih žitarica i usjeva bogatih škrobom (ePURE, 2022).

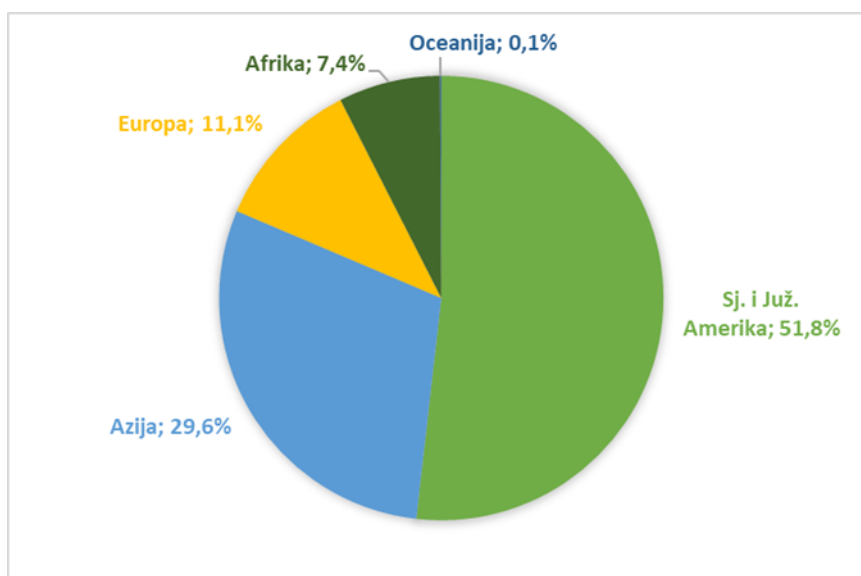
Hrvatska je samodostatna u pogledu proizvodnje kukuruza. Isto tako, prema Iljkiću i sur., (2019) u Hrvatskoj postoje viškovi zrna kukuruza koji se kreću između 400.000 i 500.000 t. Navedeni viškovi zrna kukuruza potencijalno predstavljaju sirovinu koja bi se mogla preraditi u jednom pogonu za proizvodnju etanola. Ovakva djelatnost stvaranjem dodatne vrijednosti doprinijela bi gospodarskom i industrijskom razvoju Hrvatske. Iako se u prošlosti dosta govorilo o pokretanju „greenfield“ investicije, izgradnje postrojenja za preradu kukuruza u etanol u Hrvatskoj (SiB, 2011) do toga još nije došlo.

## 2.2. Kukuruz – ulazna sirovina za proizvodnju etanola

Biogoriva se mogu razlikovati prema nizu ključnih karakteristika, uključujući: vrstu sirovine, proces pretvorbe, tehničku specifikaciju goriva i njegovu upotrebu (Jeswani i sur., 2020). Sharma i sur. (2016) navode da je industrija lignoceluloznog etanola spremna u budućnosti preraditi velike količine biomase, međutim, najviše korištena sirovina za proizvodnju biogoriva u SAD-u je trenutno zrno kukuruza.

Današnji kukuruz predstavlja rezultat višestoljetnih spontanih i neprekidnih mutacija, kultiviranog uzgoja kroz civilizacijski razvoj i primjene različitih metoda selekcije (Milašinović, 2005).

Prema FAOSTAT-u (2023) u svijetu je u 2022. godini sa površine od 203.470.007 ha ukupno požeto 1.163.497.383,13 t kukuruza. U razdoblju od 1994. do 2022. godine u prosjeku najviše je kukuruza proizvedeno u Sjevernoj i Južnoj Americi (51,8 %), te na području Azije (29,6 %) (Grafikon 2.).



Grafikon 2. Prosječna godišnja proizvodnja kukuruza u razdoblju od 1994.-2022. godine

U istom razdoblju u Europi je najveća prosječna proizvodnja kukuruza bila u Ukrajini i Francuskoj, dok je u Hrvatskoj samo u 2021. godini, prema podacima Državnog zavoda za statistiku (2022) ukupno bilo proizvedeno 2.231.000 t.

Kukuruz je polazna sirovina za veliki broj proizvoda i u svijetu se koristi na različite načine. Na globalnoj razini najviše se koristi kao hrana za životinje ali je važan i kao prehrambeni usjev, posebno u podsaharskoj Africi i Latinskoj Americi (Erenstein i sur., 2022). Jedna je od najvažnijih prehrambenih kultura u svijetu i zajedno s rižom i pšenicom, osigurava najmanje 30 % udjela kalorija u hrani za više od 4,5 milijardi ljudi u 94 zemlje u razvoju

(Shiferaw i sur., 2011). U Hrvatskoj se godišnje u prosjeku za prehranu stanovništva koristi manje od 3% ukupno proizvedenog kukuruza (Čop, 2019). Kukuruz je zbog kukuruznog škroba, koji je gotovo 100% probavljiv, najvažnija žitarica koja se koristi za ishranu životinja u svijetu. Iako prema kemijskom sastavu ima manje bjelančevina od ostalih krmiva, kukuruz je važan izvor bjelančevina zbog udjela koji zauzima u obroku. Također, sadrži važne minerale i vitamine koji su važni u prehrani životinja. Kukuruz je najpopularnija žitarica na svijetu, uzgaja ga većina zemalja, ali SAD i Kina čine polovicu međunarodnog tržišta (Tanklevska i sur., 2020). Autori također navode da su prije navedene zemlje najveći proizvođači ali i potrošači proizvoda koji nastaju u procesu prerade kukuruza.

S obzirom da je SAD najveći proizvođač etanola iz zrna kukuruza dobro je analizirati kretanja u ovoj industriji u posljednjih dvadesetak godina. Od 2000. godine proizvodnja etanola iz kukuruza u SAD-u porasla je s 6,1 na 57 milijardi litara pri čemu su značajnu ulogu odigrale politike koje se podržavale proizvodnju biogoriva (Lee i sur., 2021). Ovi autori proveli su istraživanje u kojem su analizirali promjene u emisijama stakleničkih plinova koji nastaju u proizvodnji etanola iz zrna kukuruza u SAD-u tijekom razdoblja od 15 godina (od 2005. do 2019. godine). Prema autorima, došlo je do smanjenja emisija za 23% i to zbog prinosa zrna kukuruza koji se po jedinici površine povećavao (do 15%), dosegnuvši u prosjeku 10,5 t/ha, i zbog činjenice da se količina dodanih gnojiva po jedinici površine nije mijenjala. Također, autori navode da je povećanje prinosa etanola u navedenom razdoblju iznosilo 6,5 %, i da je istovremeno došlo i do smanjenja potrošnje energije u iznosu od 24 % koja se troši u preradi zrna kukuruza u etanol.

Li i sur. (2022) navode koje se sirovine koriste za proizvodnju etanola i koji čimbenici utječu na dobivanje etanola iz škroba. Prema autorima, većina etanola proizvodi se iz škrobnih kultura, a među njima najviše iz kukuruza, pšenice i sirka. Autori navode i ostale kulture bogate škrobom koje se mogu koristiti za proizvodnju etanola, ali se još ne koriste u preradi u velikim količinama. Na kraju, autori navode i koja su svojstva škrobnih kultura poželjna za proizvodnju etanola.

Kada se raspravlja o kukuruzu kao polaznoj sirovini za proizvodnju etanola tj. goriva, često se u literaturi mogu pronaći autori koji u svojim radovima navode problem konkurencije između proizvodnje kukuruza za hranu i proizvodnje kukuruza kao zamjenice za fosilna goriva. Kocak i sur. (2022) istraživali su između ostaloga učinke proizvodnje etanola kao biogoriva na cijene kukuruza u SAD-u u razdoblju od 1985. do 2020. godine. Autori su došli do spoznaje da proizvodnja etanola ima sve veći učinak na cijene zrna kukuruza. Na osnovi dobivenih rezultata autori navode nekoliko mogućih implikacija koje se mogu pojaviti zbog konkurentskog odnosa proizvodnje hrane i goriva iz kukuruza u okviru politika održivog

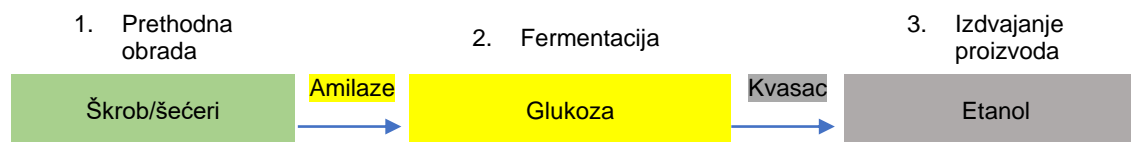
razvoja. Na kraju, autori zaključuju da u procesu transformacije industrije etanola, tehnološke inovacije (uporaba biogoriva druge ili treće generacije) mogu smanjiti konkurenciju između proizvodnje kukuruza kao hrane i kukuruza kao goriva i time utjecati na cijenu zrna kukuruza.

Mohanty i Swain (2019) kao i prethodni autori smatraju da i pšenica i kukuruz, iako su bogati škrobom, nisu najbolje sirovine za proizvodnju etanola jer se koriste i u prehrambenom lancu i da bi se zbog toga trebalo nastaviti tražiti alternativne sirovine za proizvodnju goriva. Kukuruz, prema autorima još uvijek je najbolja sirovina za proizvodnju etanola zbog uhodane i dobro poznate tehnologije proizvodnje zrna i zbog visokog sadržaja škroba u zrnu. Autori procjenjuju da bi se etanolom dobivenim iz kukuruza moglo zamijeniti do jedne četvrtine od ukupno potrošenih količina benzinskih goriva u SAD-u.

## 2.3. Tehnološki postupci proizvodnje etanola i nusproizvodi

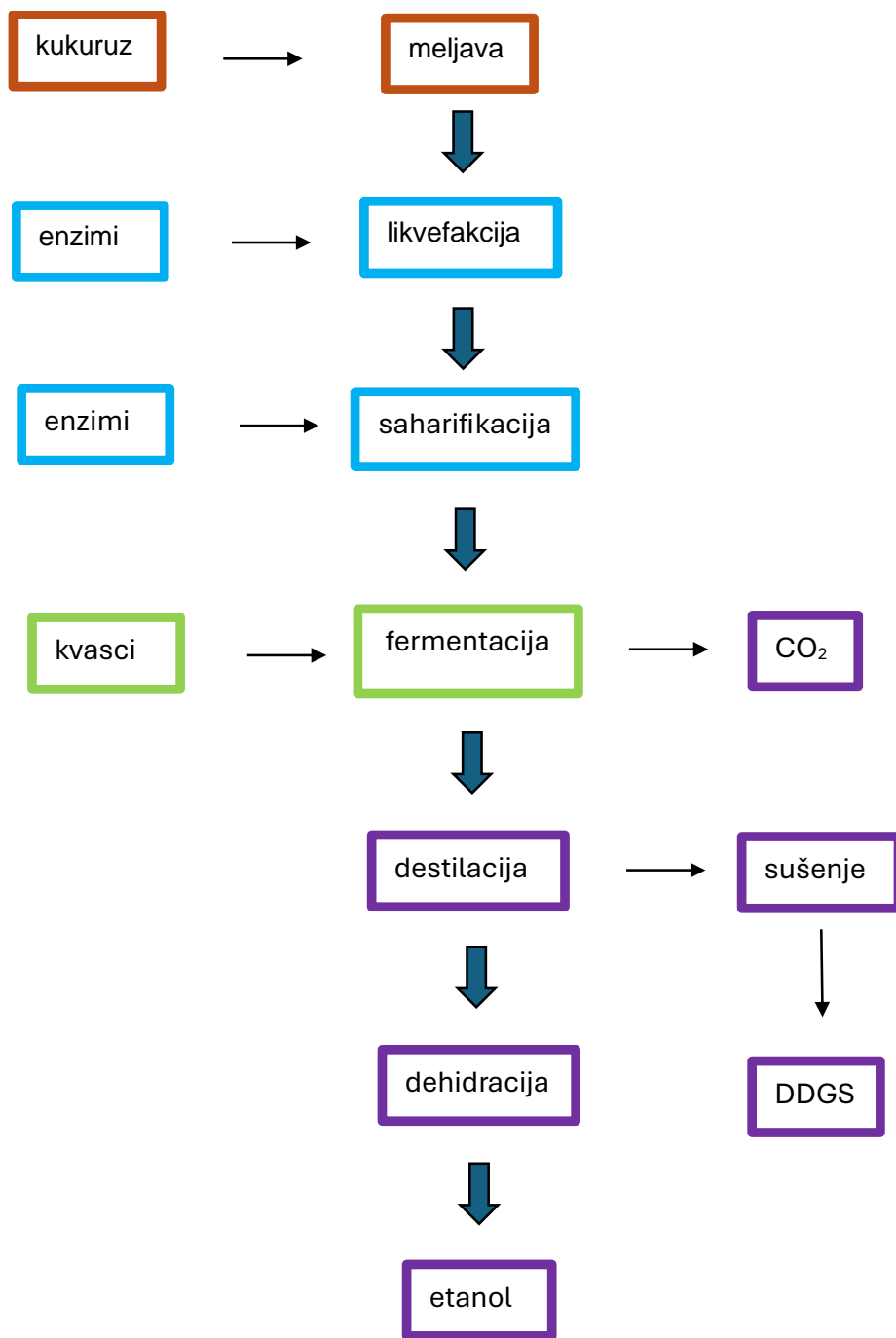
Prema Tehničkom leksikonu (2007) etanol ( $C_2H_5OH$ ) je bezbojna lako zapaljiva tekućina ugodna mirisa. Vrelište mu je  $78,3\text{ }^{\circ}C$ , talište  $-117,3\text{ }^{\circ}C$ , a gustoća  $0,789\text{ g/cm}^3$ . Miješa se s vodom u svim omjerima, pri čem mu se smanjuje obujam uz oslobađanje topline. Reagira neutralno i higroskopan je. Aktivan je sastojak opojnih pića, u kojima nastaje fermentacijom šećera uz pomoć kvasaca u procesu koje se zove alkoholno vrenje. Industrijskom fermentacijom sirovina bogatih šećerom (melasa, sirutka), škrobom (krumpir, kukuruz i druge žitarice) ili celulozom, proizvodi se etanol koji se upotrebljava kao gorivo. Za potrebe kem. industrije, gdje se primjenjuje kao otapalo i sirovina za pripravu drugih kemikalija, proizvodi se hidratacijom etilena. S obzirom na to da ubija kvasce, fermentacijom se ne mogu proizvesti alkoholne otopine s više od 15% obujamnoga udjela etanola. Destilacijom nastaje azeotropna smjesa stalnoga vrelišta, koja sadržava 95,6 % etanola i 4,4 % vode. Čisti etanol (apsolutni alkohol), s najviše 1 % vode, dobiva se uklanjanjem vode sredstvima za sušenje.

Proizvodne tehnologije se razlikuju u ovisnosti od sirovine, a općenito se mogu podijeliti u tri faze: prethodna obrada, fermentacija i izdvajanje etanola (Slika 1.).



Slika 1. Faze tehnologije proizvodnje etanola

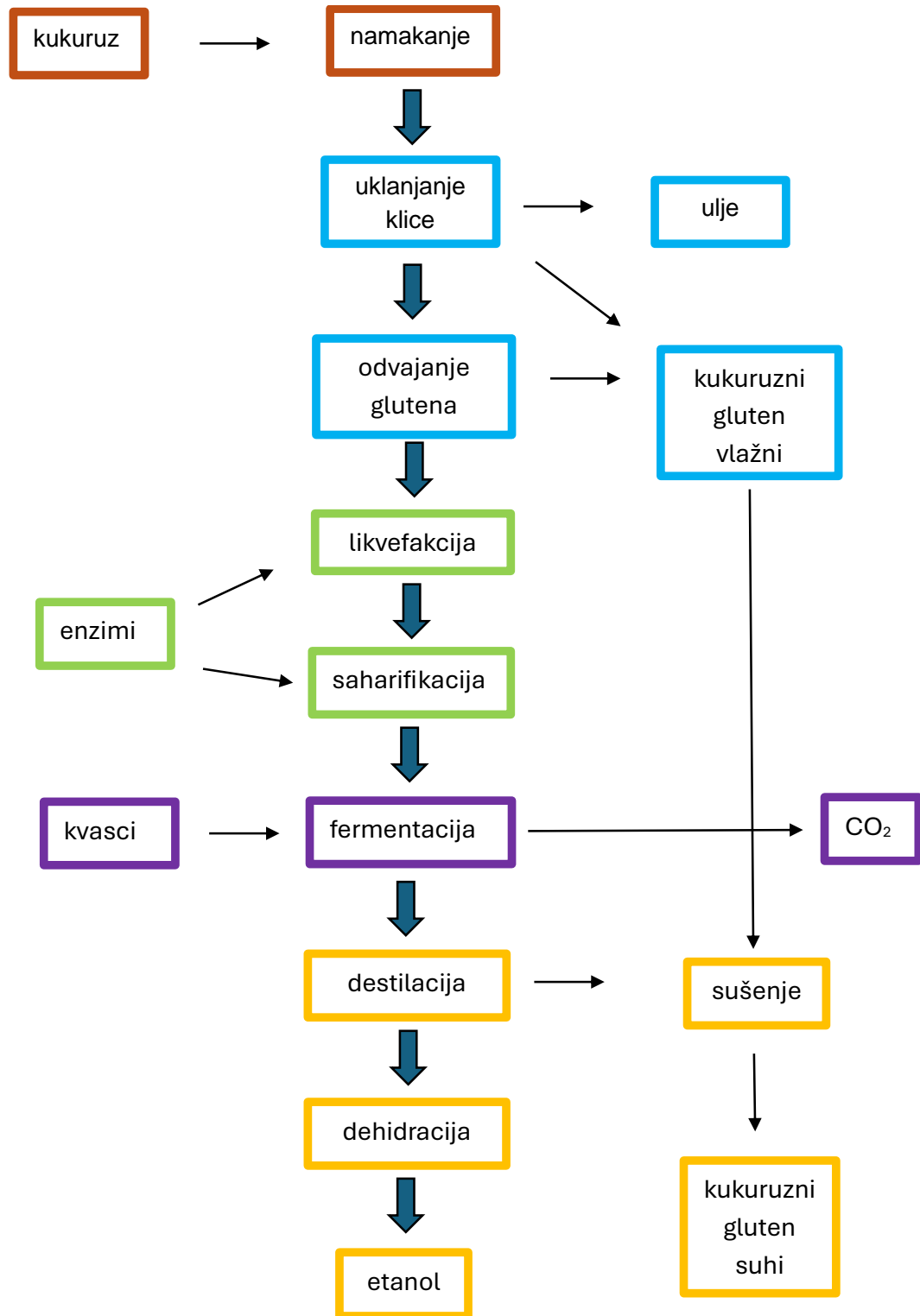
U proizvodnji etanola iz kukuruza najčešće se primjenjuju dva tipa procesa koji se razlikuju u načinu obrade zrna kojom se neposredno prije enzimske hidrolize oslobađa škrob (Ivančić Šantek i sur., 2016). Autori dalje obrazlažu da se u prvom procesu suho zrno kukuruza melje u grubo brašno ili kukuruznu krupicu i naziva se suha meljava (Slika 2.), a u drugom postupku, tzv. vlažna meljava, zrno kukuruza prvo se namače u razrijeđenoj otopini sumporne kiseline, usitnjava, a potom se izdvajaju pojedini sastojci zrna (škrob, klica, vlakna i proteini), od kojih se samo škrob upotrebljava u proizvodnji etanola (Slika 3.). Kako isti autori navode, zbog nižih kapitalnih troškova u proizvodnji etanola prevladava proces sa suhim mljevenjem zrna.



Slika 2. Shematski prikaz postupka suhe meljave s nusproizvodima (izvor: Sakib i Haque, 2024).

Dale i Tayner (2006) navode kako se proces suhog mljevenja, sastoji od četiri glavna koraka: manipulacija žitaricama i mljevenje, likvefakcija i saharifikacija, te fermentacija i izdvajanje nusproizvoda (Slika 2.). Manipulacija žitaricama i mljevenje je korak u kojem kukuruz dolazi u pogon za preradu i melje se kako bi se poboljšala pretvorba škroba u

glukozu. Likvefakcija i saharifikacija je trenutak gdje se škrob pretvara u glukozu. Fermentacija je proces kojim kvasci pretvaraju glukozu u etanol. Izdvajanje nusproizvoda je korak u kojem se alkohol i nusproizvodi kukuruza pročišćavaju i pripremaju za tržište.



Slika 3. Shematski prikaz postupka vlažne meljave s nusproizvodima (izvor: Sakib i Haque, 2024).

Postupak vlažne meljave ima više koraka u usporedbi sa postupkom suhe meljave (Sakib i Haque, 2024). Autori navode da se za razliku od postupka suhog mljevenja, ovdje komponente zrna razdvajaju, te se kukuruz tretira razrijeđenom kiselinom gdje se potopi u otopinu vode i sumpor dioksida (SO<sub>2</sub>). U tehnologiji vlažne meljave, mljevenje i obrada su složeniji jer se zrno mora razdvojiti na komponente, te je stoga kod vlažne meljave trošak izgradnje preradbenog pogona veći zbog potrebe izgradnje dodatnih spremnika za namakanje koje traje 30-40 sati. Isti autori, dalje navode da se zatim zrno odvaja od klice i iz klice se ekstrahira kukuruzno ulje. Kod primjene ovog tehnološkog postupka pored kukuruznog ulja osnovni nusproizvodi su vlažni kukuruzni gluten (CGM – Corn gluten meal), i suhi kukuruzni gluten (CGF – Corn gluten feed).

Prema Mojović i sur. (2009) glavni nusproizvodi proizvodnje etanola iz procesa suhe meljave su ugljikov dioksid i destilat. Destilat je tekući otpad koji ostaje nakon destilacije etanola (Choonuta i sur., 2015). U SAD-u je oko 85 % tekućeg ostatka osušeno zajedno s istrošenim zrcima za proizvodnju suhog tropa s otopinom (DDGS) koji se koristi kao stočna hrana (Mojović i sur., 2009). Buenavista i sur. (2021) analizirali su primjenu DDGS-a pri čemu ističu da će zbog različitih mogućnosti korištenja DDGS-a, istraživanja biti usmjerena na povećanje dobivenih količina DDGS-a, povećanje profitabilnosti proizvodnje DDGS-a i na smanjenje negativnih utjecaja na okoliša korištenjem DDGS-a. Isti autori tvrde da upotreba DDGS-a kako komponente hrane za životinje, poboljšava rezultate u tovu. Korištenjem DDGS-a kao hrane za životinje povoljno se utječe na okoliš zbog minimalnog doprinosa ugljičnom otisku, zakiseljavanju, globalnom zatopljenju i eutrofikaciji. Razvoj novih proizvoda s dodanom vrijednošću temeljenih na DDGS-u u industriji hrane, hrane za kućne ljubimce, proizvodnji biokompozita i dr., proširio bi tržište DDGS-a i održao industriju biogoriva. Zato je prema autorima, važno osigurati više financijskih sredstva za dodatna istraživanja na DDGS-u.

Drapcho i sur. (2008) navode da se tehnologija vlažne prerade kukuruznog zrna koristi u industriji već 150 godina. To je jedna od najsloženijih tehnologija u prehrambenoj industriji, u kojoj se zrno razdvaja na osnovne dijelove. Proizvodi vlažne meljave uključuju škrob, etanol i glukozu u visoko pročišćenim oblicima, kao i nusproizvode niže vrijednosti, poput kukuruznog glutena, koji je mješavina proteina, ugljikohidrata, vlakana, pepela i masti (Rausch i sur. 2019). Isti autori dalje navode da se primarni proizvod, škrob, koristi za proizvodnju mnogih drugih proizvoda, kao što su zaslađivači, etanol i modificirani škrobovi.

Tijekom prerade kukuruza u etanol nastaju nusproizvodi koji imaju određenu vrijednost i s ekonomskog aspekta. Zhang i sur. (2021) navode da nusproizvodi iz prerade kukuruza imaju relativno nisku cijenu, a s druge strane bogati su hranjivim tvarima i jako se razlikuju



po kemijskom sastavu. U suvremenom svijetu koji je sve ograničeniji resursima, iskorištavanje navedenih nusproizvoda u industrijskoj preradi sve više dobiva na važnosti, pogotovo ako se analizira ekonomski aspekt i kemijski sastav nusproizvoda. Autori navode da se kukuruzni gluten bogat proteinima može koristiti kao dobra hrana za životinje, a kukuruzne klice mogu se koristiti kao sirovina za proizvodnju visokokvalitetnog jestivog ulja. Na ovaj način nusproizvodi iz prerade kukuruza više se neće tretirati kao otpad, već će se pretvoriti u proizvode visoke dodane vrijednosti.

Kim (2000) na osnovi podataka koje je pronašao u literaturi (Serna-Salvidar i sur., 1993.; Eckhoff i Paulsen, 1996.; i Paulsen i sur., 1996.) navodi koji su parametri kvalitete zrna kukuruza koje će se preraditi tehnologijama vlažne i suhe meljave. Za vlažnu meljavu hibridi kukuruza moraju zadovoljiti sljedeće kriterije: veći udjel srednje tvrdog ili mekog endosperma u zrnu, srednja gustoća zrna oko  $1,25 \text{ g/cm}^3$ , veliki sadržaj škroba (69 do 70 %) i veliki postotak iskorištenja škroba, manji udio polomljenih zrna (8 do 12 %) i manji udio zrna s napuklinama (manje od 20 %), temperatura zraka za sušenje zrna kukuruza manja od  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , veća zrna (masa 1000 zrna od 270 do 350 g), mala kontaminiranost zrna mikotoksinima (Aflatoksin manje od 10 ppb). Za suhu meljavu hibridi kukuruza moraju zadovoljiti sljedeće kriterije: veći udjel tvrdog endosperma u zrnu (veći odnos T/M – 70 % tvrdi i 30 % meki endosperm), veća hektolitarska masa (73,4 do 75,9 kg/hl), veća gustoća zrna ( $1,25$  do  $1,28 \text{ g/cm}^3$ ), manji udjel polomljenih zrna (manje od 10 %), manji udjel zrna s napuklinama (manje od 20 %), veća zrna (masa 1000 zrna od 270 do 350 g) i mala kontaminiranost zrna mikotoksinima (Aflatoksin manje 10 ppb).

## 2.4. Čimbenici koji utječu na prinos etanola iz zrna kukuruza

Prema dostupnoj literaturi čimbenici koji utječu na prinos etanola iz zrna kukuruza su: hibrid (genotip), prinos zrna, hektolitarska masa, sadržaj škroba, omjer amiloze i amilopektina, sadržaj proteina, te klimatske prilike tijekom vegetacije.

### 2.4.1. Izbor hibrida

Moderni hibridi kukuruza mogu se razlikovati u svojstvima koja su važna kod prerade u etanol. Za pretpostaviti je da će različiti hibridi biti i različito produktivni u pogledu proizvodnje etanola, pri čemu su prinos i obnovljivost škroba, puno važnija svojstva u odnosu na sadržaj škroba (Mladenović-Drinić i sur., 2011). U početku proizvodnje etanola pažnja se nije pridavala hibridu. Međutim, s povećanjem proizvodnje i sve većim potrebnim količinama zrna kukuruza za preradu, počelo se s usporedbom hibrida i dobiveni rezultati su jasno upućivali na razlike između hibrida u prinosu etanola (Bryan, 2003). Također, postalo je potpuno jasno da se uzgojem hibrida kukuruza koji daju više etanola po jedinici površine može maksimizirati i profit. Sve navedeno dovelo je do pojave tzv. HTF hibrida (engl. High Total Fermentable) odnosno hibrida deklariranih za proizvodnju etanola. S obzirom kako je proizvodnja etanola iz zrna kukuruza najviše koncentrirana u područjima na kojima je dozvoljena prisutnost biotehnologije odnosno genetski modificiranih organizama (GMO), puno veći broj HTF hibrida kukuruza je stvoren upotrebom biotehnologije, odnosno transferom gena. Prema dostupnoj literaturi mogu s utvrditi razlike u prinosu etanola HTF hibrida i onih koji nisu HTF. Tako npr. Zoeller (2008), navodi da su HTF hibridi ostvarili u prosjeku 3,6 % veći prinos etanola po jedinici mase u odnosu na hibride kukuruza koji nisu bili HTF. Dien i sur. (2002) nisu utvrdili razliku u prinosu etanola i prinosu zrna između hibrida dobivenih klasičnim oplemenjivačkim postupkom i hibrida dobivenih primjenom biotehnologija. Autori su određivali prinos etanola iz suhe meljave i došli do zaključka da je postotak ukupnog škroba dostupnog za pretvorbu u etanol značajno varirao između hibrida ( $P < 0,002$ ), što je ukazalo na činjenicu da prinos etanola ne ovisi isključivo o sadržaju škroba.

O utjecaju izbora hibrida na proizvodnost etanola ukazuje i rad Gumienna i sur. (2016) koji su utvrdili utjecaj hibrida kukuruza na učinkovitost proizvodnje etanola. Autori su testirali 258 različitih uzoraka zrna kukuruza koje su dobili međusobnim križanjem različitih majčinskih linija s četiri očinske linije. Usporedbe u skupinama generirane multivarijatnim istraživačkim tehnikama (klaster analiza, k-means klastering, PCA) pokazale su da je moguće dobiti različite klastere s najvećim prinosom etanola (35,6 l etanola na 100 kg zrna), a koji su, pokazala je PCA analiza pripadali istoj očinskoj liniji.

Veći prinosa etanola HTF hibridi kukuruza u novije vrijeme nastoji se još povećati korištenjem određenih enzima koji se dodaju u masu zrna tijekom prerade kukuruza. Singh i sur. (2023) istraživali su utjecaj dodavanja fitat-fosfataze u masu zrna HTF hibrida kukuruza koji su prerađeni tehnologijom suhe meljave. Autori su utvrdili da se povećanjem postotka fitat-fosfataze koja je dodana u masu zrna HTF hibrida kukuruza, tijekom suhe meljave, povećao prinos etanola od 1 do 6,5%. Prema autorima, dodatak fitat-fosfataze značajno je s druge strane smanjio sadržaj fitinske kiseline u DDGS-u. Ipak, autori smatraju da je dodavanje fitat-fosfataze tijekom procesa suhog mljevenja, dobar način da se poveća prinos etanola što je i važnije u odnosu na smanjenje sadržaja fitinske kiseline u DDGS-u.

HTF hibridi kukuruza osim što moraju ostvariti što veći prinos etanola, moraju ostvariti i što veći prinos zrna. U Republici Hrvatskoj registrirano je na sortnoj listi veći broj različitih hibrida kukuruza. Dio hibrida su nastali u domaćim oplemenjivačkim kućama i po prinosu zrna domaći hibrid ne zaostaju za hibridima kukuruza koje zastupaju inozemne sjemenske kompanije.

U svojoj knjizi Kovačević i Rastija (2014) praveći osvrt na povijest oplemenjivanja kukuruza u Hrvatskoj zaključuju da su hibridi kukuruza koji su stvoreni u domaćim institutima (Osijek, Zagreb) ravnopravni s inozemnom konkurencijom (hibridi svjetski poznatih kompanija). Oplemenjivanje kukuruza se u Hrvatskoj provodi klasičnim metodama bez utjecaja biotehnologije (Šatović i sur. 2019). Oni navode da su kultivari kroz postupke oplemenjivanja bilja u Hrvatskoj nastali upotrebom klasičnih oplemenjivačkih metoda temeljenih na analizi agronomskih svojstava u poljskim i laboratorijskim pokusima. Prema njima one više nisu dostatne za učinkovito oplemenjivanje i razvitak novih kultivara jer suvremeni oplemenjivački programi uključuju brojne metode fenotipizacije i genotipizacije visoke propusnosti. Nadalje, isti autori zaključuju da se posljedice korištenja zastarjelih oplemenjivačkih metoda jasno vide analizirajući tržište sjemena u Hrvatskoj u posljednjih 25 godina, pri čemu uočavaju da multinacionalne oplemenjivačke tvrtke postaju dominantne.

U svom osvrtu na temu oplemenjivanja bilja Pejić i Šatović (2022), ukazuju kako brzi razvoj raznih znanosti i tehnologija omogućuje postupni prelazak na „molekularno oplemenjivanje bilja“. Pri tome se uz pomoć znanja i tehnika iz područja genomike i bioinformatike, omogućava postupke selekcije i stvaranja novih kultivara vremenski skratiti i napraviti učinkovitijim. Kada se govori o proizvodnji sjemena hibrida kukuruza može se utvrditi da kod nas postoji jaka oplemenjivačka djelatnost, ali do sada u Hrvatskoj nije postojao ciljani oplemenjivački program selekcije kukuruza za namjensku proizvodnju etanola. To znači da bi se i domaći hibridi mogli koristiti za dobivanje etanola ali svakako bi trebalo dodatno

istražiti kako bi se odabrani hibridi ponašali u različitim klimatskim uvjetima i pri određenoj primijenjenoj agrotehnici.

#### 2.4.2. Prinos zrna

Zadatak moderne poljoprivrede je proizvoditi više po jedinici površine, a pri tome treba koristiti različite čimbenike koji tome mogu doprinijeti. Assefa i sur. (2017) zaključuju da su na povećanje prinosa kukuruza kroz razdoblje od 1987. do 2015. na području kukuruznog pojasa Sjeverne Amerike utjecali sljedeći čimbenici: razvoj i upotreba poboljšane genetike, unapređenje primijenjene agrotehnike te specijalizacija proizvodnje kukuruza, tj. proizvodnja kukuruza u područjima koja su se pokazala pogodnija za uzgoj kukuruza.

Wang i Hu (2021) navode da intenzivna obrada tla i konzervacijska obrada utječu na povećanje učinkovitosti u proizvodnji kukuruza. Porast prosječnog prinosa zrna kukuruza na svjetskoj razini od početka 20. stoljeća pa do 2005. godine iznosio je približno 500 %. Procjenjuje se da je 40 do 50 % tog napretka ostvareno zahvaljujući poboljšanjima u primijenjenoj agrotehnici, dok su za 50 do 60 % zaslužna genetska poboljšanja kultivara (Duvick, 2005).

Ta poboljšanja odnose se na uvođenje hibridnih kultivara i poboljšanja tehnika selekcije, počevši od kasnih 1930-ih, pa sve do danas kada se stvaraju kultivari otporniji na biotske i abiotske stresove. Zhang i sur. (2020) promatrajući četiri čimbenika (efektivne oborine, izbor sjetvene površine, količine mineralnih gnojiva i doze primijenjenih pesticida) dolaze do zaključka da su najveći utjecaj na prinos kukuruza imale doze primijenjenih pesticida, zatim izbor površine za sjetvu, količina primijenjenih mineralnih gnojiva i konačno, efektivna količina oborina. Nadalje, visinu prinosa uvelike definiraju čimbenici kao što su gustoća sklopa i primijenjena agrotehnika. Mahanna (2011) u svom radu zaključuje da varijacije u razmaku redova u sjetvi kukuruza i gustoćama sklopova mogu značajno utjecati na prinos kukuruza i sadržaj škroba u zrnu kukuruza.

Prinos zrna kukuruza moguće je bolje prikazati kroz komponente prinosa. Milander (2015) navodi da su komponente prinosa podijeljene na primarne i sekundarne. Primarne komponente prinosa su: broj klipova/m<sup>2</sup> (ili broj klipova po biljci), broj zrna po klipu i masa (težina) zrna. Sekundarne komponente prinosa su: broj redova zrna na klipu, dužina klipova, broj zrna u redu na klipovima i opseg klipa. Komponente prinosa međusobno su povezane, imaju kompenzacijske učinke i razvijaju se određenim slijedom u različitim fazama rasta i razvoja biljke kukuruza.

Obzirom da se u ovom doktorskom radu uz prinos istraživao i sadržaj škroba i prinos etanola, važno je navesti u kojoj fazi rasta i razvoja se određuje masa odnosno konačna

težina zrna. Prije svega na masu zrna utječu uvjeti koji su se pojavili tijekom nalijevanja zrna odnosno od cvatnje i oplodnje pa do fiziološke zriobe. Navedeno razdoblje se u znanstvenoj literaturi naziva i generativna (reproduktivna) faza koji se može podijeliti na 6 dijelova (Abendroth i sur., 2011). U prvom dijelu koji se još naziva i svilanje je i najosjetljivija faza za kukuruz jer ako se pojavi stres u toj fazi može doći do smanjenja broja zrna na klip (Westgate i sur., 2004). Drugi dio koji se na engleskom jeziku naziva i BLISTER, pojavljuje se 10 do 12 dana nakon svilanja. U ovom ali i u trećem dijelu reproduktivne faze propadanje zrna povezano je sa nedovoljnom opskrbom ugljikohidratima koji pristižu u zrno iz ostalih dijelova biljke. Treći dio reproduktivne faze naziva se i mliječna zrelost, pojavljuje se 18 do 20 dana nakon svilanja. U ovoj fazi povećava se akumulacija škroba u zrnu i raste udio suhe tvari u zrnu. Četvrti dio reproduktivne faze naziva se i faza tijesta zbog konzistencije suhe tvari u zrnu a pojavljuje se 24 do 26 dana nakon svilanja. U ovoj fazi i dalje se povećava suha tvar u zrnu i dalje se u zrnu nakuplja škrob. Stres tijekom ove faze neće uzrokovati propadanje zrna ali će doći do smanjenja mase (težine) zrna jer se u zrnu manje akumuliralo škroba. U petom dijelu reproduktivne faze u kojoj se pojavljuje udubljenje na vrhu zrna, ako se pojavi stres doći će do smanjenja mase zrna jer je zbog stresa smanjenja akumulacija škroba. Ovaj dio reproduktivne faze pojavljuje se 31 do 33 dana nakon svilanja. I zadnji, šesti dio u reproduktivnoj razini kukuruza je fiziološka zrioba koja se pojavljuje 64 do 66 dana nakon svilanja. Stres u ovom dijelu, poglavito visoke temperature, suša ili pojava bolesti, mogu uzrokovati prerano pojavu crnog sloja (Afukawa i sur., 1984). Ako se pojavi, stres u ovom dijelu reproduktivne faze neće rezultirati smanjenjem prinosa zrna jer je masa zrna više-manje konstantna (Elmore i Roeth, 1999). Količina (masa) požnjevenog zrna produkt je interakcije 3 čimbenika, a to su: genotip (G, genetski potencijal hibrida), primijenjena agrotehnika tijekom uzgoja (M) i klimatski uvjeti koji su bili tijekom vegetacije (E). Navedeni čimbenici utječu na prinos zrna jer utječu na: broj biljaka po jedinici površine (hektar), broj klipova po biljci, broj redova zrna na klip, broj zrna u redu na klip, i masu pojedinog zrna. Općenito ove se komponente pojavljuju uzastopnim napredovanjem tijekom vegetacijske sezone redosljedom kojim su navedene (Abendroth i sur., 2011). Kako bi se zadovoljila rastuća globalna potražnja za hranom, postojeće strategije upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom morat će se transformirati kako bi se ublažili negativni utjecaji klimatskih promjena na prinose usjeva (Nandan i sur., 2021). Isti autori koristili su MLCan model kako bi istražili negativne utjecaje klimatskih promjena na prinose kukuruza. Rezultati simulacije pokazali su da smanjenje oborina za 30 % može smanjiti prosječne prinose kukuruza do 10 %.

#### 2.4.2.1. Gustoća sklopa

Broj biljaka po jedinici površine (sklop) je čimbenik koji je značajan u proizvodnji kukuruza i ostvarivanju visokih prinosa. Prema podacima iz dostupne literature može se zaključiti da su različiti hibridi pokazali različite reakcije u različitim sklopovima na prinos zrna. Bukhsh i sur. (2008) proučavajući tri Pioneer hibrida kukuruza najviše prinose ostvarili su sklopovima od 95.238 biljaka/ha. Do sličnih zaključaka došao je i Edwards (2016) proučavajući 57 sintetičkih populacija kroz petogodišnje razdoblje, uključujući 17 pojedinačnih lokacija–godina. U njegovim rezultatima, prosječni odgovori prinosa na gustoću sklopova uvelike su varirali među proizvodnim okolinama a prosječna optimalna gustoća sklopa biljaka kretala se u rasponu od 56.000 do 91.000 biljaka/ha.

Nadalje, u svojim istraživanjima Douglas i sur. (1982) sugeriraju da će se u umjerenim i vlažnim klimatskim uvjetima prinosi zrna malo promijeniti značajnim promjenama gustoće biljaka u odnosu na optimalnih 80.000 do 90.000 biljaka/ha, iako potencijali prinosa zrna mogu znatno varirati.

Bernhard i Below (2020) u svom radu zaključuju da su svi hibridi genotipski i fenotipski različiti i mogu imati različite reakcije u pogledu prinosa s obzirom na gustoću sklopa i razmak redova u sjetvi. Oni su koristeći 6 komercijalnih hibrida posijanih u različitim gustoćama sjetve (94.000, 109.000, 124.000 i 139.000 biljaka/ha) i sa dva različita razmaka redova u sjetvi (51 cm i 76 cm) došli do rezultata koji sugeriraju da će hibridi koji imaju pozitivnu reakciju u pogledu prinosa na povećanu gustoću sjetve također imati i pozitivnu reakciju u pogledu prinosa u odnosu na uže razmake redova u sjetvi. Istraživani hibridi uglavnom su bili hibridi duže vegetacije koji iskorištavaju veći dio vegetacijske sezone, a ključna svojstva povezana s hvatanjem više sunčeve svjetlosti (kut lista, širina lista, duljina lista i lisna površina po biljci), veličina biljke (biomasa po hektaru, osušena biomasa po hektaru i širina biljke), te težina korijena po biljci bili su važni čimbenici u predviđanju reakcije prinosa na promjene prostornog rasporeda biljaka. Prinos zrna kukuruza raste s gustoćom sklopa do neke maksimalne vrijednosti, a zatim opada jer opskrba vodom, hranjivim tvarima za biljke i drugim raspoloživim resursima postaje ograničavajuća. Prinos zrna kukuruza opada zbog pada žetvenog indeksa, ukupne biomase po biljci i povećane nerodnosti stabljike - povećanja broja jalovih biljaka (Boomsma i sur., 2009)

DeBruin i sur. (2017.) pronašli su pozitivnu korelaciju između prinosa zrna i gustoće sklopa kod modernih hibrida kukuruza. Kod starijih hibrida korelacija između prinosa i gustoće sklopa nije uvijek bila pozitivna. Moderni hibridi bolje podnose stres koji nastaje u uvjetima velikog broja biljaka po jedinici površine i zbog toga mogu se sijati u većim gustoćama i ostvarivati veće prinose (Duvick, 1997). Primijenjena agrotehnika trebala bi omogućiti

odabranom genotipu da pozitivno reagira na povećane gustoće sklopa u povoljnim okolišnim uvjetima (Haegele i sur., 2014). Promjene u postojećim agrotehničkim zahvatima (učinkovitija gnojidba, učinkovita borba protiv korova, primjena novih strojeva u obradi tla) mogu dodatno utjecati na interakciju između gustoće sjetve i prinosa zrna kukuruza. Optimalna gustoća sklopa obično je veća za hibride kraće vegetacije u odnosu na hibride duže vegetacije (Edwards i sur., 2005).

Postizanje veće gustoće sjetve može se ostvariti primjenom „Twin row“ tehnologije. Twin row tehnologija uzgoja kukuruza predstavlja model proizvodnje kukuruza koji koristi posebno konstruirane sijačice pri čijem korištenju u sjetvi biljke bolje koriste svjetlost i vegetacijski prostor, a korijen biljaka ima manju konkurenciju (Miljević, 2017). Isti autor je u jednogodišnjem istraživanju došao do zaključka da ispitivani hibrid posijan Twin row sijačicom u sklopu od 104.370 biljaka/ha ostvario 24,11 % veći prinos u odnosu na prinos koji je ostvaren u standardnoj sjetvi pneumatskom sijačicom i u sklopu od 74.018 biljaka/ha. Ovom tehnologijom može se povećati sklop biljaka po jedinici površine, ali osnovna karakteristika joj je povoljniji raspored zrna u sjetvi. Udvojeni redovi zasijavaju se na razmak 20, 22 ili 25 cm, a središnji razmak susjednih udvojenih redova iznosi 70 ili 75 cm tako da se berba može obaviti sa standardnim beračima za kukuruz (Banaj i sur., 2021). Isti autori su u petogodišnjem ispitivanju kojeg su provodili na dvije lokacije došli do zaključaka da je u svim okolišima (godina × lokacija) sjetva u udvojenim redovima bila povezana s većim prinosima zrna po jedinici površine, te da je povoljan učinak takve sjetve bio izraženiji u godinama s nižim prosječnim prinosima, pri čemu valja naglasiti da se ostvareni sklopovi biljaka nisu međusobno razlikovali među pokusnim varijantama na obje lokacije tijekom svih godina istraživanja.

Zbog klimatskih promjena sve se češće u optimalnim rokovima za sjetvu kukuruza pojavljuju nepovoljni uvjeti koji mogu negativno djelovati na klijanje i početni porast kukuruza. Najčešće su to suša, niske temperature ili prevelika količina oborina. Svi ovi čimbenici sve češće uzrokuju da se sjetva pomjera na kasne rokove koji opet mogu utjecati na visinu prinosa kukuruza.

Kao alternativa u takvim situacijama nameće se sjetva u gušćim sklopovima. Van Roekel i Coulter (2011) u svom trogodišnjem istraživanju na dvije lokacije uz korištenje šest različitih gustoća sklopa (u rasponu od 38.400 do 107.900 biljaka/ha) i tri različita datuma sjetve, zaključuju da povećana gustoća sklopa možda neće moći nadoknaditi prinos i ekonomske gubitke povezane s kasnom sjetvom. Do tog zaključka došli su proučavajući tri različita hibrida u osam različitih gustoća sklopa (od 43.600 do 117.700 biljaka/ha) kroz dvije godine.

Pri tome su utvrdili postojanje interakcije hibrida i gustoće sklopa, a najveći prinosi ostvareni su pri sklopovima od 75.200 biljaka/ha i više.

Pregledom literature pronađen je relativno mali broj radova u kojima su se autori bavili proučavanjem utjecaja gustoće sklopa na prinos etanola iz zrna kukuruza. Proučavajući različite gustoće sklopova, u rasponu od 44.460 biljaka/ha do 98.800 biljaka/ha, u različitim proizvodnim okolinama i njihov utjecaj na prinos etanola, Hemeyer (2010) je došao do sljedećih zaključaka: s povećanjem gustoće sklopa povećavao se prinos zrna, prinos etanola dobiven u postupku vlažne meljave i koncentracija škroba na većini lokacija na kojima je provedeno istraživanje. S druge strane povećanjem gustoće sklopa došlo je do smanjenja prinosa etanola dobivenog u postupka suhe meljave i koncentracije proteina u zrnu. Wortmann i sur. (2010) su proučavajući tri različita kultivara slatkog sirka (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), sirka sa povećanim sadržajem šećera u stabljici, došli do zaključka da postoji pozitivna korelacija u prinosu etanola s povećanjem gustoće sklopa.

Gustoća sklopa utječe na prinos zrna kukuruza (Van Roekel i Coulter, 2011), ali je odnos između gustoće sklopa i prinosa, promjenjiv (Assefa i sur., 2016) i na njega mogu utjecati čimbenici kao što su količina oborine, sustav obrade tla, gnojidba i vrsta tla. Optimalna gustoća sklopa ovisi o nekoliko ključnih čimbenika, uključujući plodnost tla, sposobnost zadržavanja vode u tlu i vegetacijska FAO skupina zrelosti (Sangoi i sur., 2002).

#### 2.4.2.2. Hektolitarska masa zrna

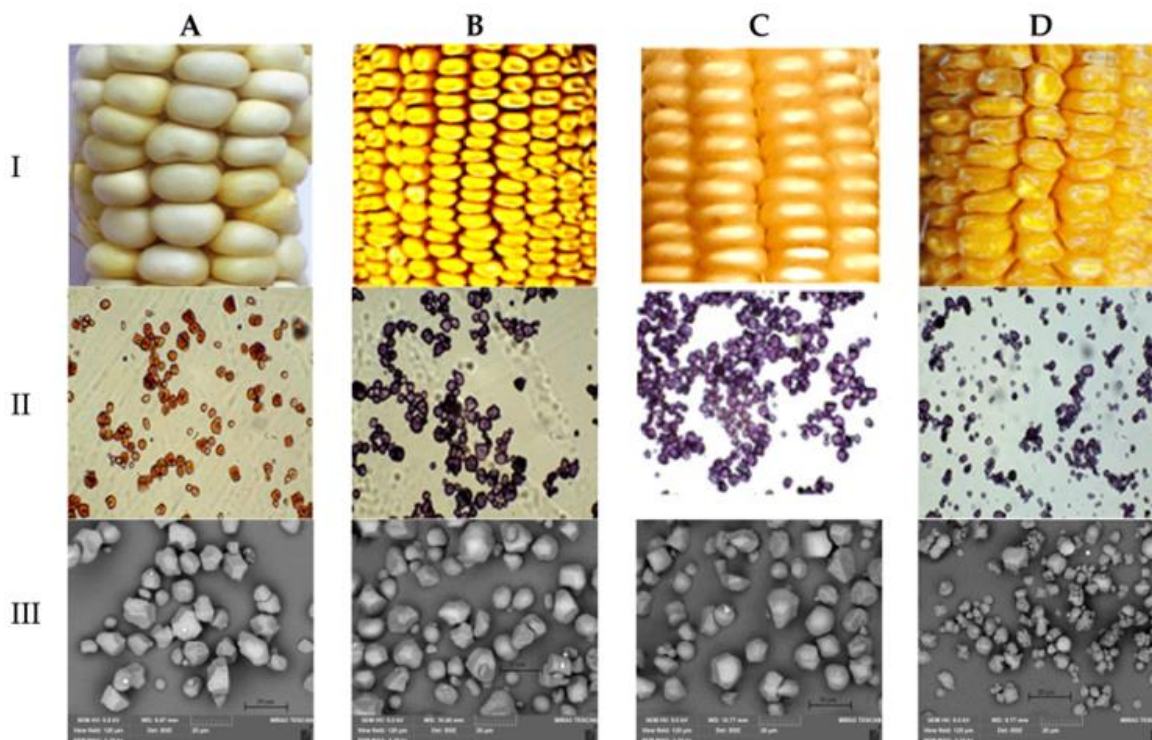
Hektolitarska masa kao fizikalno svojstvo zrna, ima značajnu ulogu u definiranju ukupnog prinosa i pokazatelj je kvalitete zrna kukuruza (Stroshine i sur. 1981). U velikom broju radova kao mjera težine zrna određenog volumena koristi se izraz „test weight“ (TW) (Jia i sur., 2019). Veća hektolitarska masa povezana je s manjim sadržajem pepela, sirovih vlakana i sirovog proteina te višom caklavosti endosperma (Grbeša, 2016). Isti autor navodi da izrazito niske vrijednosti hektolitarske mase (< 62 kg/hl) upućuju na niži sadržaj škroba i ulja te caklavog endosperma, kao i to da je hektolitarska masa visoko nasljedno svojstvo ( $h = 0,75$ ) pa je pokazatelj potencijalnih razlika između hibrida u kemijskom sastavu i sadržaju energije u zrnu. U istraživanju koje su proveli Pomeranz i sur. (1986) na 13 različitih uzoraka kukuruza, utvrđena je visoka korelacija između tvrdoće zrna i hektolitarske mase pa autori zaključuju da, teoretski, hektolitarska masa može biti indirektni pokazatelj tvrdoće zrna. Barary i sur. (2014) navode da primijenjena agrotehnika i vrijeme žetve utječu na hektolitarsku masu. Prema autorima, hektolitarska masa bila je najveća kada je žetva obavljena pri 20 % vlažnosti zrna pri čemu se hektolitarska masa smanjivala s povećanjem



sadržaja vlage u zrnu. Vlaga zrna značajno je utjecala na vrijednost hektolitarske mase. Wang i sur., (2023b) su kroz dvije godine proveli istraživanje utjecaja gustoće sklopa na hektolitarsku masu kukuruza, te su došli do zaključka da gustoća sjetve ima značajan utjecaj na hektolitarsku masu, a odnos između hektolitarske mase i gustoće sjetve bio je konstantan u svim godinama u kojima su provedena istraživanja i između testiranih hibrida kukuruza. Ponegdje u literaturi autori umjesto hektolitarske mase navode koji čimbenici utječu na nasipnu masu. Nasipna masa koristi se u preradi kukuruza kao važan pokazatelj prinosa i kvalitete finalnih proizvoda (Watson, 1987). Međutim, neki autori navode da nisu utvrđeni dosljedni odnosi između vrijednosti nasipne mase i potrebnih svojstava za krajnju upotrebu (Brooker i sur., 1992.; Manis, 1992). Prema vrijednostima nasipne mase kukuruz se može preraditi ili u tvornicama koje primjenjuju tehnologiju suhe meljave (više vrijednost nasipne mase) jer se može dobiti više krupne krupice (Paulsen i Hill, 1985; Stroshine i sur. 1986) ili u tvornicama koje primjenjuju postupak vlažne meljave ili u tvornicama hrane za životinje (niže vrijednosti nasipne mase) (Hardacre i sur., 1997). Kod kukuruza negativni učinci povećane gustoće sjetve na konačnu masu 1000 zrna, a time i na hektolitarsku masu, pripisuju se smanjenju efektivnog razdoblja nalijevanja zrna, a ne brzini povećanja zrna (Borrás i Otegui, 2001).

### 2.4.3. Sadržaj škroba

Kukuruz je žitarica s visokim udjelom škroba (slika 4.) u jezgri (oko 70 %) koja osigurava preko 85 % ovog vrijednog ugljikohidrata proizvedenog u cijelom svijetu (Milašinović i sur., 2007).



Slika 4. Škrobna zrnca (II – svjetlosni mikroskop; III – elektronski mikroskop) različitih tipova zrna kukuruza (I – A, B, C, D) (izvor: Khatefov i sur., 2023).

Škrob ima veliku ulogu u prehrambenoj industriji ne samo zbog svoje prehrambene vrijednosti, već i zbog svoje široke tehnološke funkcionalnosti (Alcazar-Alay i Meireles, 2015). Isti autori dalje obrazlažu kako se škrob rijetko konzumira u svom prirodnom obliku (ovaj se oblik također ne koristi uobičajeno u industriji jer prirodni škrobovi imaju ograničenu topljivost u vodi, što ograničava industrijsku primjenu), te je do sada razvijeno nekoliko metoda za proizvodnju modificiranog škroba, s različitim značajkama i primjenama. Oni nadalje tvrde da je industrija škroba u stalnoj ekspanziji i da se industrija škroba raznim modifikacijama prilagođava potrebama prehrambene i neprehrambene industrije. S obzirom da je škrob iz zrna kukuruza, koji se prvo hidrolizira, a zatim u procesu fermentacije prevodi u bioetanol, najznačajnija komponenta u proizvodnji bioetanola, opravdano bi bilo očekivati da sadržaj škroba određuje prinos bioetanola (Semenčenko i sur. 2015). Vrijeme sjetve i vrijeme žetve, također su kritični čimbenici koji utječu na sadržaj kukuruznog škroba. Rana sjetva može dovesti do boljeg nakupljanja škroba zbog dužeg razdoblja rasta i optimalnog korištenja raspoloživih resursa. Suprotno tome, odgođena sjetva može

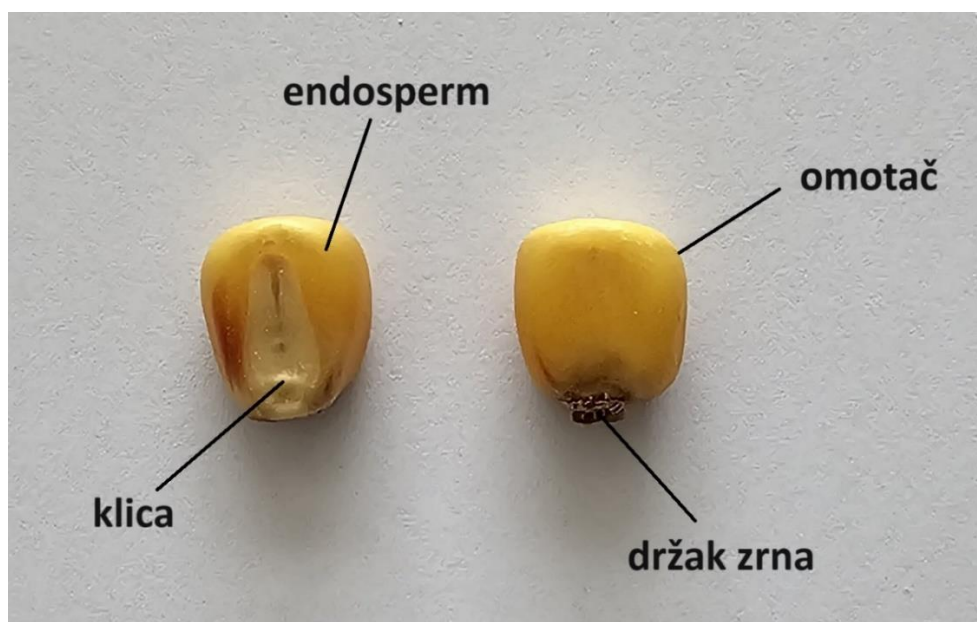
rezultirati smanjenim sadržajem škroba zbog skraćenog razdoblja rasta i povećane osjetljivosti na nepovoljne vremenske uvjete. Klimatski uvjeti značajno utječu na učinkovitost primijenjene agrotehnike na sadržaj proteina i škroba u zrnu kukuruza.

Wang i sur. (2015) navode da je za sadržaj škroba u zrnu kukuruza odgovorno nekoliko lokusa za kvantitativna svojstva (QTL) velikog učinka i određeni broj QTL-ova malog učinka. Prepoznavanjem takvih lokusa kroz molekularno oplemenjivanje poboljšalo bi se stvaranje novih hibrida sa većim sadržajem škroba u zrnu.

Srichuwong i sur. (2010) su u istraživanju koje su proveli, pokušali utvrditi kako sastav zrna kukuruza i struktura škroba utječu na enzimsku hidrolizu škroba u postupku suhe meljave kukuruza na prinos etanola. U istraživanju su koristili četiri samooplodne linije kukuruza. Autori su najveći prinos etanola utvrdili kod linije koja je imala najveći sadržaj škroba i najmanju količinu lipida i proteina. Parvej i sur. (2020) proučavali su utjecaj brzine otpuštanja vode iz zrna kukuruza nakon fiziološke zrelosti u polju na sadržaj suhe tvari kukuruza i kvalitetu zrna. Istraživanje su autori proveli na dvije lokacije u lowi tijekom dvije godine. Autori su izabrane hibride posijali u nekoliko rokova sjetve, a i berba kukuruza obavljena je u nekoliko rokova nakon fiziološke zriobe. Prema autorima, sastav zrna nije se puno mijenjao zbog odgođene žetve nakon fiziološke zrelosti jer su koncentracije proteina, ulja i škroba u zrnu bile skoro nepromijenjene između fiziološke zrelosti i rokova kada je bila berba. Isti autori dalje ističu da se kukuruz može brati bilo kada nakon fiziološke zriobe ali preporučuju da se berba obavi kada je sadržaj vlage u zrnu ispod 17 % jer je tada manje vjerojatno da će biti potrebno dodatno sušenje u skladišnim postrojenjima. Veliki broj čimbenika može utjecati na kvalitetu zrna kukuruza i proizvodnju etanola, a neki od njih vezani su za skladištenje i čuvanje kukuruza. Coradi i sur. (2016) izvještavaju kako su postupci sušenja i skladištenja ključni za kvalitetu zrna kukuruza i veći prinos etanola u industriji. Rezultati njihovog istraživanja pokazuju da je smanjeni sadržaj vode u zrnu kukuruza povećao postotak škroba i prinos etanola, a povećanje temperature zraka za sušenje smanjilo je sadržaj lipida i postotak škroba, smanjujući i prinos etanola. Nadalje, isti autori navode kako je čuvanje zrna kukuruza na temperaturi od 10 °C bilo povoljno za održavanje razine lipida, postotka škroba i prinosa etanola. Tijekom skladištenja mijenja se i prinos etanola iz uskladištenog zrna kukuruza (Ramchandran i sur., 2015). Autori su proučavali kroz duže vremensko razdoblje (jedna godina, od žetve u jednoj godini do žetve u drugoj godini), kako se mijenja prinos etanola. Uzorke zrna uzimali su u tvornicama u kojima se prerađuje kukuruz, a kao kontrola poslužili su uzorci koji su čuvani u kontroliranim uvjetima. Autori navode da su najveći prinos etanola utvrdili u siječnju, i da se prinos etanola iz uzoraka koji su uzeti iz skladišta tvornica i uzoraka iz kontroliranih uvjeta, značajno razlikovao.

### 2.4.3.1. Građa zrna kukuruza

Tvrđunci i zubani su glavni tipovi zrna kukuruza koje se trenutačno uzgajaju diljem svijeta, a njihova genetika daje veliki doprinos u većini oplemenjivačkih programa (Wit i sur., 2022). Prema istim autorima bitna razlika između ova dva tipa je sastav endosperma jer zubane karakterizira prisutnost udubljenja u kruni zrna čije je formiranje rezultat gubitka vode iz endosperma mekog škroba tijekom sazrijevanja kukuruza. U suprotnosti od zubana, tvrđunci imaju debeli, tvrdi i staklasti endosperm u vanjskom (gornjem i bočnom) sloju površine zrna (Unterseer i sur., 2016). Bez poznavanja građe zrna teško je razumjeti kemijski sastav i stvarnu hranidbenu vrijednost kukuruza. Kukuruzno zrno sastoji se od četiriju osnovnih morfoloških dijelova: endosperma, klice, omotača i drške zrna (Slika 5.).



Slika 5. Građa zrna kukuruza

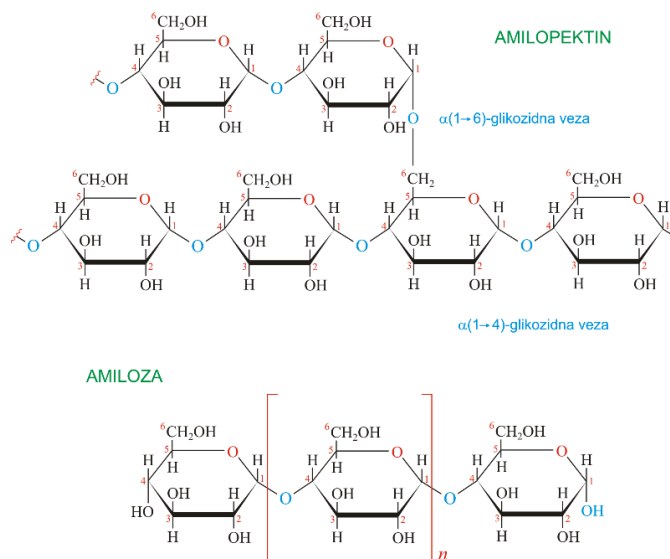
Endosperm čini 83 %, klica 11 %, omotač 5 % i drška 1 % suhe mase zrelog zrna (Grbeša, 2016). S obzirom na udio endosperma u ukupnom sastavu zrna kukuruza on predstavlja najveće skladište škroba u zrnu. Razlikujemo dva tipa endosperma koji su prema tvrdoći i kemijskom sastavu različiti, a to su: caklavi i brašnavi. Caklavi, koji se još naziva i rožnati endosperm je tvrdi i zbijen te sadrži višekutne, sitnije granule škroba.

Brašnavi endosperm je mekan i rahao te se uglavnom sastoji od škroba, karakterizira ga veći udio proteina zeina, amiloze, šećera i karotenoida (Watson, 2003). Ove njegove karakteristike najviše utječu na iskoristivost pohranjenog škroba u pogledu daljnje tehnološke prerade i hranidbene vrijednosti. Tako Gerde i sur. (2017) u svom istraživanju dolaze do zaključka kako su genotipovi tvrdog endosperma uvijek davali manje etanola od genotipova mekšeg endosperma po masi zrna, dok su veće količine dodanog dušika

povećale tvrdoću zrna i smanjile prinos etanola kod genotipova s mekim endospermom, ali nisu imale učinka na one genotipove s tvrdim endospermom. Abdala i sur. (2018) proučavajući osamnaest različitih genotipova kukuruza različite tvrdoće endosperma kroz dvije godine koji su posijani u dva različita datuma sjetve, dolaze do zaključka da je tvrdoća zrna bila snažno određena genotipom, čineći odabir genotipa važnom odlukom za postizanje visoke kvalitete zrna u bilo kojem roku sjetve. Iz njihovog istraživanja vidljivo je da se uz odgovarajuće genotipove može postići visoka kvaliteta suhe meljave i u kasnijim rokovima sjetve.

#### 2.4.3.2. Građa škroba

Škrob je polisaharid koji se sastoji od jedinica glukoze povezanih u dva polimerna lanca: amilozu i amilopektin (Slika 6.).



Slika 6. Amilopektin i amiloza (izvor: Generalić E., "škrob." Englesko-hrvatski kemijski rječnik & glosar. 29 June 2022. KTF-Split. 28 Jan. 2024. <https://glossary.periodni.com> pristup: 28.01.2024.)

Polimeri amiloze i amilopektina, lipidi, proteini i fosfor prisutni u granulama škroba imaju značajne učinke na fizikalno-kemijska svojstva i funkcionalnost škroba (Alcazar-Alay i Meireles, 2015). Amiloza je pretežno ravnolančasti polimer u kojem su glukoze jedinice povezane  $\alpha$ -D glikozidnom vezom. Postoje mjesta grananja, ali su vrlo rijetka, tako da amiloza zadržava svojstva ravnolančastog polimera i uvija se u strukturu dvostruke uzvojnice (BeMiller i Whistler, 1996). Amilopektin je veća i razgranata molekula i glavna je komponenta škroba. Građa škroba razlikuje se između hibrida te bitno djeluje na visinu i brzinu probave škroba odnosno ravnomjernost dotoka glukoze u tvorne organe, a time i na

proizvodnju životinja i iskorištenje hrane. Ova dva polimera imaju različita fizikalna svojstva, a omjer amiloze i amilopektina igra ključnu ulogu u izgledu, strukturi i kvaliteti prilikom industrijske prerade te je stoga velik napor, kroz oplemenjivanje bilja i stvaranje različitih svojstava škroba, uključen u promjenu relativnih udjela ova dva polimera (Yu i Moon, 2022). Waterschoot i sur. (2015) u svom preglednom radu zaključuju da je prilikom odabira i razvoja škrobova za posebne namjene, važno uzeti u obzir razlike između škrobova različitog botaničkog podrijetla. Prema istim autorima te razlike su u svojstvima uvelike definirane razlikama u strukturi i sadržaju amiloze i amilopektina, granularnoj organizaciji, prisutnosti lipida, proteina i minerala te veličini škrobnih zrnaca. Čimbenici građe škroba koji utječu na probavljivost su omjer caklavog i brašnavog endosperma, omjer amiloze i amilopektina, udjel ukupnih i pojedinih zeina, veličina i oblik granula (Grbeša, 2016). S obzirom da se proizvodnja etanola odvija usljed razgradnje škroba iste tvrdnje, kao hipoteze, se odnose i na proizvodnost etanola iz zrna kukuruza. Prinos etanola značajno ovisi i o međusobnom odnosu osnovnih građevnih jedinica škroba, amiloze i amilopektina. Amilopektin je razgranata molekula koja može sadržavati 40.000 ili više jedinica glukoze. Amiloza je ravni lanac od oko 1.000 jedinica glukoze (Inglett, 1970). Granule kukuruznog škroba javljaju se u dva oblika ovisno o porijeklu kukuruza (Semenčenko, 2013). Prema autorici, u brašnastim dijelovima endosperma se nalaze uglavnom okrugle granule škroba, a u staklastim granule poliedarskog oblika. Li i sur. (2022) u svom preglednom radu zaključuju kako bi se moralo uložiti više napora u stvaranje hibrida kukuruza sa većim udjelom voštanog endosperma s više kratkih razgranatih lanaca amilopektina, koji obično imaju veću probavljivost škroba i prinos etanola u odnosu na hibride sa normalnim endospermom. Iste zaključke su dobili i

To je pokazalo da je normalni kukuruz sadržavao značajan udio škroba koji se teže hidrolizirao enzimima, što je smanjilo učinkovitost pretvorbe odnosno proizvodnost etanola. Medić i sur. (2015) proučavajući dvije samooplodne linije kukuruza i utjecaj različitih rokova sjetve na karakteristike zrna kukuruza i prinos etanola zaključuju da sjetva nakon optimalnog roka u lowi daje zrna kukuruza koja sadrže škrobne granule sa smanjenom veličinom i smanjenim sadržajem amiloze, što ukazuje da granule nisu bile potpuno razvijene na kraju vegetacijske sezone. Nadalje, istraživanje istih autora je dalo rezultate da smanjeni sadržaj škroba u zrnu i izmijenjena struktura škroba kukuruza posijanog u najranijim rokovima upućuju na to da bi škrob mogao biti djelomično hidroliziran još u polju nakon sazrijevanja zrna i izloženosti vremenskim prilikama. Autori dalje zaključuju da su genetski i okolišni čimbenici na svakoj lokaciji i godini utjecali na škrob u zrnu s obzirom na rok sjetve i da uočene razlike u strukturi škroba nisu bile dovoljne velike da utječu na prinos etanola po jedinici mase zrna. Međutim, kada je prinos etanola određen na osnovi

proizvodne površine, značajno se smanjio s kasnijim datumima sjetve zbog smanjenog prinosa zrna kukuruza.

#### 2.4.4. Omjer amiloze i amilopektina

Omjer amiloze i amilopektina u škrobnim granulama predstavlja jedan od najvažnijih parametara koji značajno utiče na funkcionalna svojstva škroba (Jane i sur., 1999). Sadržaj amiloze ima vrlo važnu ulogu u enzimskoj razgradljivosti škrobnih granula. Ovi autori su proveli istraživanje na četiri inbred linije kukuruza i nakon fermentacije od 72 sata dobili najveću prinos etanola kod linije koja je imala najveći sadržaj škroba i najmanji sadržaj lipida i proteina. Sharma V. i sur. (2007) su istraživali utjecaj različitih enzima koji razgrađuju škrob. Pri tome su koristili različite podvrste kukuruza: voštani, visoko amilozni i kukuruz u tipu zubana, kako bi imali uzorke zrna s različitim omjerom amiloze i amilopektina. Autori su došli do zaključka da je najmanji prinos etanola bio u uzorcima s visokim udjelom amiloze. Zbog različite fizičke strukture i kemijskog povezivanja, amiloza i amilopektin pokazuju različita funkcionalna svojstva, posebno kada su otopljeni u vodi (Klucinec i Thompson, 2002). Omjer amiloze i amilopektina u žitaricama utječe na temperaturu želatinizacije (Bhatia, 2021). Omjer amiloze i amilopektina u škrobu ima važan učinak na karakteristike škroba kao što su: tekstura, topljivost, viskoznost, stabilnost, želatinizacija, zadržavanje vlage, retrogradacija i izdvajanje tekućine iz gela koji su glavni kriteriji odabira odgovarajućeg škroba za prehrambene proizvode (Klaohanpong i sur., 2015). Wu i suradnici (2006), istraživali su učinke sadržaja amiloze, proteina i vlakana na prinos etanola. Autori su navedene učinke procijenjivali korištenjem umjetno formuliranog medija napravljenog od komercijalnog kukuruznog škroba s različitim sadržajem amiloze, proteina kukuruza i vlakana kukuruza, kao i medija napravljenog od različitih žitarica uključujući kukuruz, sirak i pšenicu s različitim sadržajem amiloze. Rezultati iz istraživanja pokazali su da sadržaj amiloze u škrobovima ima značajan ( $P < 0,001$ ) učinak na učinkovitost pretvorbe etanola. Nije utvrđen značajan učinak sadržaja proteina na proizvodnju etanola. Niti sadržaj vlakna nije značajno utjecao na fermentaciju etanola. Učinkovitost pretvorbe povećala se kako se sadržaj amiloze smanjivao, posebno kada je sadržaj amiloze bio  $> 35\%$ . Ispitivanja fermentacije u uzorcima koji su bili sastavljeni od zrna kukuruza, sirka i pšenice s različitim sadržajem amiloze potvrdila su negativan učinak sadržaja amiloze na učinkovitost fermentacije. Sadržaj amiloze je bio u visokoj korelaciji sa fizičkim parametrima kakvoće zrna kukuruza. U istraživanju Milašinović-Šeremešić i sur. (2021) sadržaj amiloze bio je u pozitivnoj i značajnoj korelaciji s hektolitarskom masom, gustoćom i udjelom tvrdog endosperma i u negativnoj i značajnoj korelaciji s masom 1000 zrna. Na sastav škroba,

posebno omjer amiloze i amilopektina, mogu utjecati uvjeti okoline i primijenjena agrotehnika. Na primjer, čimbenici kao što su sunčevo zračenje i temperatura tijekom razdoblja nalijevanja zrna mogu značajno utjecati na omjer amiloze i škroba (Martínez i sur., 2019.).

#### 2.4.5. Sadržaj proteina

Skladišni protein kod žitarica naziva se prolamin (Fox i Manley, 2009) imenovan po visokom sadržaju prolina i glutamina. U odnosu na druge žitarice kukuruz ima relativno mali udjel prolina i glutamina. Zbog lakše identifikacije pojedinačnog skladišnog proteina kod žitarica, kod svake pojedine vrste on je drugačije nazvan. Kod kukuruza se zove zein. Obzirom da škrob i proteini čine najveći udio endosperma imaju i najveći utjecaj na njegovu tvrdoću. Iako su proteini u puno manjoj mjeri zastupljeni u endospermu u odnosu na škrob oni imaju najvažniju ulogu u krajnoj fizičkoj tvrdoći zrna.

Na kvalitetu zrna kukuruza mogu utjecati uvjeti uzgoja općenito, a posebno gustoća sklopa (Vyn i Tollenaar, 1998). Primijenjena agrotehnika utječe na prinos zrna kukuruza ali može utjecati i na fizikalna i kemijska svojstva zrna kukuruza. Ova svojstva utječu na upotrebnu vrijednost zrna kukuruza (Ahmadi i sur., 1993). Isti autori proveli su četiri poljska pokusa u kojima su pokušali utvrditi utjecaj roka sjetve i gustoće sjetve na prinos zrna, koncentraciju dušika u zrnu i tvrdoću zrna. U sva četiri pokusa povećanje gustoće sjetve rezultiralo je linearnim smanjenjem koncentracije dušika u zrnu. Cilj istraživanja kojeg su proveli Cloninger i sur. (1975) bio je istražiti utjecaj datuma žetve, gustoće sjetve, hibrida, godine i njihove interakcije na kvalitetu zrna kukuruza. Za potrebe istraživanja korištena su četiri hibrida koji su posijani u tri gustoće sklopa (40.000, 60.000 i 80.000 biljaka/ha). Datumi berbe bili su 1. listopada, 1. studenog i 1. prosinca svake godine tijekom trogodišnjeg istraživanja (1969. - 1971.). Kvaliteta zrna određena je pomoću sadržaja proteina i ulja, mase 1000 zrna, hektolitarske mase i tvrdoće zrna. Autori su utvrdili da prolongirana žetva nije utjecala na sadržaj proteina, ali se sadržaj proteina značajno smanjivao sa povećanjem gustoće sjetve za svakih 20.000 biljaka/ha. Kako navode Mason i D'croz-Mason (2002), povećanjem gustoće sklopa, smanjuje se koncentracija proteina u zrnu i pri tome navode koji čimbenici utječu na takav odnos te autore koje su pronašli u literaturi a, koji su se bavili navedenom tematikom. Čimbenici su: oplmenjivanje bilja (Kamprath i sur., 1982); gustoća sklopa (Vyn i Tollenaar, 1998; Andrade i Ferreira, 1996; Ahmadi i sur., 1993; Cloninger i sur., 1975), rok sjetve (Ahmadi i sur., 1993), navodnjavanje (Bullock i sur., 1989; Decau i Pujol, 1973; Kniep i Mason, 1991; Sabata i Mason, 1992; Mason i Sabata, 1995),



zasjenjivanje (Andrade i Ferreira, 1996), defolijacija (Remison i Omueti, 1982) i primjena regulatora rasta (Norberg i sur., 1988).

Istraživanje Wu i sur. (2006), koji su promatrali učinke sadržaja amiloze, proteina i vlakana na prinose etanola korištenjem umjetno formuliranog medija napravljenog od komercijalnog kukuruznog škroba s različitim sadržajem amiloze, proteina kukuruza i vlakana kukuruza, kao i medija napravljenog od različitih izvora žitarica, uključujući kukuruz, sirak te pšenicu s različitim sadržajem amiloze, pokazuje da sadržaj proteina u zrnu nema nikakav utjecaj na pretvorbu škroba u etanol. Na istom tragu je i istraživanje Ramchandran (2016) koja zaključuje da nije bilo povezanosti između ukupnog sadržaja proteina i razgradljivosti škroba, ali je dostupnost škrobnih zrnaca mikroorganizmima bila povezana s raspodjelom proteina. Frakcija škroba koja se brzo razgrađuje bila je pozitivno povezana s proteinima topivim u soli (globulinima), dok je sporo razgradiva frakcija škroba bila u pozitivnoj korelaciji sa sadržajem glutelina.

Nasuprot tome, naredno istraživanje Ramchandran i sur. (2017) koje su proveli na četiri hibrida kukuruza dovelo ih je do zaključka da su hibridi sa povećanim sadržajem aminokiselina lizina i triptofana ostvarili manji prinos etanola, ali kroz njihovu povećanu prisutnost u DDGS-u omogućuju ostvarivanje većeg ekonomskog prinosa kroz prodaju nusproizvoda u proizvodnji etanola.

#### 2.4.6. Utjecaj klimatskih čimbenika

Učinak klime i njenih čimbenika na prinos kukuruza tema je mnogih istraživanja. Umanjenje negativnih učinaka, te maksimalno korištenje svih pozitivnih klimatskih učinaka na prinos kukuruza kontinuirano je nastojanje svih znanstvenika s ciljem poboljšanja poljoprivredne tehnologije i strategije upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom općenito. U svom preglednom radu Waqas i sur. (2021) sažimaju svoje zaključke kako klimatske promjene mogu smanjiti globalnu produktivnost i kvalitetu zrna kukuruza. Autori dalje navode kako usjev kukuruza zahtijeva optimalnu temperaturu za bolju produktivnost a da temperature koje su niže od optimalnih u bilo kojoj kritičnoj fazi tijekom duljeg trajanja mogu negativno utjecati na procese rasta i stvaranja prinosa, te da stres kojeg uzrokuju visoke temperature ograničava sposobnost polena i svile za oplodnju što dovodi do značajnog smanjenja zametanja sjemena i prinosa zrna. Također, prema istim autorima, ozbiljne promjene u fazama rasta i razvoja, fotosintezi, nakupljanju suhe tvari, staničnim membranama i aktivnosti antioksidativnih enzima pri niskim temperaturama zajedno ograničavaju produktivnost kukuruza. Hu i Buyanovsky (2003) ističu da su najvažniji rezultati pokazali da

se učinak klime na prinos kukuruza može objasniti samo unutarsezonskim varijacijama u količini oborina i temperaturi i da se njihovo razlikovanje ne može raditi na osnovu prosječnih klimatskih uvjeta tijekom vegetacijske sezone. Ortez i sur. (2023) ističu da razdoblja visokog deficita topline i vode, kao i ograničena dostupnost svjetla predstavljaju izazov za sposobnost maksimiziranja prinosa kukuruza. Isti autori, ističu i da vremenski obrasci koji utječu na akumulaciju toplinskih jedinica tijekom sezone također mogu utjecati na prinos zrna i brzinu sazrijevanja te uzrokovati izazove za predviđanje odvijanja fenoloških faza razvoja usjeva. S obzirom da je za proizvodnju etanola iz zrna kukuruza najbitniji škrob, proučavajući utjecaj klimatskih čimbenika na pet različitih hibrida kukuruza kroz razdoblje od četiri godine Wang i sur. (2023) dolaze do zaključka da su prosječna temperatura prije metličanja, prosječna najviša dnevna temperatura prije metličanja i temperaturne razlike prije metličanja, kao i ukupni broj sunčanih sati nakon metličanja, relativna vlažnost nakon metličanja i akumulirana temperatura nakon metličanja, imali snažne učinke na ukupni sadržaj škroba u zrnu. Održiva proizvodnja kukuruza u promjenjivim klimatskim uvjetima, posebice uvjetima toplinskog i vodenog stresa, jedan je od ključnih izazova s kojima se treba odmah pozabaviti (Yousaf i sur., 2023). Ovi autori su proveli istraživanje koje je bilo osmišljeno za procjenu utjecaja nedostatka vode na morfofiziološke, biokemijske, ROS, antioksidacijsku aktivnost i svojstva kvalitete zrna u različitim fazama rasta biljaka kod hibrida kukuruza uz primjenu četiri tretmana stresa: Kontrola, 3-tjedni stres nedostatka vode u fazi prije cvatnje, 3-tjedni stres nedostatka vode u fazi cvatnje i 3-tjedni stres nedostatka vode u fazi nalijevanja zrna, odnosno fazi nakon cvatnje. Stres nedostatka vode utjecao je na sva tri proučavana stadija rasta, pri čemu je stadij prije cvatnje bio najosjetljiviji, dok je stadij nakon cvatnje najmanje pogođen stresom od suše. Butts-Wilmsmeyer i sur. (2019) u svom višegodišnjem istraživanju došli su do zaključaka da je općenito ostvaren veći prinos u uvjetima uzgoja gdje je bilo dostupno dovoljno vlage tijekom cvatnje i nalijevanja. Isti autori su također utvrdili da previše oborina u ranoj fazi vegetacije smanjuje prinos, vjerojatno zbog gubitka dušika iz tla. Ge i sur. (2022) u svom istraživanju koje su proveli u tri različite sezone uzgoja kukuruza zaključuju da su razlike u prinosu zrna u istraživanim sezonama rezultat utjecaja okoline tj. vremenskih uvijeta koji su u njima vladali. Rezultati njihovog istraživanja pokazali su da su suma aktivnih temperatura, srednja dnevna temperatura i sunčevo zračenje značajno negativno utjecali na linearno razdoblje punjenja zrna, što je dovelo do toga da je težina zrna (izmjerena masa 50 uzorkovanih zrna kukuruza) ostvarena u ljetnoj sezoni bila najniža, a ona u jesenskoj sezoni najveća. Iz istog razloga, dok su se sume aktivnih temperatura, temperaturni stres, srednja dnevna temperatura i sunčevo zračenje povećavali prinos zrna se linearno smanjivao. Minimalna temperatura tijekom efektivnog razdoblja punjenja zrna bila je okolišni čimbenik koji najbolje objašnjava varijacije nastale u sastavu škroba (Martíneza i sur., 2017).

Rezultati istraživanja ovih autora mogu pomoći u razumijevanju varijabli koje utječu na sadržaj i sastav škroba za uzgoj kukuruza u različitim toplinskim režimima. Štoviše, odabir pravilne kombinacije hibrida i proizvodne prakse, uz uzimanje u obzir meteoroloških uvjeta tijekom nalijevanja zrna, omogućit će dobivanje zrna sa željenim sastavom škroba.

Oborine su još jedan važan klimatski čimbenik koji utječe na prinos usjeva (Chen i sur., 2013; Almaraz i sur., 2008, citirano prema Ge i sur., 2022). Stres uzrokovan nedostatkom vode ubrzao je starenje lišća i smanjio fotosintetski transport elektrona fotosustava II i fotosintetski kapacitet lišća (Liu i sur., 2022; Zhou i sur., 2019, citirano prema Ge i sur., 2022) te skratio duljinu nalijevanja zrna što je rezultiralo smanjenjem mase zrna (Li i sur., 2022; Wossen i sur., 2017; citirano prema Ge i sur., 2022). Promjena učestalosti ili raspodjele oborina tijekom vegetacijske sezone može jako utjecati na prinos usjeva (Morton i sur., 2015). Vrijeme kada je nastupio nedostatak vode također se koristi za provjeru odnosa između prinosa zrna i komponenti prinosa. Eck (1986) je otkrio da nedostatak vode tijekom vegetativnog rasta smanjuje broj zrna na klipu, ali ima mali učinak na težinu zrna. Nedostatak vode tijekom punjenja zrna imao je mali utjecaj na broj nastalih zrna, ali je uzrokovao smanjenje mase zrna (Eck, 1986; Grant i sur., 1989).

Beckles i Thitisaksakul (2014) u preglednom radu koji je za cilj imao ispitati kako se funkcionalna svojstva škroba mijenjaju kada se biljke nađu u okolišu s parametrima izvan normalnog raspona, zaključuju da stresna okruženja mogu utjecati na biosintezu škroba u endospermu žitarica. Prema istim autorima, ovo je važno, jer dok proizvođači i prerađivači zahtijevaju stabilnost prinosa žitarica i ujednačenost proizvoda, to istovremeno predstavlja izazov u eri promjenjivih vremenskih obrazaca jer biti u mogućnost predvidjeti rezultat ponašanje škroba žitarica u smislu fizikalno-kemijskih osobina u datim uvjetima uzgoja je korak prema "preciznoj" poljoprivredi (eng. precise agriculture) potrebnoj za 21. stoljeće. Autori također navode da se pokazalo da varijacije u vlažnosti tla i dostupnosti hranjivih tvari, temperaturi okoline i sastavu atmosfere utječu na funkcionalnost škroba, a da su povišene temperature dovele da je sadržaj amiloze u zrnu žitarica bio najosjetljiviji parametar u različitim uvjetima okoliša pri čemu se čini da genotipska varijacija ima primarni doprinos u reakciji škroba žitarica na okolišni stres. Temperatura je važan čimbenik okoliša koji utječe na prinos kukuruza i kvalitetu škroba. Tijekom rasta i razvoja kukuruza, visoka temperatura (32 °C ili viša) primarni je uzrok odumiranja zrna, skraćivanja trajanja nalijevanja zrna i blokiranja depozicije škroba, što kasnije dovodi do smanjenja prinosa zrna, osobito u tropskim i umjerenim zonama (Barnabas et al. 2008). Visoka temperatura tijekom nalijevanja zrna također mijenja kvalitetu zrna žitarica. Općenito, toplinski stres smanjuje sadržaj škroba u zrnu, povećava sadržaj proteina, povećava veličinu škrobnih granula i povećava udio dugih lanaca u amilopektinu, što rezultira pogoršanjem viskoznosti

tijesta (Tester i Karkalas 2001.; Wang i Frei 2011.; Thitisaksakul i sur., 2012.). Hu i sur. (2020) navode da je tijekom nalijevanja zrna, vremenski termin u kojem dolazi do vršnog nakupljanja škroba malo varirao kod različitih inbred linija. Također, kako dalje navode autori sadržaj škroba u endospermu koji je u razvoju brzo se povećao nakon 10 DAP i dosegao maksimalnu stopu nakupljanja između 13 i 15 DAP (days after pollination – dana nakon polinacije odnosno od početka rasipanja polena).

## 3. MATERIJAL I METODE RADA

### 3.1. Poljska i laboratorijska istraživanja

#### 3.1.1. Istraživani hibridi

U poljskim pokusima posijano je ukupno šest hibrida kukuruza koji pripadaju FAO grupama zriobe 300 i 500. Navedeni hibridi su: Bc 344 (slika 7.) i Bc 532 (slika 8.) iz programa oplemenjivanja Bc Instituta za oplemenjivanje i selekciju bilja d.d., Os 378 (slika 9.) i Osk 515 (slika 10.) iz programa oplemenjivanja Poljoprivrednog Instituta iz Osijeka te PR37Y12 (slika 11.) i PR35F38 (slika 12.) koji pripadaju tvrtki Corteva Agriscience Croatia d.o.o. (prije Pioneer Sjeme d.o.o.). Hibridi iz programa oplemenjivanja Bc Instituta i Poljoprivrednog instituta iz Osijeka izabrani su kao visokoprinosni hibridi u svojim grupama zriobe, a hibridi tvrtke Corteva Agriscience Croatia d.o.o. kao deklarirani "HTF" (High Total Fermentable) hibridi za namjensku proizvodnju kukuruza za proizvodnju etanola (Pioneer® Brand HTF Ethanol Hybrids for Iowa, 2008). Svi hibridi stvoreni su bez primjene biotehnologije i klasificirani su kao visokoprinosni hibridi kukuruza, a njihove osnovne značajke prikazane su u Tablici 1.



#### **Bc 344**

Pripada grupi kvalitetnih zubana i prilagođen je za sve uvjete uzgoja (Bc institut, 2017). Odlikuje ga odlična kombinacija svih gospodarskih svojstava, te visok i stabilan urod. Posjeduje nisku i čvrstu stabljiku, te veliki klip koji je nisko nasađen. Zrno mu je krupno, crvenkaste boje. Po zrelosti pripada u FAO grupu 340. Namijenjen je ranijoj sjetvi ali se može koristiti i u kasnijim rokovima sjetve. Preporuča se uzgoj u sklopu od 79.000 biljaka/ha.

Slika 7. Hibrid Bc 344 (izvor: <https://bc-institut.hr/en/maize/bc-344/>)



### **Bc 532**

Pripada grupi tipa zrna zubana i odlikuju ga čvrsta stabljika i rekordni urodi u grupi (Bc institut, 2017a). Ima veliki, dobro završeni klip koji je nisko nasađen. Zrno mu je krupno i žute boje, te ga karakterizira brzo otpuštanje vlage u zriobi. Pripada FAO grupi zrenja 520 i preporuča se uzgoj u sklopu od 68.000 biljaka/ha.

Slika 8. Hibrid Bc 532 (izvor: <https://bc-institut.hr/kukuruz/bc-532/>)

### **Os 378**

Hibrid koji je po tipu zrna zuban i pripada u FAO grupu 350 (Poljoprivredni Institut Osijek, 2022). Namijenjen je za proizvodnju suhog zrna. Dobre je adaptabilnosti i odlikuje ga visoka klijavost i energija klijanja, te brz i ujednačen početni porast. Ima nisku i čvrstu stabljiku izrazite otpornosti na polijeganje. Klip mu je kraći, cilindričnog oblika, srednje visoko položen i čvrsto nasađen uz stabljiku. Preporuča se za uzgoj u sklopovima od 75.000 do 79.000 biljaka/ha.



Slika 9. Hibrid Os 378 (izvor:

[https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/04/POLJINOS\\_Katalog-proljeeee\\_2022.pdf](https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/04/POLJINOS_Katalog-proljeeee_2022.pdf))



### **Osk 515**

Hibrid iz grupe zubana (Poljoprivredni institut Osijek, 2018). Karakterizira ga izraženi vigor sjemena i može se uzgajati za proizvodnju zrna ali i silaže. Stabljika mu je višeg rasta i ima krupne i brojne listove. Otporan je na polijeganje i ima razgranati korijen. Klip mu je srednje krupan i cilindričan, visoko nasađen. Zrno u zriobi vrlo brzo otpušta vlagu. Pripada FAO grupi 520 i preporuča se uzgoj u sklopovima od 68.000 do 71.000 biljaka/ha.

Slika 10. Hibrid Osk 515 (izvor:

<https://www.poljinoh.hr/wp-content/uploads/2022/06/PIOOZK2018.pdf>)



### **PR37Y12**

Pripada FAO grupi 350 i po tipu zrna je zuban (Pioneer, 2018). Odlično podnosi laganija tla, a pri sjetvi na dobrim tlima može ga se sijati u gušćem sklopu. Ima odlične agronomske karakteristike, posebice otpornost na sušu te čvrstu stabljiku i korijen. Karakteriziraju ga vrlo brzo otpuštanje vlage iz zrna i visoki prinosi. Preporuča se uzgoj u sklopovima od 65.000 do 70.000 biljaka/ha.

Slika 11. Hibrid PR37Y12 (izvor:

[https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia\\_Intl/Main\\_Page/Katalog\\_2018.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia_Intl/Main_Page/Katalog_2018.pdf))



### PR35F38

Hibrid odlične adaptabilnosti, po tipu zrna zuban i pripada FAO grupi 510 (Pioneer, 2018). Odlično podnosi sušu i u godinama kada drugi hibridi podbace zbog suše, on odskoči. Stabljika mu je srednje visine i vrlo čvrsta s nižim položajem klipa koji je krupan. Preporuča se uzgoj u sklopovima od 60.000 do 65.000 biljka/ha.

Slika 12. Hibrid PR35F38 (izvor:

[https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia\\_Intl/Main\\_Page/Katalog\\_2018.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia_Intl/Main_Page/Katalog_2018.pdf))

Tablica 1. Osnovne značajke ispitivanih hibrida

hibrid	FAO grupa	tip zrna	preporučeni sklop biljaka/ha
Bc 344	340	zuban	79.000
Bc 532	520	zuban	68.000
Os 378	350	zuban	75.000 - 79.000
Ossk 515	520	zuban	68.000 - 71.000
PR37Y12	350	zuban	65.000 - 70.000
PR35F38	510	zuban	60.000 - 65.000



### 3.1.2. Poljski pokusi

Poljski pokusi provedeni su tijekom dvije vegetacijske sezone i na tri lokacije (Slika 13.). Izabrane lokacije na kojima se provelo istraživanje (Kneževo, Osijek/Brijest i Šašincev) međusobno se razlikuju u pedološkim i klimatskim svojstvima.



Slika 13. Karta Hrvatske sa lokacijama na kojima su provedeni poljski pokusi

(Podloga preuzeta s:

[https://colab.research.google.com/drive/1UfPHyLo2\\_hXupnj7fj3cW2uYDvG2r2px](https://colab.research.google.com/drive/1UfPHyLo2_hXupnj7fj3cW2uYDvG2r2px))

#### 3.1.2.1. Kneževo (45°50'N, 18°38'E)

Na ovoj lokaciji tip tla je černozem karbonatni na lesu (Škorić, 1986) i označava se kao naše najkvalitetnije tlo, kao tlo visoke aktualne plodnosti, s vrlo povoljnim fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima (Jug i sur., 2005). U obje vegetacijske sezone predkultura kukuruza bila je šećerna repa. U pokusima su se izabrani hibridi kukuruza u obje godine uzgajali u uvjetima intenzivne proizvodnje (Svečnjak i sur., 2004). U obje godine je u jesen prije sjetve bilo provedeno duboko zimsko oranje na dubinu od 35 cm. U proljetnoj predsjetvenoj pripremi tla korišteni su drljača i sjetvospremač. Količina dodanih makroelemenata (N, P, K) odredila se na osnovi analize tla i uobičajene proizvodne prakse, te je iznosila za dušik

200 kg/ha, fosfor 108 kg/ha, te za kalij 178 kg/ha. Makroelementi su bili dodani tijekom osnovne i predsjetvene pripreme tla. Primjena herbicida bila je prije i nakon nicanja.

### 3.1.2.2. Osijek/Brijest (45°31'N, 18°40'E)

Poljski pokusi bili su postavljeni na semiglejnom tlu lesiviranom na praporu (Vidaček i sur., 1997). Predkultura u obje vegetacije bila je pšenica. U pokusima su se izabrani hibridi kukuruza uzgajali u uvjetima intenzivne proizvodnje (Svečnjak i sur., 2004). U jesen prije sjetve bilo je provedeno duboko zimsko oranje na dubinu od 35 cm. U proljetnoj predsjetvenoj pripremi tla korišten je sjetvospremač. Količina dodanih makroelemenata (N, P, K) odredila se na osnovi analize tla i uobičajene proizvodne prakse, te je iznosila za dušik 123 kg/ha, fosfor 80 kg/ha, te za kalij 120 kg/ha. Makroelementi su bili dodani tijekom osnovne i predsjetvene pripreme tla, a dušik dodatno kroz jednu prihranu u sklopu kultivacije. Primjena herbicida bila je prije i nakon nicanja.

### 3.1.2.3. Šašincevec (45°51'N, 16°10'E)

Ovo područje pripada Zapadnoj panonskoj regiji (Bašić, 2014.) Tip tla na kojem su bili postavljeni poljski pokusi klasificirano je kao fluvisol i karakterizira ga praškasto glinasto ilovasta tekstura (Husnjak, 2014). Predkultura u obje godine bio je jari ječam. U pokusima su se izabrani hibridi kukuruza uzgajali u uvjetima intenzivne proizvodnje (Svečnjak i sur., 2004). U jesen prije sjetve bilo je provedeno duboko zimsko oranje na dubinu od 25 do 30 cm. U proljetnoj predsjetvenoj pripremi tla korištena je rotodrljača. Količina dodanih makroelemenata (N, P, K) odredila se na osnovi analize tla i uobičajene proizvodne prakse, te je iznosila za dušik 161 kg/ha, fosfor 100 kg/ha, te za kalij 150 kg/ha. Makroelementi su bili dodani tijekom osnovne i predsjetvene pripreme tla, a dušik dodatno kroz dvije prihrane u sklopu kultivacije. Primjena herbicida bila je prije i nakon nicanja.

Na svim lokacijama bio je postavljen istovjetan dvofaktorski pokus u četiri ponavljanja. Glavni faktor u pokusu je gustoća sklopa, a podfaktor je hibrid. Poljski pokusi su posijani na svakoj lokaciji zasebno, a svi članovi pokusa na pojedinoj lokaciji bili su posijani isti dan (isti datum). Ciljane gustoće sklopa bile su: 60.000, 70.000 i 80.000 biljaka/ha. Sjetva se za svaki sklop obavila sa 20 % više sjemena, a zatim se nakon nicanja, u fazi 3 razvijena lista, obavilo ručno prorjeđivanje na zadani sklop. Osnovna parcela sastojala se od četiri reda kukuruza (razmak između redova je 0,7 m) dužine 8 metara, dok se obračunska parcelica

sastojala samo od dva srednja reda dužine 8 metara. Sjetva se obavila četverorednom pneumatskom sijačicom Wintersteiger "TC 2700" (slika 14.).



Slika 14. Sijačica Wintersteiger "TC 2700" u sjetvi

U tijeku vegetacije na lokacijama Osijek i Šašincev evidencirali su se podaci o vremenu cvatnje (metličanje i svljanje – kada se na 50 % i više biljaka pojavilo prašenje metlice odnosno svila na vrhu klipa), a nakon završene cvatnje i ukupna visina biljaka do vrha metlice i visina do baze klipova. Nakon cvatnje, a prije berbe pokusa na svim lokacijama na obračunskim parcelicama zabilježen je: ukupan broj biljaka, broj biljaka sa simptomima napada bolesti Mjehuraste snijeti kukuruza (*Ustilago maydis*), broj jalovih biljaka, broj slomljenih biljaka ispod klipa, te broj pleglih biljaka. Broj slomljenih biljaka ispod klipa poslužio nam je za procjenu otpornosti hibrida na napad kukuruznog moljca i njegov utjecaj na gubitke prinosa u berbi, a broj pleglih biljaka nam je koristio za procjenu otpornosti hibrida na *Fusarium spp.*

Berba pokusa obavila se u fazi fiziološke zriobe (pojava crnog sloja na više od 50 % klipova). Fiziološka zrioba različito je definirana kod pojedinih autora. Daynard (1972) je određuje kao trenutak kada 50% zrna ima crni sloj. Jukić (2004) u svom istraživanju definira fiziološku zrelost kao stadij kada 60% zrna ima crni sloj. Iz rubnih redova parcelice (u dva ponavljanja) na 5 nasumično ubranih klipova iz FAO grupe 500 provjeravala se pojava crnog sloja u srednjem dijelu klipa. Berba zrna na obračunskim parcelicama obavila se

pomoću dvorednog kombajna Wintersteiger "Nurserymaster Elite" koji je specijaliziran za mikropokuse (slika 15.).

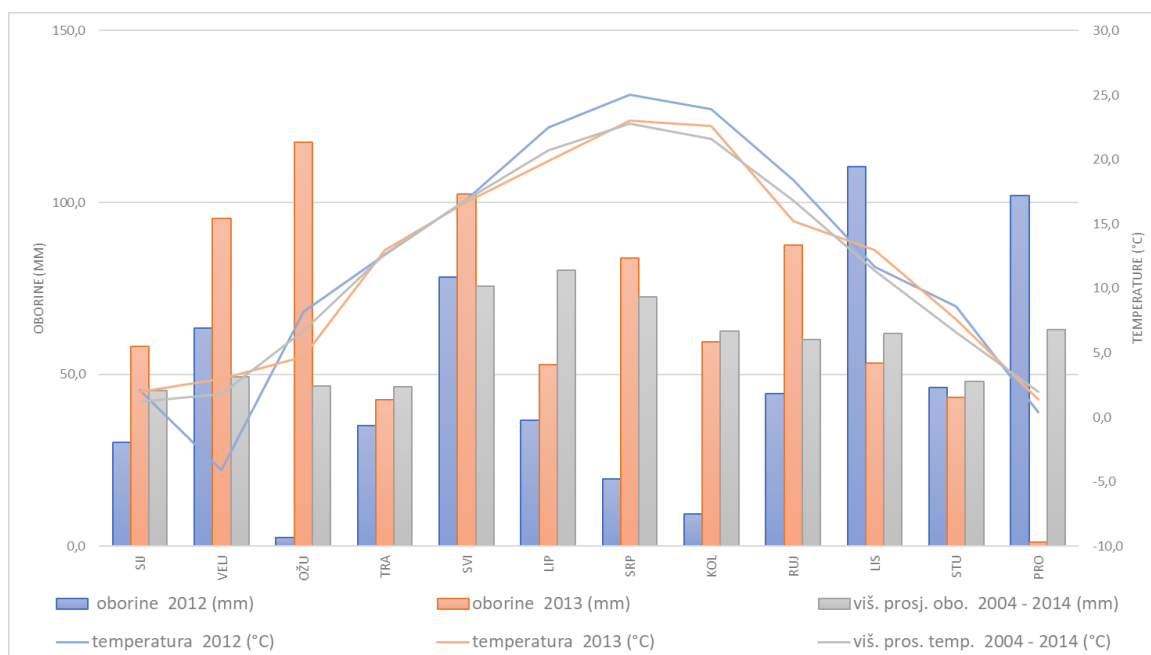


Slika 15. Kombajn Wintersteiger "Nurserymaster Elite" u berbi

U berbi se odredio prinos zrna i sadržaj vode, a uzela se i određena količina zrna za daljnje (laboratorijske) analize (5 kg). Dobiveni prinosi preračunati su na 14 % vode.

### 3.1.3. Vremenske prilike

#### 3.1.3.1. Kneževo

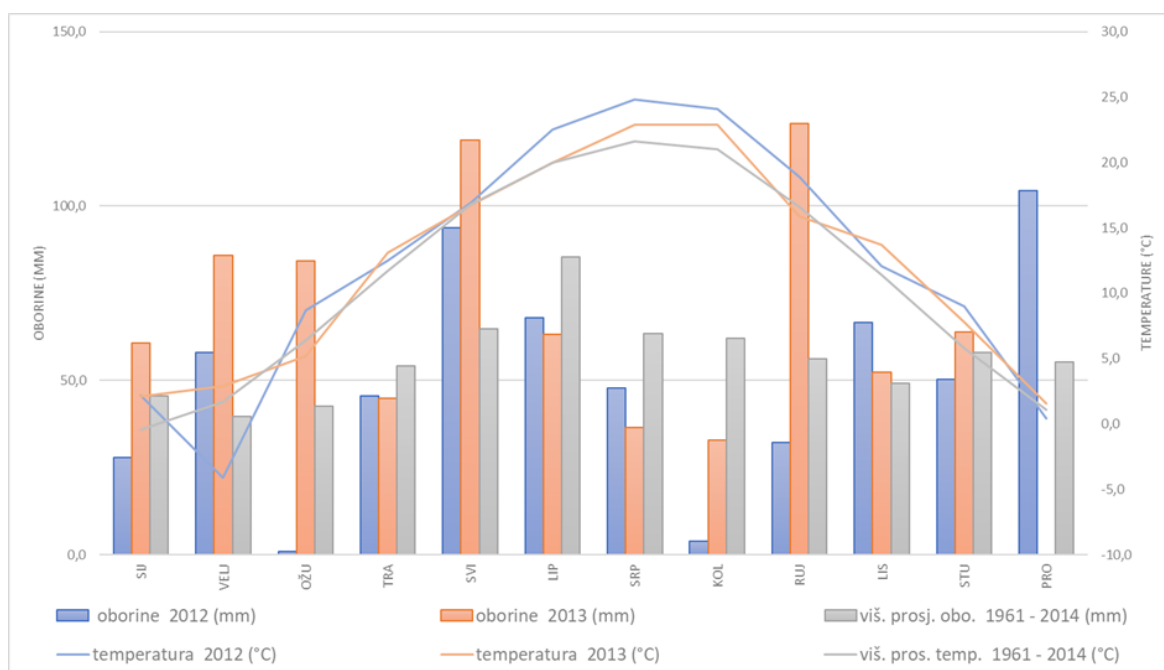


Grafikon 3. Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Kneževo, te višegodišnji prosjeci

Prema dostupnim meteorološkim podacima u obje godine suma srednjih mjesečnih temperatura u mjesecima vegetacije kukuruza su bile iznad višegodišnjeg prosjeka (Grafikon 3). U 2012. godini ostvarena je značajno veća razlika u sumi srednjih mjesečnih temperatura u odnosu na višegodišnji prosjek nego u 2013. godini. U 2012. godini jedino je u travnju zabilježena manja srednja mjesečna temperatura u odnosu na višegodišnji prosjek i to za 0,1 °C. U svibnju je ona bila jednaka višegodišnjem prosjeku, dok je u ostalim mjesecima bila viša i to u: lipnju za 1,8 °C, srpnju 2,2 °C, kolovozu 2,3 °C, rujnu za 1,6 °C, te u listopadu 0,3 °C. Temperaturna kretanja u istom razdoblju 2013. godine u usporedbi s višegodišnjim prosjekom bila su fluktuabilna, pa su tako u travnju, srpnju, kolovozu i listopadu zabilježene veće srednje mjesečne temperature i to za: 0,3 °C u travnju, 0,2 °C u srpnju, 1,0 °C u kolovozu i 1,6 °C u listopadu. U istoj godini su niže srednje mjesečne temperature u odnosu na višegodišnji prosjek zabilježene u svibnju za 0,2 °C, lipnju za 0,8 °C i rujnu za 1,6 °C. Tijekom 2012. godine palo je 124,4 mm manje oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, dok je naredne godine u odnosu na višegodišnji prosjek palo 94,8 mm više oborina. Sagledavajući oborine samo u mjesecima vegetacije kukuruza vidljivo je da je u 2012. godini bilo čak 125,7 mm manje oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, a u 2013. godini u promatranom periodu 22,5 mm više oborina od višegodišnjeg prosjeka. Najmanje kiše je u 2012. godini palo u kolovozu, tek 9,4 mm što je manjak od 53,1 mm u odnosu na

višegodišnji prosjek. Deficiti oborina u odnosu na višegodišnji prosjek ostvareni su u travnju, i to za 11,4 mm, u lipnju za 43,7 mm, u srpnju za 53 mm i u rujnu za 15,8 mm. Jedino je u svibnju i u listopadu palo više oborina u odnosu na višegodišnji prosjek i to u svibnju za 2,6 mm, a u listopadu 48,7 mm. U 2013. godini palo je značajno više oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, pa su i mjesečni deficiti bili manji i to u travnju za 3,9 mm, lipnju za 27,5 mm, kolovozu za 3,0 mm i u listopadu za 8,5 mm. Iste godine u odnosu na višegodišnji prosjek više oborina bilo je u svibnju za 26,7 mm, u srpnju za 11,4 mm i u rujnu za 27,3 mm.

### 3.1.3.2. Osijek/Brijest

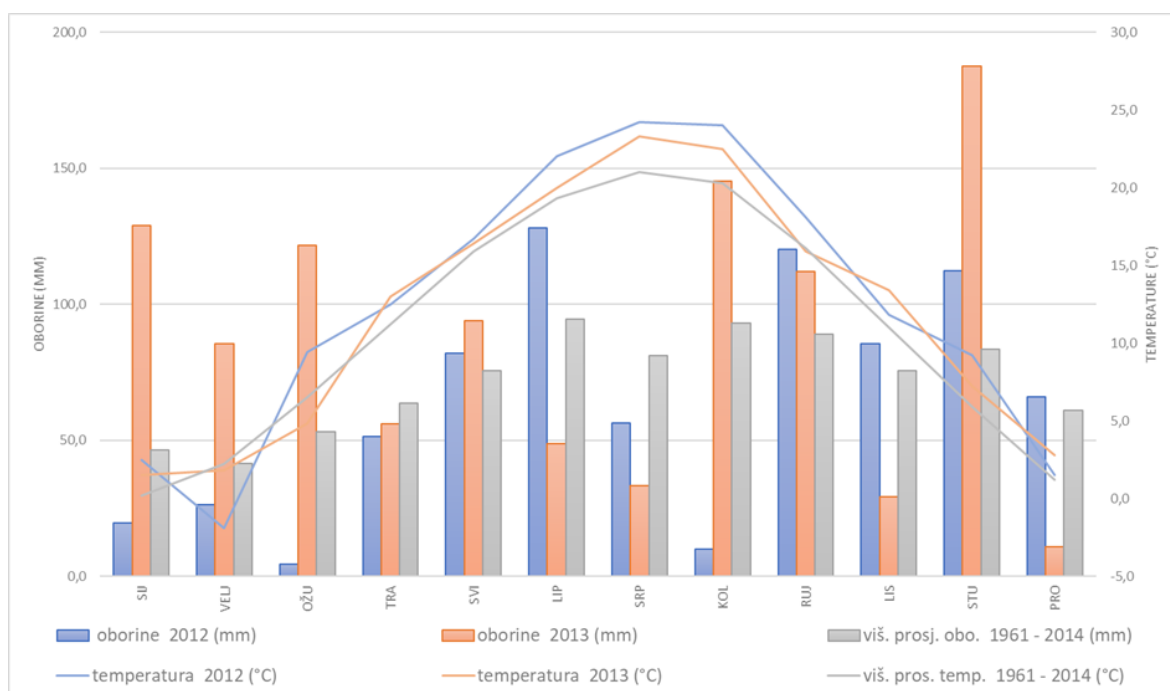


Grafikon 4. Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Osijek, te višegodišnji prosjeci

U obje godine srednje mjesečne temperature zraka su tijekom vegetacijske sezone, od travnja do listopada, bile iznad višegodišnjeg prosjeka (Grafikon 4.). Razlika u odnosu na višegodišnji prosjek bila je veća u 2012. u odnosu na 2013. godinu. Tijekom 2012. godine srednje mjesečne temperature su u svim mjesecima vegetacije bile više od višegodišnjeg prosjeka i to u: travnju za 0,8 °C, svibnju za 0,1 °C, lipnju za 2,5 °C, srpnju 3,2 °C, kolovozu 3,1 °C, rujnu 2,3 °C, te u listopadu za 0,7 °C. U istom periodu u 2013. godini samo su u svibnju i rujnu izmjerene srednje temperature ispod višegodišnjeg prosjeka i to za 0,1 °C u svibnju i 0,7 °C u rujnu. U lipnju je srednja mjesečna temperatura bila na razini višegodišnjeg prosjeka, a u ostalim je mjesecima izmjerena iznadprosječna temperatura i to u travnju za

1,4 °C, srpnju 1,3 °C, kolovozu 1,9 °C, te u listopadu 2,3 °C. U odnosu na višegodišnji prosjek u 2012. godini palo je manje oborina i to za 77 mm dok je u 2013. godini palo 91,1 mm više oborina od višegodišnjeg prosjeka. Uzimajući u obzir samo vegetaciju u 2012. godini bilo je 77,3 mm manje oborina, a u 2013. godini 37,6 mm više oborina od višegodišnjeg prosjeka. U 2012. godini, koja je bila s manje oborina u odnosu na 2013. godinu, najmanje kiše palo je u kolovozu, svega 4 mm, što je 58,1 mm manje od višegodišnjeg prosjeka. Travanj, lipanj, srpanj i ruj u 2012. godini također su imali manje oborina od višegodišnjeg prosjeka i to za ukupno 65,5 mm. Samo je u svibnju i listopadu bilo više oborina od višegodišnjeg prosjeka, i to u svibnju za 28,9 mm, a u listopadu za 17,4 mm. U 2013. godini ukupna količina oborina i njen raspored bio je puno povoljniji u odnosu na 2012. godinu. Manje oborina u odnosu na višegodišnji prosjek ostvareno je u travnju, i to za 9,3 mm, u lipnju za 21,7 mm, u srpnju za 26,9 mm i u kolovozu za 29,2 mm. Suficit oborina ostvaren je u svibnju, i to od 54,2 mm, u rujnu 67,6 mm i u listopadu 3,2 mm.

### 3.1.3.3. Šašinovec



Grafikon 5. Srednje mjesečne temperature zraka i količina oborina na lokaciji Šašinovec u 2012. i 2013. godini, te višegodišnji prosjeci

Na lokaciji Šašinovec u obje godine srednje mjesečne temperature zraka su tijekom vegetacijske sezone, od travnja do listopada, bile iznad višegodišnjeg prosjeka (Grafikon 5.). Razlika u odnosu na višegodišnji prosjek bila je također veća u 2012. u odnosu na 2013.

godinu. Tijekom 2012. godine srednje mjesečne temperature su u svim mjesecima vegetacije bile više od višegodišnjeg prosjeka i to u: travnju za 1,3 °C, svibnju za 0,8 °C, lipnju za 2,7 °C, srpnju 3,2 °C, kolovozu 3,7 °C, rujnu 2,0 °C, te u listopadu za 0,8 °C. U istom periodu u 2013. godini samo je u rujnu izmjerena srednja mjesečna temperatura ispod višegodišnjeg prosjeka i to za 0,2 °C. U travnju je ona bila viša od višegodišnjeg prosjeka za 1,8 °C, u svibnju za 0,5, lipnju za 0,7 °C, srpnju 2,3 °C, kolovozu 2,2 °C, te u listopadu 2,4 °C. Ukupna količina oborina u 2012. godini iznosila je 761,1 mm što je u odnosu na višegodišnji prosjek manje i to za 97,1 mm dok je u 2013. godini palo čak 194,5 mm više oborina od višegodišnjeg prosjeka. Gledajući samo vegetaciju i u 2012. godini i u 2013. godini bilo je manje oborina od višegodišnjeg prosjeka, i to u 2012. godini 40,1 mm, a u 2013. godini 54,2 mm. U 2012. godini, koja je bila s više oborina u odnosu na 2013. godinu, najmanje kiše palo je u kolovozu, svega 9,8 mm, što je čak 83,3 mm manje od višegodišnjeg prosjeka. Travanj i srpanj u 2012. godini također su imali manje oborina od višegodišnjeg prosjeka. U travnju je palo 12,4 mm, a u srpnju 24,8 mm manje oborina od višegodišnjeg prosjeka. U ostalim mjesecima u toku vegetacije palo je više oborina od višegodišnjeg prosjeka i to u: svibnju 6,3 mm, lipnju 33,3 mm, rujnu 31 mm i u listopadu 9,8 mm. Iako je u 2013. godini bilo znatno više oborina u odnosu na višegodišnji prosjek, uspoređujući samo period vegetacije od travnja do listopada uočava se veći deficit u odnosu na višegodišnji prosjek nego u 2012. godini. Manje oborina u odnosu na višegodišnji prosjek ostvareno je u travnju, i to za 7,6 mm, u lipnju za 45,9 mm, u srpnju za 47,9 mm, i u listopadu za 46,3 mm. Više oborina palo je u svibnju, i to za 18,5 mm, u kolovozu 52,1 mm i u rujnu za 22,9 mm.



### 3.1.4. Laboratorijske analize

Analiza uzoraka zrna kukuruza koji su uzeti u berbi, provedena je u Agrokemijskom laboratoriju Poljoprivrednog instituta u Osijeku, te u laboratoriju za analizu tla, biljke i gnojiva, Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek. Prije analiza uz pomoć uređaja za redukciju uzoraka pripremili su se radni uzorci iz kojih su se radile analize. Veličina radnih uzoraka ovisila je o vrsti i postupku provođenja analiza.

#### 3.1.4.1. Priprema uzoraka

U Laboratoriju za ispitivanje sjemena Hrvatskog centra za poljoprivredu, hranu i selo - Zavoda za sjemenarstvo i rasadničarstvo (danas Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu – Centar za sjemenarstvo i rasadničarstvo) odradila se priprema uzoraka. Uzorci zrna iz kojih je rađena analiza pripremljeni su razdjeljivačem uzoraka: "Model 5" (Rationel Kornservice A/s, Esbjerg, Danska). Priprema uzoraka (slika 16.) uključivala je i sušenje u pećnici za sušenje "NI00CF" (ELE International, Leighton Buzzard, UK) na 130 °C do konstantne težine i mljevenje na mlinu čekićaru "Cemotec 1090" (Foss A/s, Hillerød, Danska), uz sita promjera 3 mm (slika 17.).



Slika 16. Priprema uzoraka za sušenje



Slika 17. Mlin čekićar "Cemotec 1090"

### 3.1.4.2. Fermentacija i određivanje etanola

Samljeveni uzorci čija je prosječna težina bila 25 g su u Laboratoriju za analizu tla, biljke i gnojiva, Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek poslužili za određivanja prinosa etanola. Samljeveni uzorci su se homogenizirali i 25 g uzorka stavilo se u 125 mL Erlenmeyer tikvice. U tikvice se dodalo 75 ml destilirane vode. pH suspenzije podesila se na 6,0-6,5 s razrijeđenom otopinom NaOH. U suspenziju dodao se alikvot  $\alpha$ -amilaze (Termamyl, SC DS, Novozymes, Denmark), 27  $\mu$ l/tikvici (108  $\mu$ l/100 g kukuruza) digitalnom pipetom. Tikvice sa suspenzijom kukuruza i  $\alpha$ -amilazom stavile su se u vodenu kupelj na 90 °C te držale 60 min nakon postizanja željene temperature. Kako bi se izbjeglo zgrudnjavanje suspenzije tikvice su se snažno treskale tijekom prvih 5 minuta i zatim svakih 20 minuta. Nakon 60 min, tikvice su se izvadile i ohladile na 40 °C te se dodavanjem 325  $\mu$ l koncentrirane otopine HCl (20 % v/v) podesila pH suspenzije na 4.5-5.0. U svaku tikvicu se potom dodalo 4,2 mL otopine kvasca (Fleischmann's, Fenton, MO, USA), 400  $\mu$ L 12 %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , te 20  $\mu$ L glukoamilaze (Attenuzyme Core, Novozymes, Denmark). Tikvice su se zatvorile gumenim čepovima u koje su se umetnule igle (18 ga x 38,1 mm). Početna težina tikvice sa kukuruznom kašom, enzimima i kvascem se izvagala. Tikvice su se postavile u kupelj na 150 okr/min i 32 °C na 64 sata (slika 18.). Nakon fermentacije vagala se završna težina tikvice sa kukuruznom kašom, enzimima i kvascem. Slijepa proba (bez kukuruza, enzima ili kvasca) koristila se za provjeru potencijalnih pogrešaka isparavanja. Isparavanje iz slijepa probe tijekom fermentacije bilo je zanemarivo. Prinos etanola odredio se gravimetrijskom metodom (Lemuz i sur. 2009.) kao razlika u težini nakon fermentacije (izdvojeni  $\text{CO}_2$ ).



Slika 18. Postupak fermentacije uzoraka

#### 3.1.4.3. Određivanje kemijskog sastava zrna

U radnim uzorcima na cijelom zrnju odredili su se: sadržaj škroba, sadržaj proteina, sadržaj ulja, sadržaj vode i hektolitarska masa. Navedeni parametri odredili su se pomoću NIR uređaja Infratec Grain Analyser 1241 (FOSS, Danska) (Bian i sur. 2015.). Također, u istim uzorcima zrna odredio se i sadržaj amiloze metodom koju je razvila tvrtka Megazyme, (Wicklow, Ireland) (Park i sur. 2023). Sadržaj amilopektina odredio se matematički na osnovu dobivenih vrijednosti za amilozu.

## 3.2. Statistička analiza podataka

Zbog kompleksnog dizajna pokusa i načina na koji su prikupljeni podaci statistička analiza je provedena prema različitim modelima za različita svojstva. Za prinos zrna analiza je provedena u dvije faze. U prvoj fazi analizirani su objedinjeni podaci iz svih pokusa prema kompleksnom hijerarhijskom modelu koji je odgovarao dizajnu pokusa, a koji je uključivao efekte godina, lokacija, gustoće sklopa, hibrida, sve njihove interakcije, te tri različite pogreške. Ako se dokaže prisutnost kompleksnih interakcija, u drugoj fazi će se analizirati svaki pokus zasebno prema split-plot modelu, s gustoćom sklopa kao glavnim faktorom i hibridom kao podfaktorom. Za sve ostale varijable (sadržaj škroba, hektolitarska masa, omjer amiloze i amilopektina, te sadržaj etanola) podaci su prikupljeni na temelju jednog uzorka za svaku kombinaciju gustoće sklopa i hibrida u svakom pokusu. Ovaj način prikupljanja podataka zanemario je dizajn pokusa, pa je model prema kojem su podaci analizirani uključivao efekte godina, lokacija, gustoća sklopa i hibrida, te sve njihove interakcije, osim četverostruke interakcije (godina x lokacija x gustoća sklopa x hibrid) koja se nije mogla razdvojiti od pogreške. Za signifikantne interakcije i glavne efekte koji nisu bili uključeni ni u jednu signifikantnu interakciju provedene su višestruke usporedbe uz Tukeyjevu metodu korekcije. Statistička analiza je provedena u R okruženju, pri čemu su uz primjenu osnovnog korišteni i specijalizirani paketi „lme4“, „lmerTest“, „multcomp“ i „emmeans“.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Promatrajući dobivene rezultate analiziranih svojstava (Tablica 2.) u 2013. godini ostvaren je viši prosječni prinos po jedinici površine u iznosu od 731,4 kg, te je prosječni sadržaj škroba bio veći za 0,4 % čemu su doprinjeli bolji vremenski uvjeti u navedenoj sezoni. Preostala svojstva u 2013. godini bilježe manje rezultate u odnosu na 2012. godinu i to: hektolitarska masa zrna za 0,9 kg, omjer amiloze i amilopektina za 0,009, a prinos etanola za 6,63 l/t.

Tablica 2. Prosječne vrijednosti analiziranih čimbenika ostvarenih u 2012. i 2013. godini

Godina	Prinos (kg/ha)	Škrob (%)	Hektolitarska masa (kg)	Omjer amiloze i amilopektina	Etanol (l/t)
2012	9.117	71,0	74,5	0,271	130
2013	9.848	71,4	73,6	0,262	124

## 4.1. Prinos zrna kukuruza

Rezultati prve faze analize prikazani su Tablici 3. S obzirom da je za najsloženiju interakciju: godina x lokacija x sklop x hibrid utvrđena značajna ( $P=0,001$ ) razlika u prinosu zrna opravdano je provođenje zasebne analize za svaku lokaciju odnosno okolinu.

Tablica 3. Analiza varijance za objedinjene podatke o prinosu (kg/ha) iz svih pokusa

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Godina (G)	1	2076,5	2076,5	43,02	<0,001	***
Lokacija (L)	2	28646,6	14323,3	296,73	<0,001	***
G x L	2	19875,2	9937,6	205,87	<0,001	***
Sklop (S)	2	715,6	357,8	7,41	0,002	**
G x S	2	287,7	143,8	2,98	0,063	ns
L x S	4	485,5	121,4	2,51	0,058	ns
G x L x S	4	1205,8	301,5	6,25	<0,001	***
Hibrid (H)	5	9113,9	1822,8	37,76	<0,001	***
G x H	5	2726,4	545,3	11,30	<0,001	***
L x H	10	3976,7	397,7	8,24	<0,001	***
S x H	10	880,3	88,0	1,82	0,057	ns
G x L x H	10	2449,8	245	5,08	<0,001	***
G x S x H	10	465,7	46,6	0,96	0,475	ns
L x S x H	20	1236,1	61,8	1,28	0,191	ns
G x L x S x H	20	3028,0	151,4	3,14	<0,001	***

\*\*\*, \*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$ ; 0,01 i nesigifikantan F-test, tim slijedom

#### 4.1.1. Prinos zrna na lokaciji Kneževo u 2012. godini

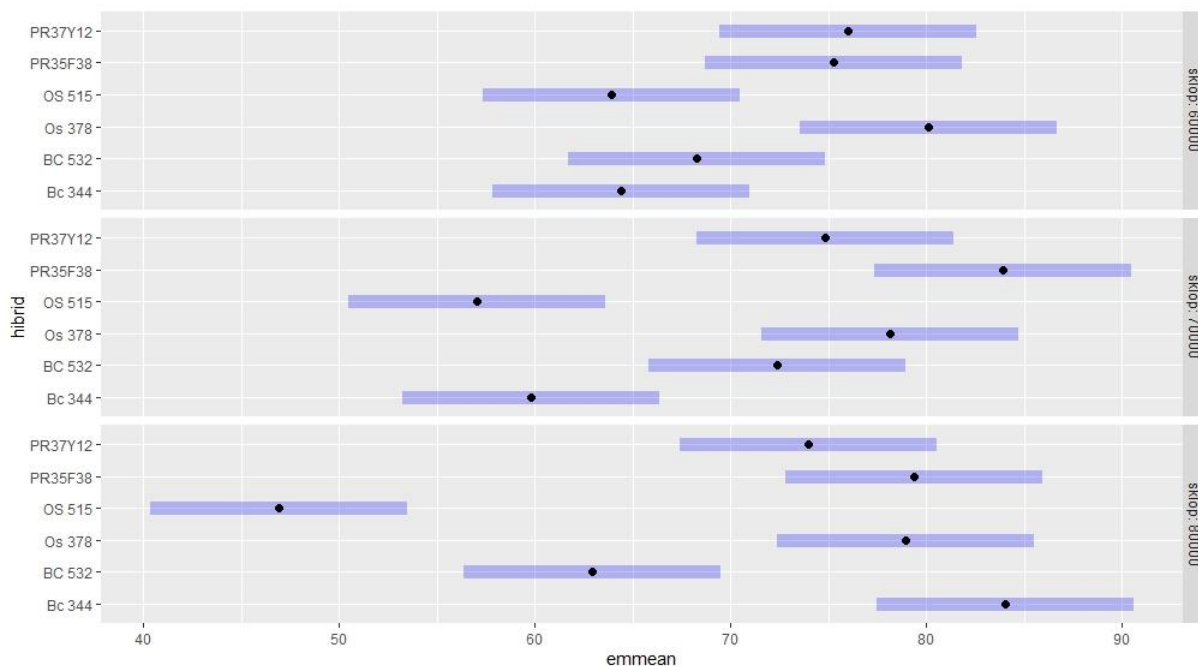
Rezultati druge faze analize za lokaciju Kneževo u 2012. godini prikazani su u Tablici 4. Analizom varijance utvrđena je značajna ( $P=0,001$ ) interakcije sklop x hibrid, te između samih hibrida.

Tablica 4. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2012. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	1,5	0,74	0,02	0,983	ns
Rep	3	226,2	75,39	1,76	0,166	ns
Hibrid (H)	5	4705,8	941,2	22,02	<0,001	***
S x H	10	2251,4	225,1	5,27	<0,001	***

\*\*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$  i nesigifikantan F-test, tim slijedom

Analizom interakcije sklop x hibrid vidljivo je da su se hibridi Bc 344 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha i PR35F38 u sklopovima od 70.000 biljak/ha, ostvarivši apsolutno dva najveća prinosa kukuruza od 8.401 kg/ha, odnosno 8.392 kg/ha statistički značajno razlikovali ( $P=0,001$ ) od hibrida Bc 532 i Osk 515 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha koji su ostvarili prinos od 6.294 kg/ha, odnosno 4.690 kg/ha, te od hibrida BC 344 i Osk 515 u sklopovima od 70.000 bijaka/ha koji su ostvarili prinos od 5.979 kg/ha, odnosno 5.703 kg/ha (Slika 19).



Kada se crte preklapaju prinosi hibrida se ne razlikuju

Slika 19. Interakcija S x H na lokaciji Kneževo u 2012. godini

Uspoređujući prinose istih hibrida sa prinosima hibrida u sklopovima od 60.000 biljaka/ha ustanovljeno je da su ostvarili statistički značajno ( $P=0,001$ ) veći prinos zrna od hibrida: Osk 515 (6.390 kg/ha), Bc 532 (6.827 kg/ha) i Bc 344 (6.441 kg/ha). Nadalje, hibridi Os 378 u sklopovima od 60.000 biljaka/ha i u sklopovima od 70.000 biljaka/ha, te PR35F38 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha ostvarili su statistički značajno veći ( $P=0,001$ ) prinos zrna od hibrida: Bc 344 i Osk 515 u sklopovima od 60.000 biljaka/ha i 70.000 biljaka/ha, te hibrida Bc 532 i Osk 515 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha. Sljedeću grupu hibrida čine: PR37Y12 u sklopovima od 60.000 biljak/ha (7.560 kg/ha), 70.000 biljka/ha (7.480 kg/ha) i 80.000 biljka/ha (7.396 kg/ha), te PR35F38 u sklopovima od 60.000 biljak/ha (7.527 kg/ha) koji su ostvarili statistički značajno veći ( $P=0,001$ ) prinos u odnosu na hibride Bc 344 i Osk 515 u sklopovima od 70.000 biljka/ha i hibrid Osk 515 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha. Posljednju grupu hibrida koji su ostvarili statistički veći ( $P=0,001$ ) prinos su Bc 532 u sklopovima od 70.000 biljak/ha (7.238 kg/ha) koji je svojim rezultatom nadmašio hibrid Osk 515 u sklopovima od 70.000 biljka/ha i 80.000 biljka/ha, te hibridi Bc 532 u sklopovima od 60.000 biljka/ha (6.827 kg/ha) i 80.000 biljka/ha (6.294 kg/ha), i Bc 344 (6.441 kg/ha) i Osk 515 (6.390 kg/ha) u sklopovima od 60.000 biljka/ha koji su ostvarili statistički značajno veći ( $P=0,001$ ) prinos od hibrida Osk 515 u sklopu od 80.000 biljaka/ha.

Iz slike 19. vidljivo je da svi hibridi ne ostvaruju najveće prinose u sklopovima od 80.000 biljaka/ha. To je ostvareno samo kod hibrida Bc 344 dok su hibridi Bc 532 i PR35F38 najveće prinose ostvarili u sklopovima od 70.000 biljaka/ha, a hibridi Os 378, Osk 515 i PR37Y12 u sklopovima od 60.000 biljaka/ha. Ono što je također znakovito je činjenica da su hibridi PR37Y12, Osk 515 i Bc 532 svoje najslabije prinose ostvarili upravo u najgušćem sklopu od 80.000 biljaka/ha.

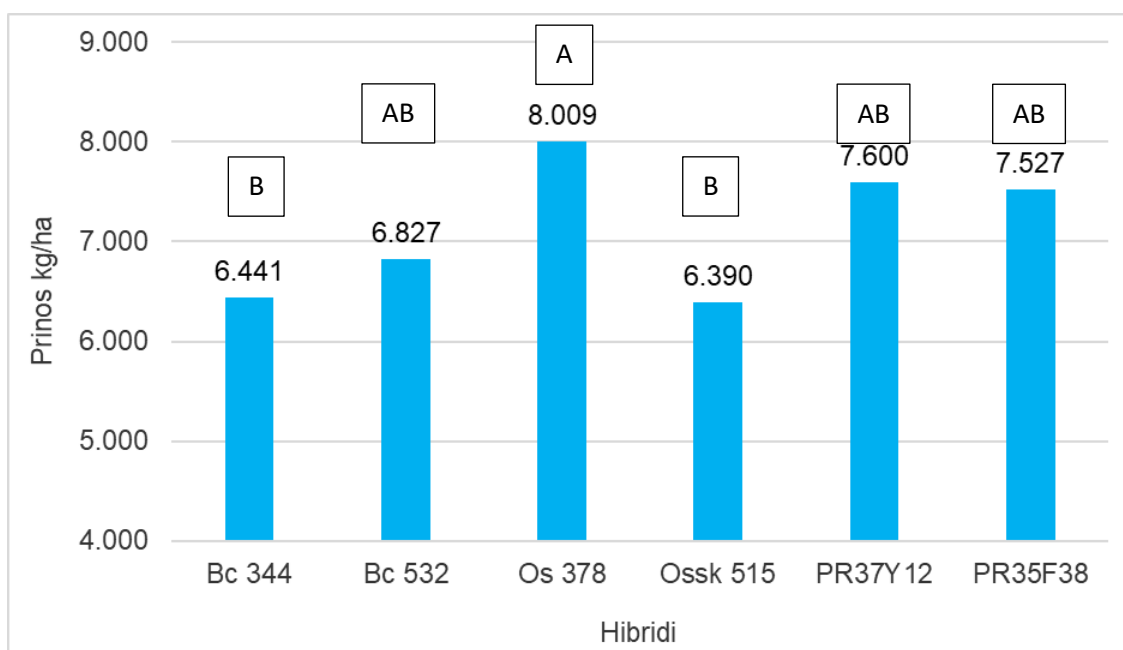
Nakon odvojeno provedenih testova višestrukih usporedbi između hibrida koji se provode unutar istih i između različitih razina glavnog faktora (gustoća sjetve) rezultati prikazuju da je u sklopovima od 60.000 biljaka/ha najveći prinos ostvario je hibrid Os 378 i to od 8.009 kg/ha (Grafikon 6.). Prinos navedenog hibrida se statistički značajno ( $P=0,05$ ) razlikovao od hibrida Bc 344 i Osk 515. Hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili su u prosjeku 435 kg/ha veći prinos zrna u odnosu na hibride koji pripadaju FAO grupi 500. U sklopu od 60.000 biljaka/ha HTF hibridi ostvarili su prosječni prinos zrna od 7.564 kg/ha, a nenamjenski hibridi 6.917 kg/ha.

U sklopovima od 70.000 biljaka/ha najveći prinos ostvario je hibrid PR35F38 u iznosu od 8.392 kg/ha što je za 2.413 kg/ha, odnosno za 2.689 kg/ha više od ostvarenih prinosa hibrida Bc 344, tj. Osk 515 koji su i u ovom sklopu ostvarili najmanje prinose (Grafikon 7.). U ovoj gustoći sjetve hibridi iz FAO grupe 500 ostvarili su u prosjeku tek 20 kg/ha više



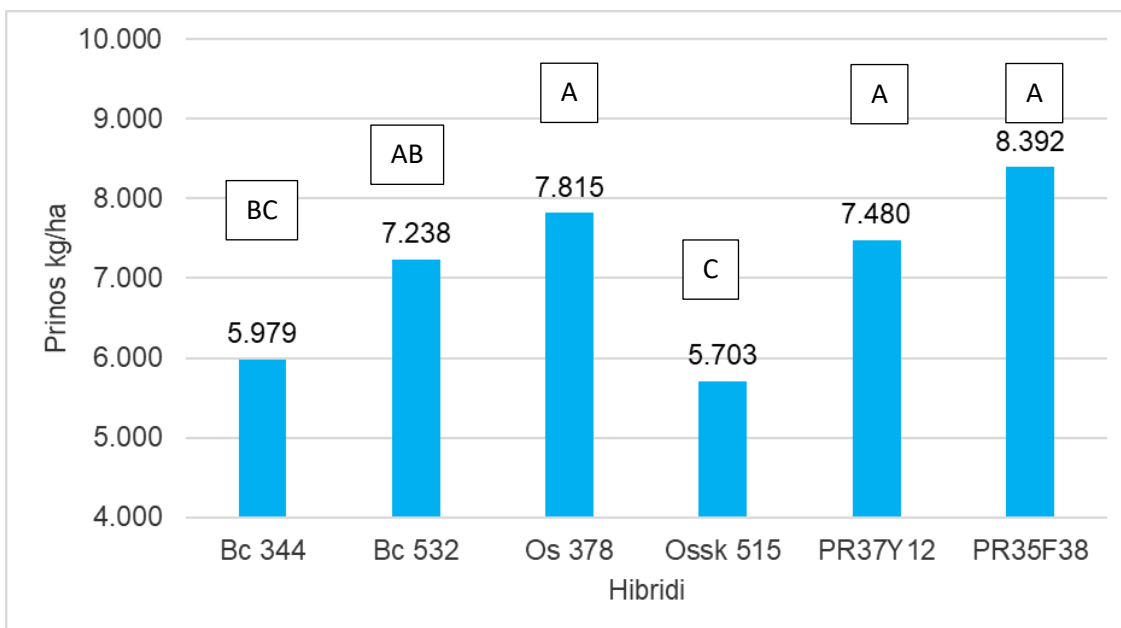
prinosa u odnosu na hibride iz ranije grupe zrenja, FAO 300. U sklopu od 70.000 biljaka/ha HTF hibridi ostvarili su prosječni prinos od 7.936 kg/ha, a nenamjenski hibridi 6.684 kg/ha.

U sklopovima od 80.000 biljaka/ha ostvaren je najveći prosječni prinos u iznosu od 8.401 kg/ha kojeg je postigao hibrid Bc 344 (Grafikon 8.). Prinos od 4.690 kg/ha kojeg je ostvario hibrid Osk 515 bio je najmanji u ovoj gustoći sjetve, te ujedno i najmanji na lokaciji Kneževo u 2012. godini. Prinos navedenog hibrida se statistički značajno ( $P=0,05$ ) razlikovao od svih preostalih ispitivanih hibrida u ovoj gustoći sklopa. Hibridi ranije zrelosti, iz FAO grupe 300 i u ovim sklopovima ostvarili su u prosjeku veće prinose u odnosu na hibride iz FAO grupe 500 i to za čak 1.589 kg/ha. U sklopu od 80.000 biljaka/ha HTF hibridi ostvarili su prosječni prinos zrna od 7.668 kg/ha, a nenamjenski hibridi kukuruza od 6.820 kg/ha.



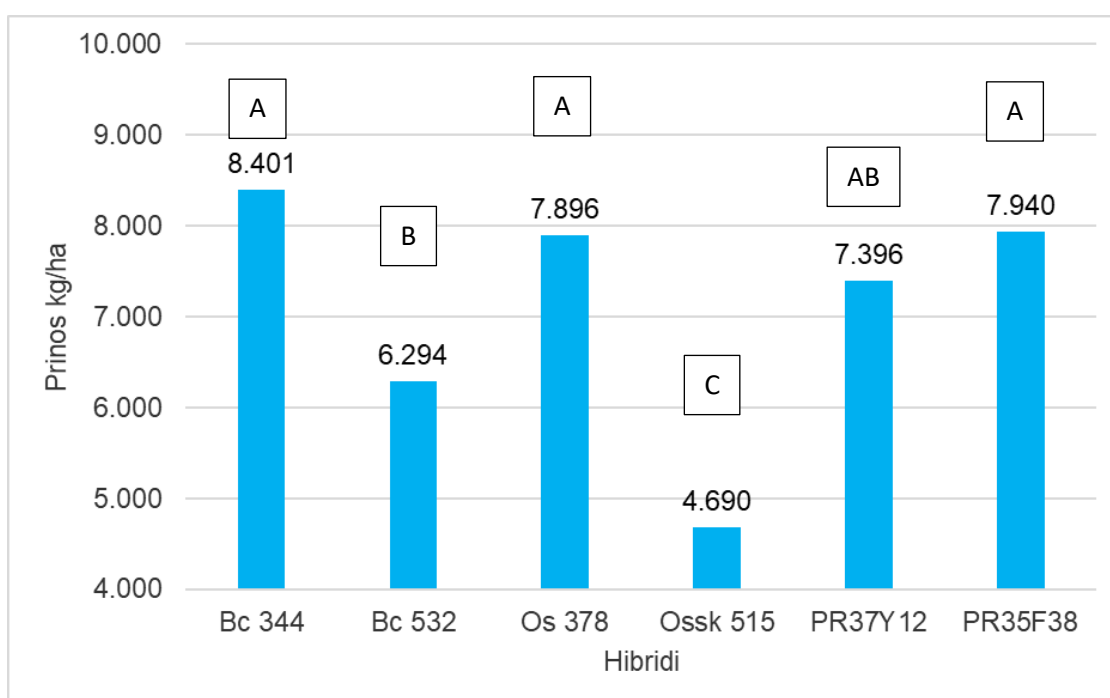
Stupci označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P<0,05$  (LSD test).

Grafikon 6. Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 60.000 biljaka/ha u 2012. godini



Stupci označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

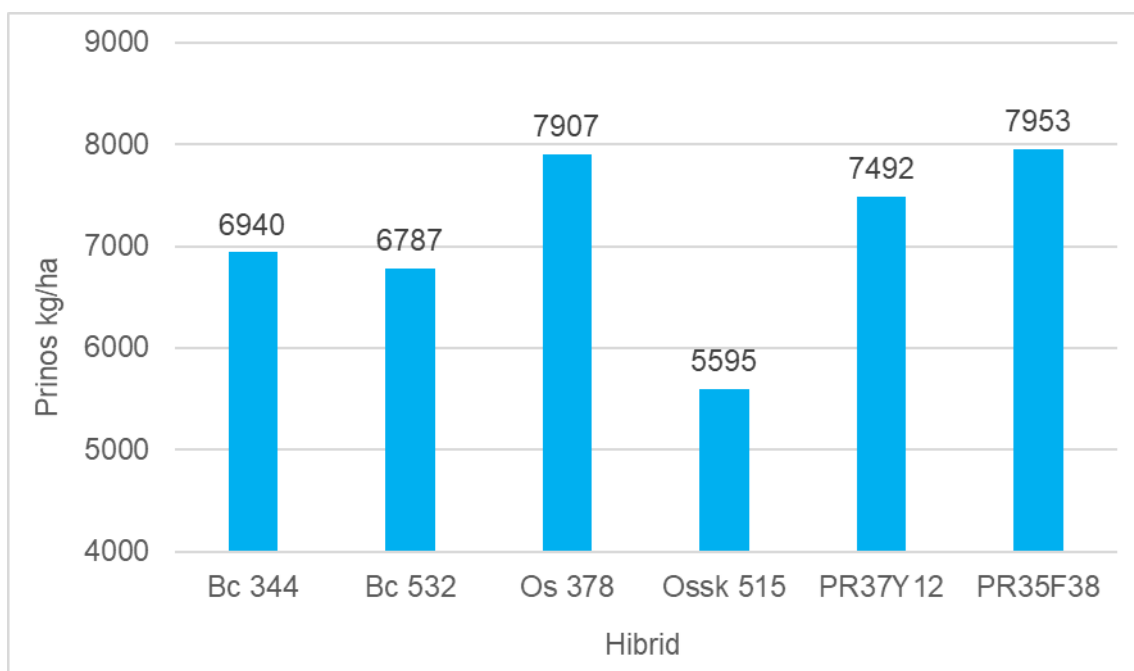
Grafikon 7. Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 70.000 biljaka/ha u 2012. godini



Stupci označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 8. Prinosi i usporedba hibrida na lokaciji Kneževo u sklopovima od 80.000 biljaka/ha u 2012. godini

U prosjeku, najveći prinos ostvario je hibrid PR35F38 i to 7.953 kg/ha (Grafikon 9.). Najmanje prinostni hibrid u prosjeku je bio Osk 515 koji je ostvario prinos od 5.595 kg/ha. Hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili su veći prosječni prinos zrna kukuruza u odnosu na hibride iz FAO grupe 500 i to za 668 kg/ha. Na lokaciji Kneževo u 2012. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 7.723 kg/ha u odnosu na nenamjenske hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 6.807 kg/ha.



Grafikon 9. Prosječni prinosi hibrida na lokaciji Kneževo u 2012. godini

#### 4.1.2. Prinos zrna na lokaciji Kneževo u 2013. godini

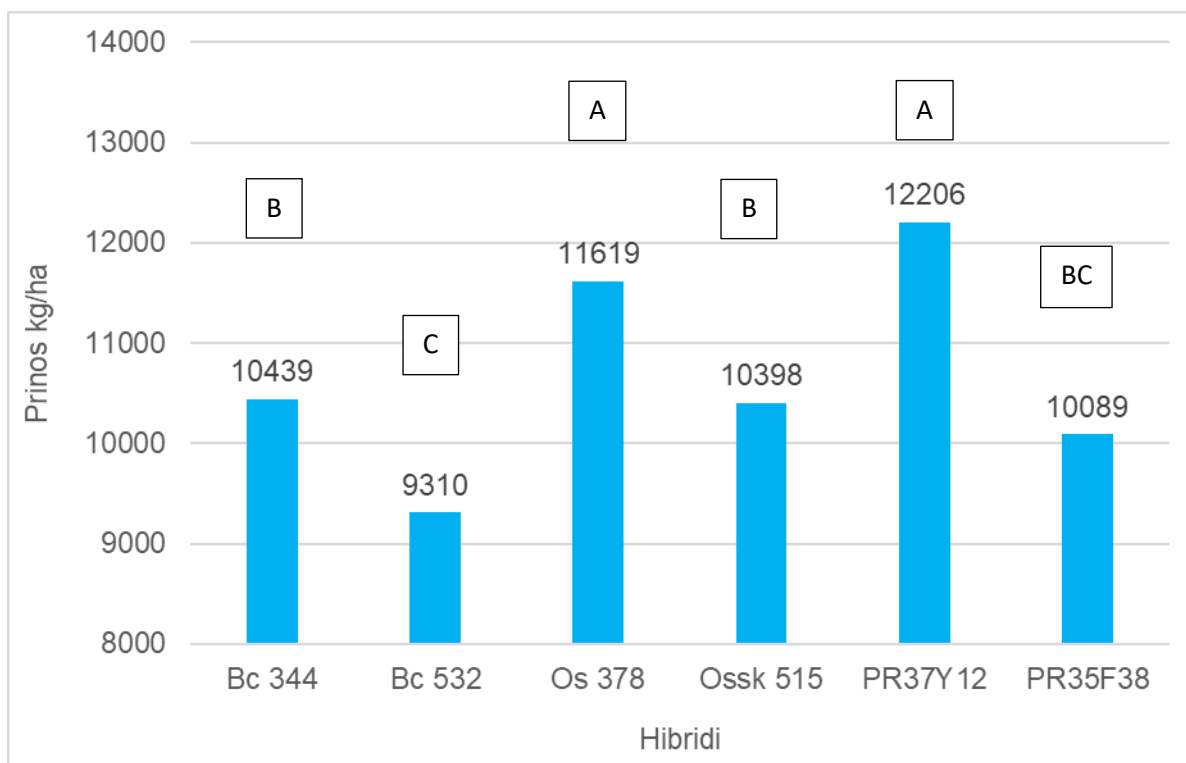
Analizom varijance utvrđena je značajna ( $P=0,001$ ) razlika u ostvarenom prinosu između ispitivanih hibrida (Tablica 5.).

Tablica 5. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2013. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	117,1	58,56	0,88	0,462	ns
Rep	3	402,2	134,06	2,02	0,213	ns
Hibrid (H)	5	6687,2	1337,44	20,12	<0,001	***
S x H	10	725,0	72,5	1,09	0,390	ns

\*\*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$  i nesigifikantan F-test, tim slijedom

U prosjeku najveći prinos zrna od 12.206 kg/ha ostvario je hibrid PR37Y12 koji je ujedno bio i najprinosniji hibrid promatrajući svaku gustoću sjetve zasebno (Grafikon 10.). Najmanje prinosni hibrid u prosjeku je bio Bc 532 sa prinosom od 9.310 kg/ha. Hibridi iz FAO grupe 300 u prosjeku su ostvarili veći prinos zrna u odnosu na hibride iz FAO grupe 500 i to za čak 1.489 kg/ha. Na lokaciji Kneževo u 2013. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 11.148 kg/ha u odnosu na nenamjenske hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 10.442 kg/ha.



Prosjeci označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 10. Prinosi hibrida (kg/ha) na lokaciji Kneževo u 2013. godini

#### 4.1.3. Prinos zrna na lokaciji Osijek u 2012. godini

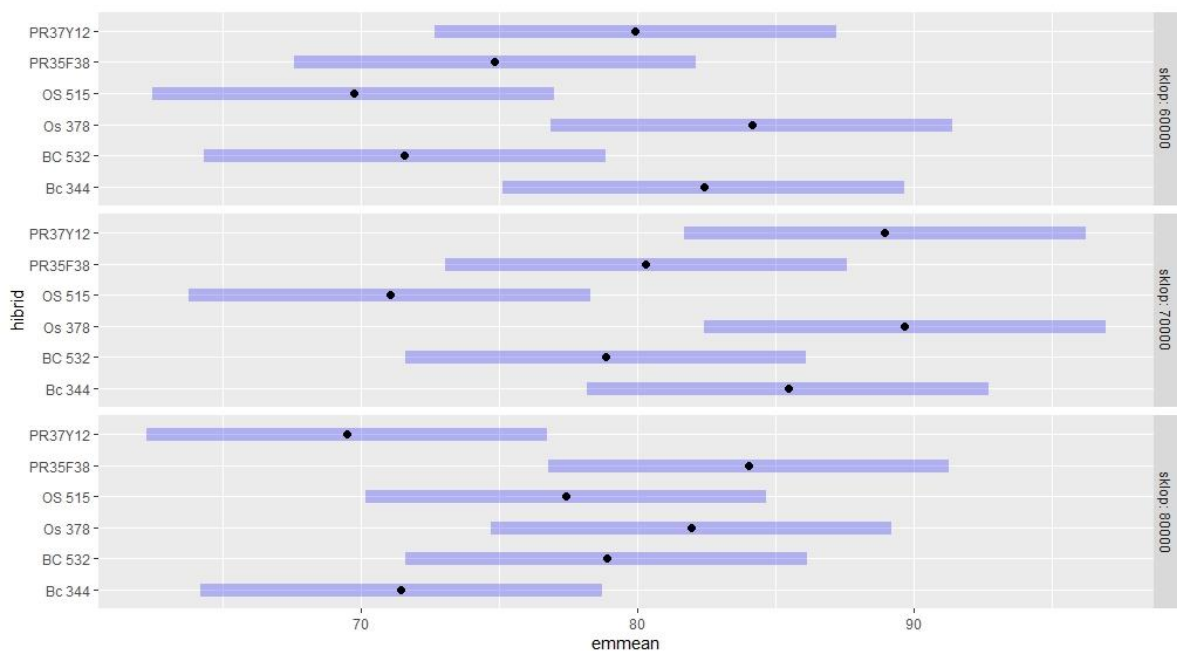
Analizom varijance utvrđena je statistički značajna razlika ( $P=0,05$ ) u interakciji sklop x hibrid, između ponavljanja, te između sklopova, te statistički značajna razlika ( $P=0,01$ ) između hibrida (Tablica 6.).

Tablica 6. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Osijek u 2012. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	437,45	218,72	4,19	0,021	*
Rep	3	583,13	194,38	3,72	0,017	*
Hibrid (H)	5	1035,28	207,06	3,96	0,004	**
S x H	10	1329,48	132,95	2,54	0,014	*

\*\* , \* Signifikantan uz  $P= 0,01$  i  $0,05$  tim slijedom

Analizom interakcije sklop x hibrid vidljivo je da su se hibridi Os 378 i PR37Y12 u sklopovima od 70.000 biljaka/ha sa ostvarenim 8.969 kg/ha, odnosno 8.898 kg/ha, statistički značajno razlikovali ( $P=0,05$ ) u prinosu zrna u odnosu na hibride Bc 344 (7.146 kg/ha) i PR37Y12 (6.950 kg/ha) u sklopu od 80.000 biljaka/ha, hibrida Osk 515 (7.105 kg/ha) u sklopu od 70.000 biljaka/ha i hibrida Bc 532 (7.159 kg/ha) i Osk 515 (6.974 kg/ha) u sklopu od 60.000 biljaka, dok je Os 378 sklopu od 70.000 biljaka/ha ostvario još dodatno i statistički značajno veći ( $P=0,05$ ) prinos i od hibrida PR35F38 (7.485 kg/ha) u sklopu od 60.000 biljaka/ha (Slika 20). Nastavno, hibrid Bc 344 u sklopovima od 70.000 biljaka/ha ostvario je statistički značajno veći ( $P=0,05$ ) prinos, koji je iznosio 8.546 kg/ha, od prinosa hibrida PR37Y12 u sklopovima od 80.000 biljaka/ha i hibrida Osk 515 u sklopovima od 60.000 biljaka/ha.



Kada se crte preklapaju prinosi hibrida se ne razlikuju

Slika 20. Interakcija S x H na lokaciji Osijek u 2012. godini

Nakon odvojeno provedenih testova višestrukih usporedbi između hibrida koji se provode unutar istih i između različitih razina glavnog faktora (gustoća sjetve) rezultati pokazuju da iako postoji velika razlika između najmanjeg (Ossk 515, 6.974 kg/ha) i najvišeg (Os 378, 8.414 kg/ha) ostvarenog prinosa u gustoći sklopa od 60.000 biljaka/ha u apsolutnom iznosu od 1.441 kg/ha, nije dokazana statistički značajna razlika za promatrano svojstvo prinosa na lokaciji Osijek u 2012. godini (Tablica 7.).

Tablica 7. Prinosi hibrida (kg/ha) u različitim sklopovima na lokaciji Osijek u 2012. godini

hibrid / sklop	60.000	70.000		80.000
Bc 344	8.241	8.546	AB	7.146
Bc 532	7.159	7.886	AB	7.888
Os 378	8.414	8.969	A	8.196
Ossk 515	6.974	7.105	B	7.743
PR37Y12	7.994	8.897	A	6.950
PR35F38	7.485	8.032	AB	8.403

Prinosi označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

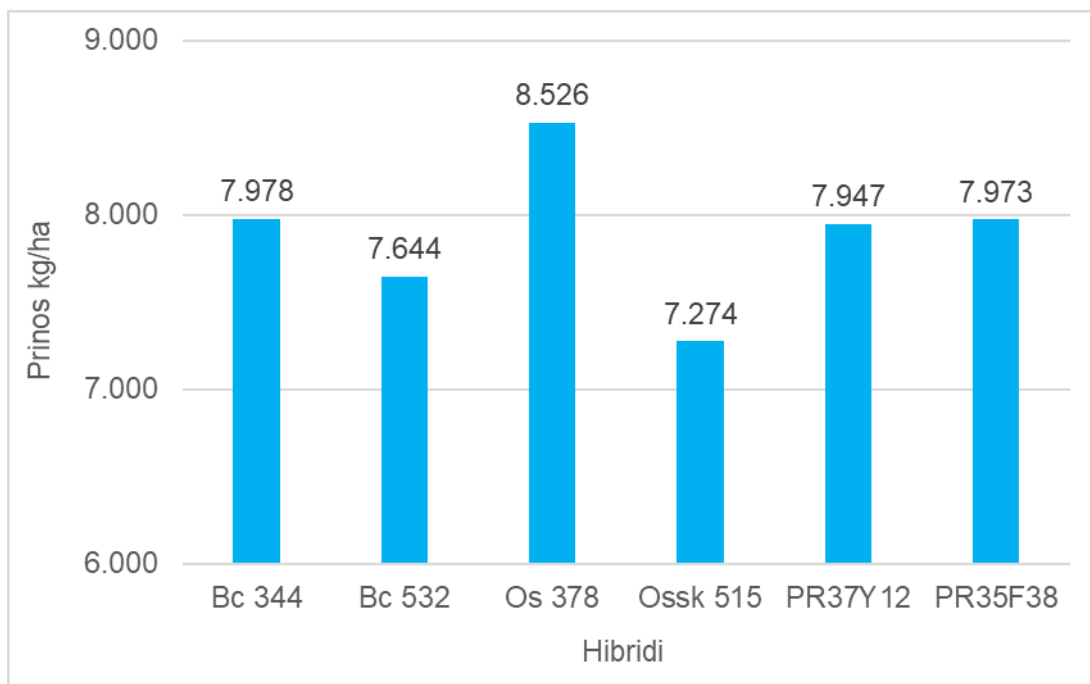
Hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili su veći prosječni prinos od hibrida iz FAO grupe 500 za 1011 kg/ha. U sklopu od 60.000 biljaka na ha HTF hibridi ostvarili su prosječni prinos zrna od 7.740 kg/ha, a nenamjenski hibridi 7.697 kg/ha.

U sklopovima od 70.000 biljaka/ha postoji statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika u ostvarenom prinosu između ispitivanih hibrida. Najveći prinos zrna ostvario je hibrid Os 378 od 8.969 kg/ha, a najmanji prinos zrna od 7.105 kg/ha ostvario je hibrid Osk 515. I u ovim sklopovima hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili su veći prosječni prinos zrna kukuruza u odnosu na hibride koji pripadaju FAO grupi 500 i to za 1130 kg/ha. U sklopu od 70.000 biljaka/ha HTF hibridi ostvarili su prosječni prinos od 8.464 kg/ha, a nenamjenski hibridi 8.126 kg/ha.

Iako je u sklopovima od 80.000 biljaka/ha, slično kao i u sklopovima od 60.000 biljaka/ha ostvarena velika razlika između maksimalno (PR35F38, 8.403 kg/ha) i minimalno (PR37Y12, 6950 kg/ha) ostvarenog prinosa koja je iznosila 1453 kg/ha, nije utvrđena statistički značajna razlika između ostvarenih prinosa zrna istraživanih hibrida. U ovom sklopu hibridi koji pripadaju FAO grupi 500 ostvarili su veći prosječni prinos od 8.011 kg/ha, dok su hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili prinos manji za 580 kg/ha koji je iznosio 7.431 kg/ha. U gustoći sjetve od 80.000 biljaka/ha HTF hibridi (7.677 kg/ha) ostvarili su za 66 kg/ha manji prinos u odnosu na ostvareni prinos nenamjenskih hibrida koji je iznosio 7.743 kg/ha.

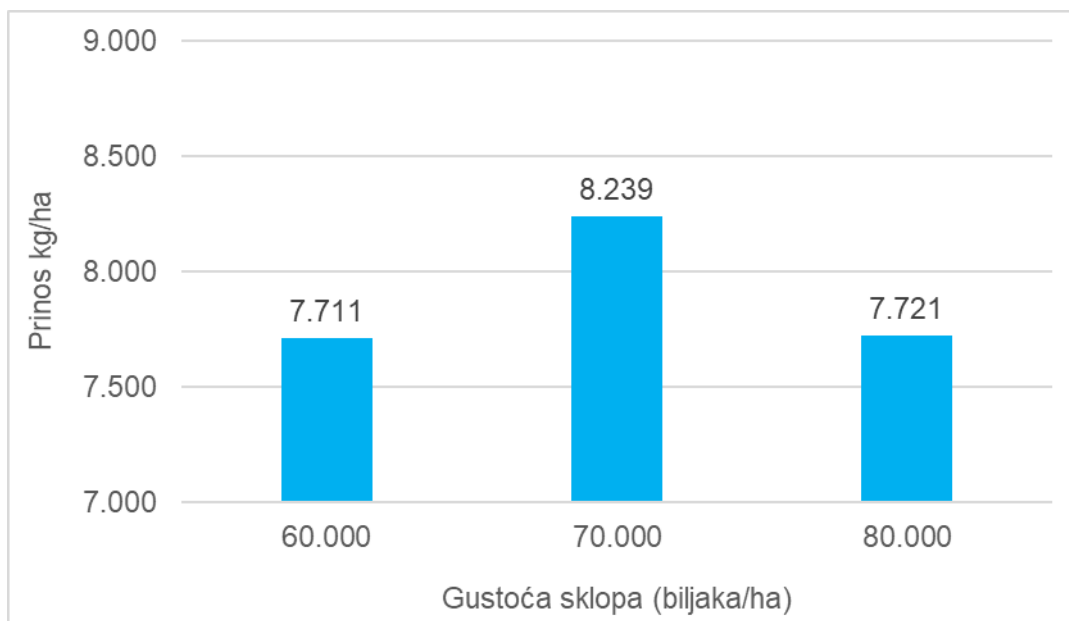
U prosjeku najveći prinos ostvario je hibrid Os 378 sa postignutih 8.526 kg/ha (Grafikon 11.). Najmanji prinos u prosjeku ostvario je hibrid Osk 515 sa ostvarenih 7.274 kg/ha. Hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili su veći prosječni prinos zrna kukuruza u odnosu na hibride iz FAO grupe 500 i to za 520 kg/ha. Na lokaciji Osijek u 2012. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 7.960 kg/ha u odnosu na nenamjenske hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 7.856 kg/ha.





Grafikon 11. Prosječni prinosi hibrida na lokaciji Osijek u 2012. godini

Prosječni prinosi zrna kukuruza ostvareni na lokaciji Osijek u 2012. godini u različitim gustoćama sklopa kretali su se u rasponu od 7.711 kg/ha koliko je ostvareno u sklopovima od 60.000 biljaka/ha, do 8.239 kg/ha koliko je ostvareno u sklopovima od 70.000 biljaka/ha. U sklopovima od 80.000 biljaka/ha ostvaren je sličan prinos kao i u sklopovima od 60.000 biljaka/ha i iznosio je 7.721 kg/ha (Grafikon 12.).



Grafikon 12. Prosječni prinosi ostvareni u različitim gustoćama sklopa na lokaciji Osijek u 2012. godini

#### 4.1.4. Prinos zrna na lokaciji Osijek u 2013. godini

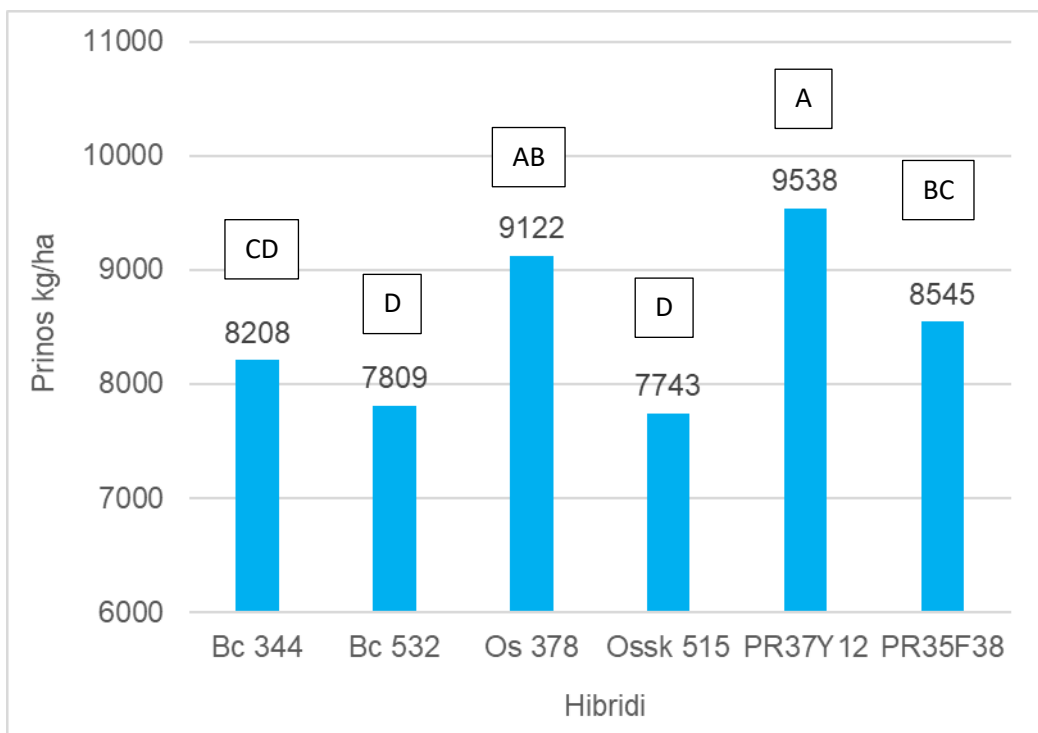
Analizom varijance za promatrano svojstvo prinosa zrna utvrđena je statistički značajna ( $P=0,001$ ) razlika između ispitivanih hibrida, te statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika između ponavljanja (Tablica 8.).

Tablica 8. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Osijek u 2013. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	7,75	3,87	0,12	0,886	ns
Rep	3	289,09	96,36	3,02	0,038	*
Hibrid (H)	5	3122,48	624,5	19,54	<0,001	***
S x H	10	375,24	37,52	1,17	0,330	ns

\*\*\*, \*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$ ; 0,05 i nesigntifikantan F-test, tim slijedom

U prosjeku najveći prinos ostvario je hibrid kukuruza PR37Y12 od 9.538 kg/ha (Grafikon 13.) Najmanji prosječni prinos zrna ostvario je hibrid Oस्क 515 od 7.743 kg/ha. Ovako širok raspon ostvarenih prinosa u iznosu od 1.795 kg/ha uvjetovao je pojavu statistički značajne razlike ( $P=0,001$ ) između: hibrida PR37Y12 i hibrida PR35F38, Bc 344, Bc 532 i Oस्क 515; hibrida Os 378 i hibrida Bc 344, Bc 532 i Oस्क 515; hibrida PR35F38 i hibrida Bc 532 i hibrida Oस्क 515. Tri hibrida iz FAO grupe 300 u prosjeku su ostvarili veći prinos zrna kukuruza od 924 kg/ha u odnosu na hibride iz FAO grupe 500. Na lokaciji Osijek u 2013. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 9.041 kg/ha u odnosu na nedeklarirane hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 8.220 kg/ha.



Prosjeci označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,001$  (LSD test).

Grafikon 13. Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Osijek u 2013. godini

#### 4.1.5. Prinos zrna na lokaciji Šašinovec u 2012. godini

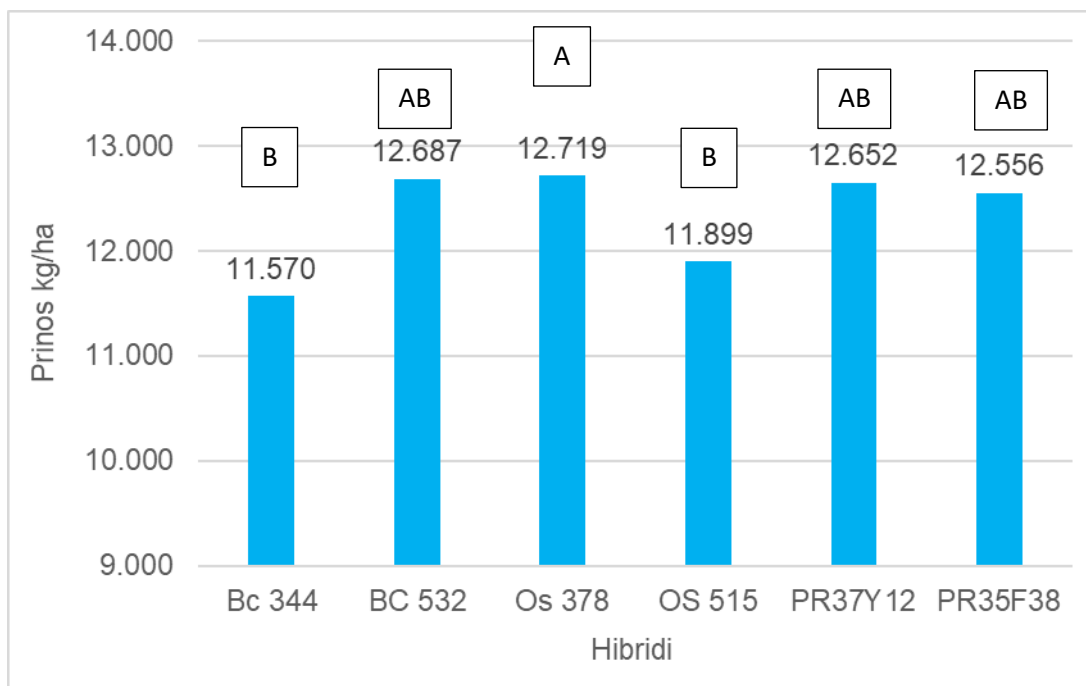
Za svojstvo prinosa zrna na lokaciji Šašinovec u 2012. godini analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,001$ ) razlika između ispitivanih hibrida, te sklopova (Tablica 9.).

Tablica 9. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Šašinovec u 2012. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	1992,67	996,33	20,86	<0,001	***
Rep	3	8,33	2,78	0,06	0,981	ns
Hibrid (H)	5	1434,74	286,95	6,01	<0,001	***
S x H	10	345,82	34,58	0,72	0,698	ns

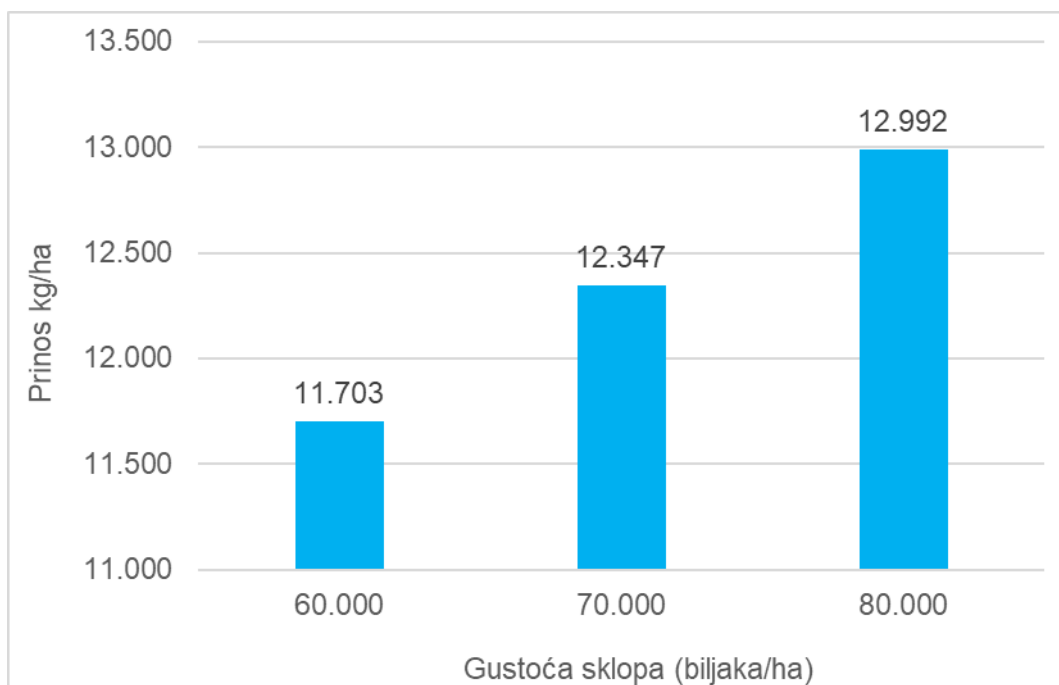
\*\*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$  i nesignifikantan F-test, tim slijedom

U prosjeku najveći prinos ostvario je hibrid Os 378 od 12.719 kg/ha i statistički se značajno razlikovao ( $P=0,05$ ) od dva hibrida koja su ostvarila najmanji prosječni prinos, Bc 344 sa ostvarenih 11.570 kg/ha i Ossk 515 sa ostvarenih 11.899 kg/ha (Grafikon 14.). Hibridi su u sklopovima od 80.000 biljka/ha ostvarili najveće prosječne prinose i to od 12.992 kg/ha, dok su najmanje prinose ostvarili hibridi u sklopovima od 60.000 biljka/ha (Grafikon 15.). Na lokaciji Šašinovec u 2012. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 12.604 kg/ha u odnosu na nenamjenske hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 12.219 kg/ha.



Prosjeći označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 14. Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Šašincev u 2012. godini



Grafikon 15. Prosječni prinosi ostvareni u različitim gustoćama sklopa na lokaciji Šašincev u 2012. godini

Na lokaciji Šašinovec u 2012. godini veći prosječni prinos zrna kukuruza ostvarili su hibridi iz FAO grupe 500 i to 12.381 kg/ha, dok su hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili nešto manji prosječni prinos i to od 12.314 kg/ha.

#### 4.1.6. Prinos zrna na lokaciji Šašinovec u 2013. godini

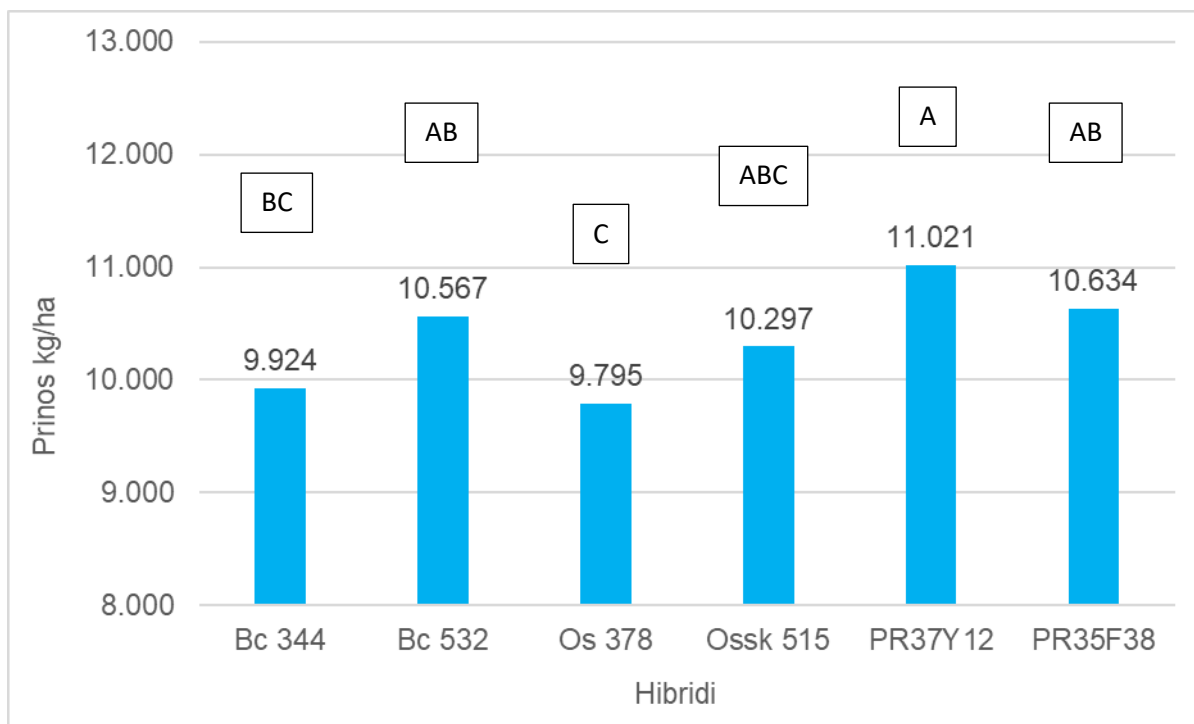
Za svojstvo prinosa zrna na lokaciji Šašinovec u 2013. godini analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,001$ ) razlika između ispitivanih hibrida, te statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika između repeticija (Tablica 10.).

Tablica 10. Analiza varijance prinosa (kg/ha) na lokaciji Šašinovec u 2013. godini

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Sklop (S)	2	167,29	83,64	2,07	0,136	ns
Rep	3	371,16	123,72	3,07	0,036	*
Hibrid (H)	5	1281,31	256,26	6,35	<0,001	***
S x H	10	583,17	58,32	1,45	0,188	ns

\*\*\*, \*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$ ; 0,05 i nesigifikantan F-test, tim slijedom

Najveći prinos zrna u prosjeku ostvario je hibrid PR37Y12 od 11.021 kg/ha i statistički se značajno razlikovao ( $P=0,05$ ) od dva hibrida koja su stvarila najmanji prinos zrna, hibrida Os 378 sa ostvarenih 9.795 kg/ha i hibrida Bc 344 sa ostvarenih 9.924 kg/ha (Grafikon 16.). Statistički značajnu razliku ( $P=0,05$ ) ostvarili su i hibridi PR35F38 (10.634 kg/ha) i Bc 532 (10.567 kg/ha) u odnosu na hibrid Os 378. Na lokaciji Šašinovec u 2013. godini HTF hibridi ostvarili su veći prosječni prinos zrna od 10.828 kg/ha u odnosu na nenamjenske hibride koji su ostvarili prosječni prinos zrna od 10.146 kg/ha.



Prinosi označeni različitim slovima kod svakog hibrida su statistički značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 16. Prosječni prinosi ostvareni na lokaciji Šašinovec u 2013. godini



## 4.2. Sadržaj škroba u zrnu kukuruza

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,001$ ) razlika interakcije godine i hibrida, te između samih hibrida i godina. Statistički značajna ( $P=0,01$ ) razlika utvrđena je u interakciji godina i lokacija. Učinak sklopova je također statistički značajan ( $P=0,01$ ) ali nije uključen niti u jednu signifikantnu interakciju (Tablica 11.).

Tablica 11. Analiza varijance sadržaja škroba u zrnu (%)

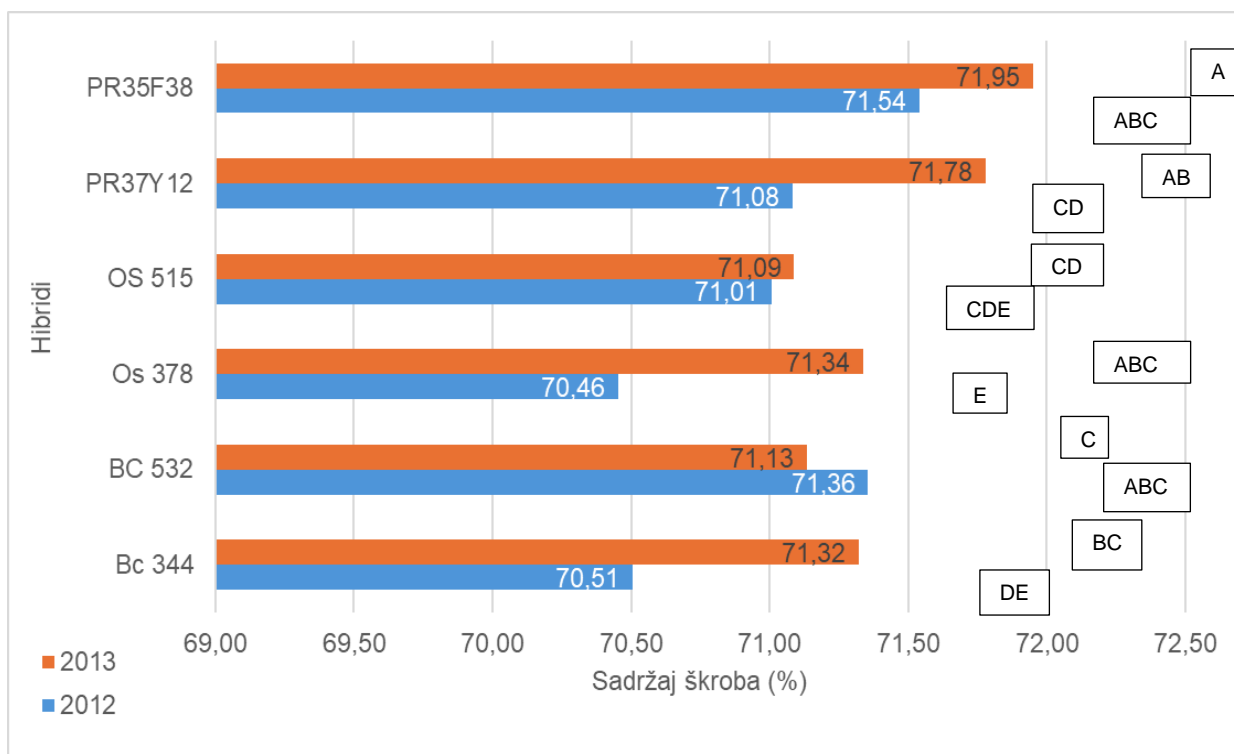
izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Godina (G)	1	5,33	5,33	41,44	<0,001	***
Lokacija (L)	2	0,75	0,37	2,91	0,078	ns
Sklop (S)	2	1,96	0,98	7,61	0,003	**
G x L	2	2,31	1,15	8,96	0,002	**
G x S	2	0,07	0,03	0,25	0,779	ns
L x S	4	0,58	0,14	1,12	0,373	ns
G x L x S	4	1,21	0,30	2,35	0,089	ns
Hibrid (H)	5	9,85	1,97	15,31	<0,001	***
G x H	5	4,36	0,87	6,78	<0,001	***
L x H	10	1,27	0,13	0,99	0,482	ns
S x H	10	2,36	0,24	1,84	0,119	ns
G x L x H	10	2,76	0,28	2,14	0,070	ns
G x S x H	10	0,89	0,09	0,69	0,722	ns
L x S x H	20	1,52	0,08	0,59	0,875	ns

\*\*\*, \*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$ ; 0,01; 0,1 i nesigifikantan F-test, tim slijedom

#### 4.2.1. Interakcija godina i hibrida

Prosječni sadržaj škroba u 2012. i 2013. godini kod ispitivanih hibrida kretao se u rasponu od 70,46 % kojeg je ostvario hibrid Os 378 u 2012. godini do 71,95 % kojeg je ostvario hibrid PR35F38 u 2013. godini (Grafikon 17.). U 2013. godini u prosjeku je ostvaren veći sadržaj škroba u zrnu kukuruza i to 71,44 %, dok je u 2012. godini ostvaren prosječni sadržaj škroba od 70,99 %. Hibridi kod kojih se sadržaj škroba nije statistički razlikovao u obje godine ispitivanja bili su hibridi PR35F38 i Bc 532. Prosječni prinos škroba u obje godine kod HTF hibrida je bio veći i iznosio je 71,59 % u odnosu na nenamjenske hibride čiji je sadržaj škroba u obje godine u prosjeku iznosio 71,03 %. Promatrajući svaku godinu zasebno, u obje godine su HTF hibridi ostvarili veći prosječni sadržaj škroba u zrnu koji je iznosio u 2012. godini 71,31 % i u 2013. godini 71,86 %. U isto vrijeme nenamjenski hibridi ostvarili su 70,83 %, odnosno 71,22 % škroba.

Kod hibrida iz FAO skupine 300 vidljiva je veća razlika u sadržaju škroba uspoređujući dvije godine u kojima su hibridi bili ispitivani, dok hibridi iz FAO grupe 500 za navedeno svojstvo pokazuju veću stabilnost u sadržaju škroba kroz ispitivanje u 2012. i 2013. godini. U obje promatrane godine hibridi iz FAO grupe 500 ostvarili su veći prosječni sadržaj škroba u odnosu od 71,35 %, dok su hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili prosječni sadržaj škroba od 71,08 %. HTF hibridi u obje godine ostvarili su veći sadržaj škroba u zrnu u odnosu na nenamjenske hibride.



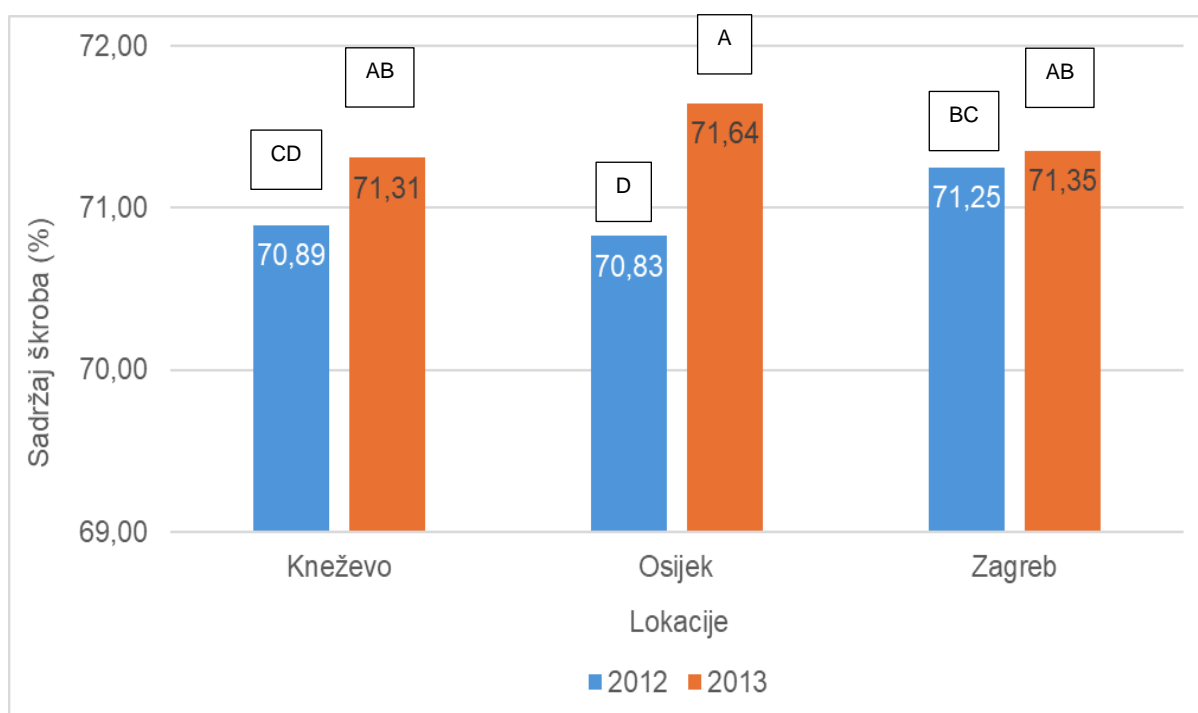
Sadržaji škroba označeni različitim slovima statistički su značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 17. Prosječni sadržaj škroba ispitivanih hibrida u 2012. i 2013. godini

#### 4.2.2. Interakcija godina i lokacija

Prosječni sadržaj škroba u 2012. i 2013. godini kod ispitivanih hibrida na pojedinim lokacijama kretao se u rasponu od 70,83 % koji je ostvaren 2012. godine na lokaciji Osijek, do 71,64 % kojeg je ostvaren u 2013. godini također na lokaciji Osijek (Grafikon 18.). Jedino na lokaciji Šašinovec nije utvrđena statistički značajna razlika u sadržaju škroba u dvije godine u kojima je obavljeno ispitivanje.

Najveća razlika u prosječnom sadržaju škroba na pojedinoj lokaciji u ispitivanim godinama zabilježena je u Osijeku i iznosila je 0,81 %, dok je najmanja razlika u prosječnom sadržaju škroba u dvije promatrane godine ostvarena na lokaciji Šašinovec gdje je iznosila 0,1 % . Na lokaciji Kneževo razlika u prosječnom sadržaju škroba u dvije promatrane godine iznosila je 0,42 %.



Sadržaji škroba označeni različitim slovima statistički su značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 18. Sadržaj škroba u zrnu ispitivanih hibrida na svim lokacijama u obje godine istraživanja

#### 4.2.3. Usporedba prosjeka sklopova

Najveći prosječni sadržaj škroba ostvaren je u sklopovima od 80.000 biljaka/ha i iznosio je 71,39 % (Tablica 12.) Statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika postoji između sklopova od 80.000 biljaka/ha i sklopova od 60.000 biljaka/ha koji je iznosio 71,07 %.

Tablica 12. Sadržaj škroba u zrnu u različitim gustoćama sjetve

sklop	sadržaj škroba (%)	
80.000	71,39	A
70.000	71,18	A B
60.000	71,07	B

Sadržaji škroba označeni različitim slovima kod svake gustoće sklopa su statistički značajno različiti na razini  $P<0,05$  (LSD test).

### 4.3. Hektolitarska masa zrna kukuruza

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,001$ ) interakcija godina, lokacija, i hibrida (Tablica 13.). Statistički značajna razlika nije pronađena između sklopova.

Tablica 13. Analiza varijance hektolitarske mase zrna kukuruza

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Godina (G)	1	26,8	26,8	111,05	<0,001	***
Lokacija (L)	2	23,91	11,96	49,54	<0,001	***
Sklop (S)	2	0,72	0,36	1,48	0,251	ns
G x L	2	35,55	17,78	73,66	<0,001	***
G x S	2	1,03	0,51	2,12	0,146	ns
L x S	4	1,84	0,46	1,91	0,149	ns
G x L x S	4	1,10	0,28	1,14	0,366	ns
Hibrid (H)	5	203,99	40,80	169,05	<0,001	***
G x H	5	10,71	2,14	8,87	<0,001	***
L x H	10	4,50	0,45	1,86	0,113	ns
S x H	10	4,06	0,41	1,68	0,155	ns
G x L x H	10	15,39	1,54	6,38	<0,001	***
G x S x H	10	3,90	0,39	1,62	0,173	ns
L x S x H	20	4,29	0,21	0,89	0,603	ns

\*\*\*, ns Signifikantan uz  $P=0,001$  i nesignifikantan F-test, tim slijedom

Prosječna hektolitarska masa zrna kukuruza u 2012. i 2013. godini, na svim lokacijama na kojima su se ispitivali hibridi kretala se u rasponu od 69,9 kg koju je ostvario hibrid Bc 532 na lokaciji Osijek u 2013. godini do 78,4 kg koju je ostvario hibrid PR35F38 na lokaciji Šašinovec u 2012. godini (Tablica 14.). Od prvih deset najboljih rezultata u pogledu ostvarene hektolitarske mase zrna hibrid PR35F38 se pojavljuje svih šest mogućih puta. U 2012. godini ostvarena je veća prosječna hektolitarska masa (74,6 kg) u odnosu na prosječnu hektolitarsku masu u 2013. godini (73,6 kg). Najveća prosječna hektolitarska masa u dvogodišnjem testiranju ostvarena je na lokaciji Šašinovec i iznosila je 74,7 kg.

Na lokaciji Kneževo prosječna hektolitarska masa u dvogodišnjem testiranju iznosila je 74,0 kg, dok je na lokaciji Osijek ostvarena najmanja prosječna hektolitarska masa u dvogodišnjem testiranju i iznosila je 73,5 kg. Hibridi iz obje FAO grupe veću hektolitarsku masu ostvarili su u 2012. godini, FAO grupa 300 74,8 kg, a FAO grupa 500 74,3 kg. U 2013. godini hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili su prosječnu hektolitarsku masu od 73,7 kg, a hibridi iz FAO grupe 500 73,4 kg.

Tablica 14. Hektolitarska masa ispitivanih hibrida na svim lokacijama i u obje godine istraživanja

godina	lokacija	hibrid	hektolitarska masa (kg)	
2012	Šašincevec	PR35F38	78,4	A
2013	Kneževo	PR35F38	76,7	A B
2013	Šašincevec	PR35F38	76,6	B C
2012	Osijek	PR35F38	76,4	B C D
2012	Šašincevec	Bc 344	76,0	B C D E
2012	Kneževo	PR35F38	75,8	B C D E F
2012	Osijek	Bc 344	75,6	B C D E F G
2012	Šašincevec	PR37Y12	75,6	B C D E F G
2013	Osijek	PR35F38	75,5	B C D E F G H
2012	Šašincevec	Os 378	75,2	B C D E F G H I
2013	Kneževo	PR37Y12	75,1	B C D E F G H I
2012	Kneževo	Bc 344	74,9	C D E F G H I
2013	Šašincevec	PR37Y12	74,7	D E F G H I J
2012	Osijek	PR37Y12	74,4	E F G H I J K
2012	Šašincevec	Bc 532	74,1	F G H I J K L
2012	Osijek	Bc 532	74,1	F G H I J K L M
2013	Kneževo	Bc 344	74,1	F G H I J K L M
2012	Osijek	Os 378	74,0	G H I J K L M N
2012	Kneževo	Os 378	73,9	G H I J K L M N
2012	Osijek	Ossk 515	73,9	G H I J K L M N
2013	Šašincevec	Bc 344	73,8	G H I J K L M N
2013	Kneževo	Os 378	73,8	G H I J K L M N
2013	Šašincevec	Os 378	73,8	H I J K L M N
2012	Kneževo	PR37Y12	73,7	I J K L M N
2013	Šašincevec	Ossk 515	73,1	J K L M N O

Nastavak tablice 14.

2013	Osijek	PR37Y12	73,0	J	K	L	M	N	O
2013	Kneževo	Bc 532	72,9	K	L	M	N	O	
2013	Šašincevec	Bc 532	72,8	K	L	M	N	O	
2013	Kneževo	Ossk 515	72,7	K	L	M	N	O	
2013	Osijek	Bc 344	72,6	K	L	M	N	O	
2013	Osijek	Os 378	72,5		L	M	N	O	P
2012	Kneževo	Bc 532	72,3			M	N	O	P
2012	Šašincevec	Ossk 515	72,2				N	O	P
2012	Kneževo	Ossk 515	71,7					O	P
2013	Osijek	Ossk 515	70,8						P Q
2013	Osijek	Bc 532	69,9						Q

Hektolitarske mase označene različitim slovima statistički su značajno različite na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

HTF hibridi su ostvarili bolju prosječnu hektolitarsku masu (75,5 kg) u odnosu na prosječnu hektolitarsku masu nenamjenskih hibrida kukuruza (73,3 kg). Hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 u prosjeku su u dvogodišnjem ispitivanju ostvarili veću hektolitarsku masu zrna (74,3 kg) u odnosu na hibride koji pripadaju FAO grupi 500 (73,9 kg).



#### 4.4. Omjer amiloze i amilopektina

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,05$ ) interakcija godina i lokacija (Tablica 15.).

Tablica 15. Analiza varijance omjera amiloze i amilopektina

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Godina (G)	1	0,00213	0,00213	2,59	0,123	ns
Lokacija (L)	2	0,00193	0,00097	1,18	0,329	ns
Sklop (S)	2	0,00098	0,00049	0,60	0,559	ns
G x L	2	0,00582	0,00291	3,54	0,048	*
G x S	2	0,00014	0,00007	0,09	0,918	ns
L x S	4	0,00148	0,00037	0,45	0,771	ns
G x L x S	4	0,00706	0,00177	2,15	0,112	ns
Hibrid (H)	5	0,00300	0,00060	0,73	0,610	ns
G x H	5	0,00467	0,00093	1,14	0,374	ns
L x H	10	0,01448	0,00145	1,76	0,135	ns
S x H	10	0,00955	0,00095	1,16	0,370	ns
G x L x H	10	0,01374	0,00137	1,67	0,158	ns
G x S x H	10	0,00539	0,00054	0,66	0,751	ns
L x S x H	20	0,01314	0,00066	0,80	0,690	ns

\*, ns Signifikantan uz  $P= 0,05$  i nesignifikantan F-test, tim slijedom

Iako je analizom varijance utvrđena statistički značajna ( $P=0,05$ ) interakcija godina i lokacija, kada se usporede prosjeci, nepostoji statistički značajna razlika u interakciji godina i lokacija (Tablica 16.) Prosječni omjer amiloze i amilopektina u zrnju kukuruza u 2012. i 2013. godini na lokacijama na kojima se vršilo ispitivanje kretao se u rasponu od 0,250 koji je ostvaren 2013. godine na lokaciji Šašinovec, do 0,277 koji je ostvaren u 2012. godini također na lokaciji Šašinovec.

Tablica 16. Omjer amiloze i amilopektina kod ispitivanih hibrida na svim lokacijama i u obje godine istraživanja

lokacija	godina	omjer amiloze i amilopektina
Kneževo	2012	0,276
	2013	0,269
Osijek	2012	0,260
	2013	0,268
Šašinovec	2012	0,277
	2013	0,250

## 4.5. Prinos etanola

Analizom varijance utvrđena je statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika između sklopova, i interakcije između godina i sklopova, te statistički značajna ( $P=0,01$ ) razlika između godina i interakcije između godina i lokacija, te interakcije između godina i hibrida (Tablica 17.).

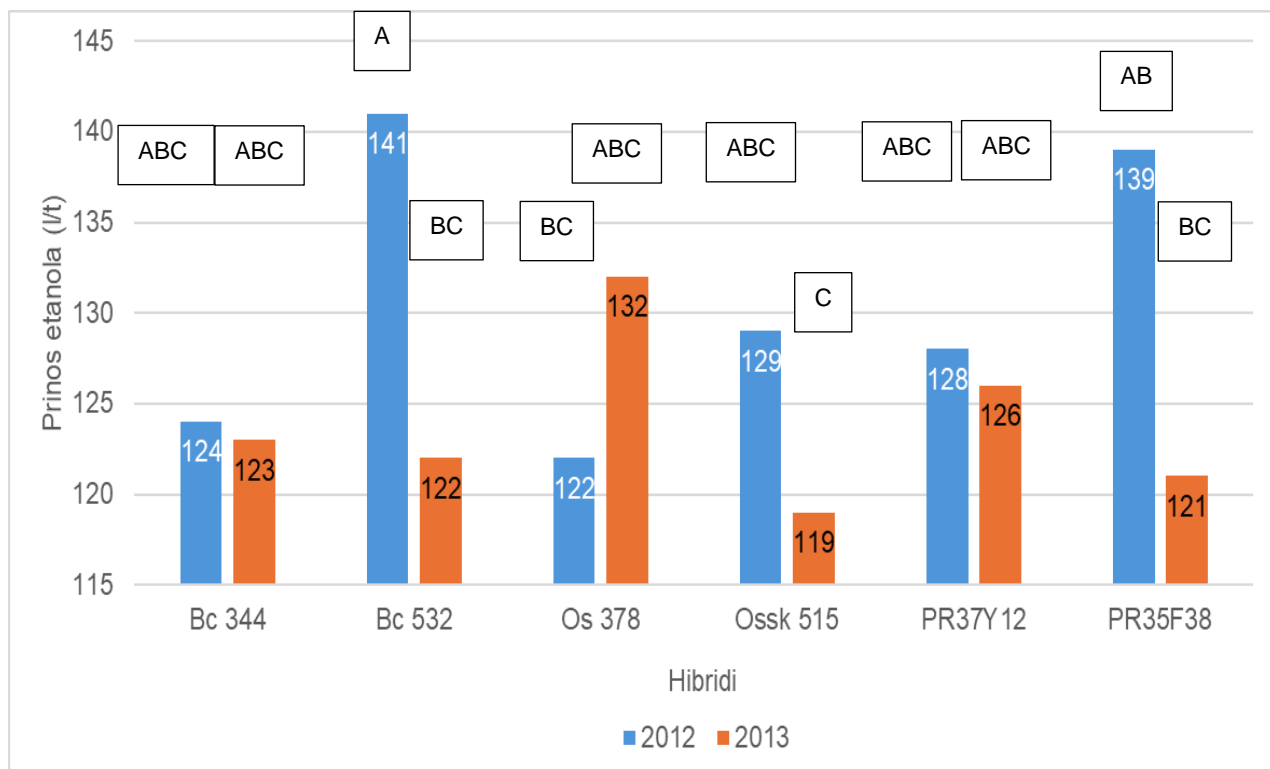
Tablica 17. Analiza varijance za prinos etanola

izvori varijabiliteta	df	SS	MS	F	P>F	
Godina (G)	1	1258,23	1258,23	11,30	0,003	**
Lokacija (L)	2	727,61	363,81	3,27	0,059	ns
Sklop (S)	2	1191,37	595,68	5,35	0,014	*
G x L	2	1687,19	843,59	7,57	0,004	**
G x S	2	798,88	399,44	3,59	0,047	*
L x S	4	105,46	26,36	0,24	0,914	ns
G x L S	4	128,79	32,2	0,29	0,882	ns
Hibrid (H)	5	854,56	170,91	1,53	0,224	ns
G x H	5	2734,82	546,96	4,91	0,004	**
L x H	10	816,66	81,67	0,73	0,686	ns
S x H	10	916,35	91,63	0,82	0,612	ns
G x L x H	10	2541,15	254,11	2,28	0,056	ns
G x S x H	10	1638,93	163,89	1,47	0,221	ns
L x S x H	20	2711,71	135,59	1,22	0,332	ns

\*\* , \* , ns Signifikantan uz  $P= 0,01; 0,05; 0,1$  i nesigifikantan F-test, tim slijedom

#### 4.5.1. Interakcija godina i hibrida

Prinos etanola ispitivanih hibrida u 2012. i 2013. godini kretao se u rasponu od 119 l/t kojeg je ostvario hibrid Osk 515 u 2013. godini, do 141 l/t kojeg je ostvario hibrid Bc 532 u 2012. godini (Grafikon 19.).



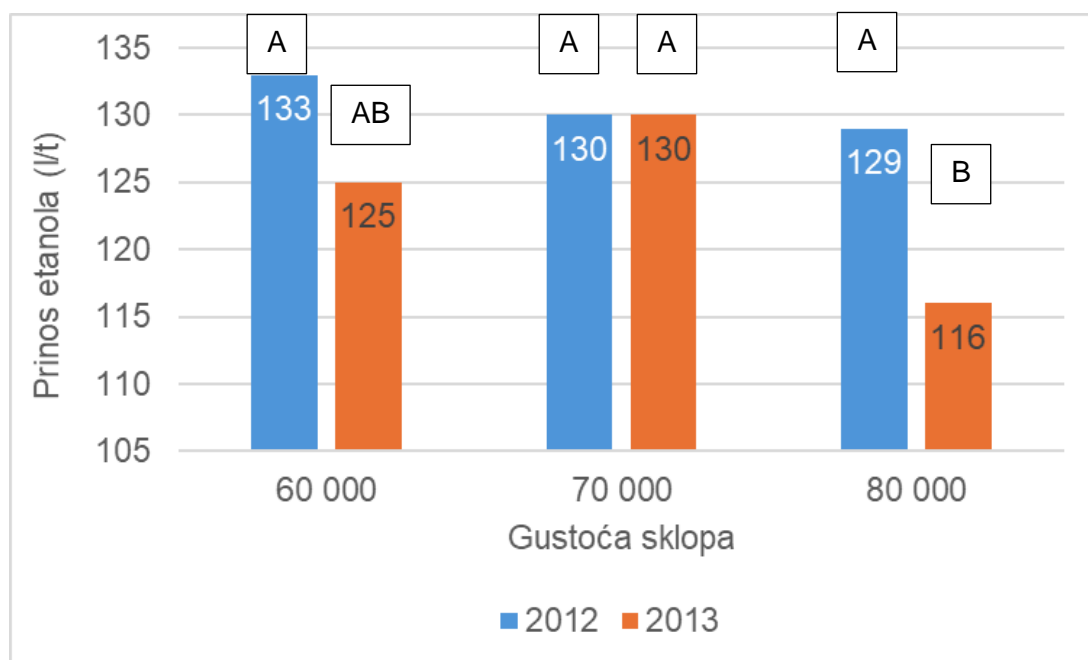
Prinosi etanola označeni različitim slovima statistički su značajno različiti na razini  $P < 0,05$  (LSD test).

Grafikon 19. Prinos etanola ispitivanih hibrida u obje godine istraživanja

Hibridi koji pripadaju FAO grupi 500 ostvarili su veći prosječni prinos etanola od 128,5 l/t, dok su hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili prosječni prinos etanola od 125,8 l/t. HTF hibridi u dvije godine u kojima se provelo ispitivanje ostvarili su veći prosječni prinos etanola od 128,5 l/t, dok su nenamjenski hibridi ostvarili prosječni prinos etanola od 126,5 l/t.

#### 4.5.2. Interakcija godina i gustoće sjetve

Prosječni prinos etanola po pojedinim gustoćama sjetve u 2012. i 2013. godini kretao se u rasponu od 116 l/ha koji je ostvaren u sklopovima od 80.000 biljaka/ha u 2013. godini, do 133 l/ha koji je ostvaren u sklopovima od 60.000 biljaka/ha u 2012. godini (Grafikon 20.). Statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika u interakciji godina i gustoći sjetvi utvrđena je jedino za prethodno navedena dva podatka.



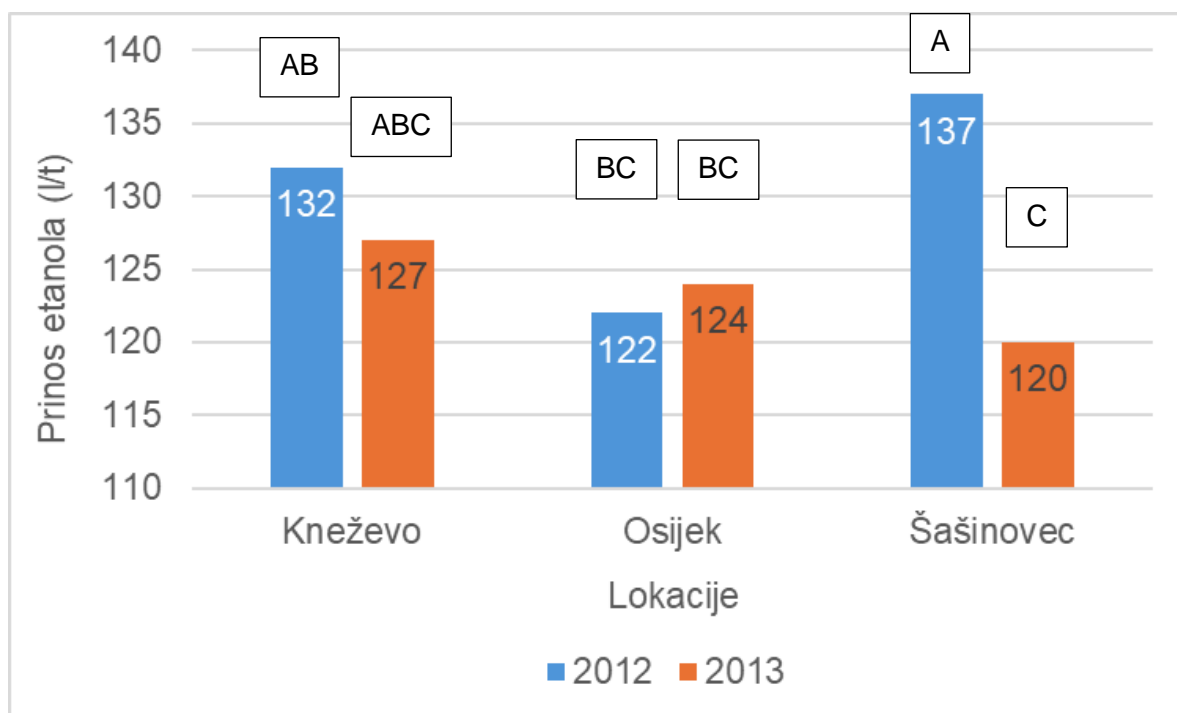
Prinosi etanola označeni različitim slovima statistički su značajno različiti na razini  $P<0,05$  (LSD test).

Grafikon 20. Prinos etanola u svim sklopovima u obje godine istraživanja

U sklopovima od 70.000 biljaka/ha nije ostvarena nikakva razlika u proizvedenom etanolu u dvije godine u kojima su vršilo ispitivanje. Ostvarena razlika proizvedenog etanola između 2012. i 2013. godine u sklopovima od 60.000 biljaka/ha iznosila je 8 l/t. Najveći prosječni prinos etanola ostvaren je u sklopovima od 70.000 biljaka/ha i to od 130 l/t. U sklopovima od 80.000 biljaka/ha ostvarena je najveća razlika u prinosu etanola između istraživanih godina i iznosila je 13 l/t.

#### 4.5.3. Interakcija godina i lokacija

Prosječni prinos etanola po pojedinim lokacijama u 2012. i 2013. godini kretao se u rasponu od 120 l/t koji je ostvaren na lokaciji Šašinovec u 2013. godini, do 137 l/t koje su ostvarene također na lokaciji Šašinovec u 2012. godini (Grafikon 21.). Statistički značajna ( $P=0,05$ ) razlika u interakciji godina i lokacija, osim prethodno navedenog, utvrđena je još i između prinosa etanola na lokaciji Šašinovec u 2012. godini i prinosa etanola ostvarenog na lokaciji Osijek u 2012. i 2013. godini, te prinose etanola ostvarenog na lokaciji Šašinovec u 2013. godini i prinosa etanola ostvarenog na lokaciji Kneževo u 2012. godini.



Prinosi etanola označeni različitim slovima statistički su značajno različiti na razini  $P<0,05$  (LSD test).

Grafikon 21. Prinos etanola ispitivanih hibrida na svim lokacijama u obje godine istraživanja

Statistički značajna razlika ( $P=0,05$ ) u produktivnosti etanola na pojedinoj lokaciji u dvije ispitivane godine zabilježena je jedino na lokaciji Šašinovec i iznosila je 17 l/t. Razlika u proizvedenom etanolu na lokaciji Kneževo u dvije ispitivane godine iznosila je 5 l/t, dok je razlika u proizvedenom etanolu za isto razdoblje na lokaciji Osijek iznosila 2 l/t. Na lokacijama Šašinovec i Kneževo veći prinos etanola ostvaren je u 2012. godini, dok je na lokaciji Osijek veći prinos etanola ostvaren u 2013. godini.

## 5. RASPRAVA

S obzirom na danas postojeće sve veće zahtjeve za povećanom proizvodnjom poljoprivrednih proizvoda, osiguravanje maksimalnog prinosa svakog od njih predstavlja najveći izazov koji se stavlja ispred svakog poljoprivrednog proizvođača. U proizvodnji kukuruza, na prinos utječu mnogi čimbenici među kojima su najznačajniji: izbor hibrida, klimatske prilike, svojstva tla i primijenjena agrotehnika. Svi oni, osim na na prinos, utječu i na kvalitetu zrna kukuruza koje se kao sirovina koristi u preradi za dobijanje velikog broja različitih proizvoda, pa tako i na proizvodnju etanola.

### 5.1. Prinos zrna kukuruza

U provedenom istraživanju prinos zrna mijenjao se iz godine u godinu i od lokacije do lokacije s tim da je prosječan prinos istraživanih hibrida u 2012. godini bio u odnosu na 2013. godinu manji za 731 kg/ha. Tome su najviše pridonijeli prinos na lokacijama Kneževo i Osijek gdje su prinosi bili manji za čak 2.004 kg odnosno 1.226 kg od prosjeka svih lokacija za 2012. godinu. U 2013. godini bili su povoljniji vremenski uvjeti za proizvodnju kukuruza jer je vidljivo iz dobivenih podataka za prinos da je prosječni prinos zrna na lokaciji Kneževo u 2013. bio veći za čak 3.564 kg. Interesantno je za primijetiti da je veći prinos na lokaciji Šašincev utvrđen u 2012. godini, a ne u 2013. godini. Iako je u 2013. godini vrijeme općenito bilo povoljnije, promatrajući obje godine, smanjenje količine oborina kroz vegetativni dio godine u Šašincevu je bilo manje u odnosu na Kneževo i Osijek. Prosječni dobiveni prinosi u 2012. i 2013. godini bili su veći u odnosu na prosječne prinose zrna kukuruza u Republici Hrvatskoj u istom razdoblju (FAOSTAT, 2023). U 2013. godini prosječni prinos je bio veći u odnosu na 2012. godinu na dvije lokacije (Kneževo i Osijek) u odnosu na Šašincev gdje je veći prinos utvrđen u 2012. godini. Razlog ovakvih razlika u prinosu leži jednim dijelom i u različitim klimatskim prilikama koje su vladale tijekom 2012. i 2013. godine. S obzirom da se lokacije na kojima su obavljena ispitivanja nalaze u kontinentalnoj Hrvatskoj, a prema općoj geofizičkoj podjeli klime ono se nalazi u prijelaznom području iz semiaridne umjereno kontinentalne klime s istočnoeuropskim oznakama prema semihumidnoj umjereno kontinentalnoj srednje europskoj klimi, uz znatan pad količina oborina od zapada prema istoku i od juga prema sjeveru (Jug, 2006). Nastavno, uz količine oborina bitan je i raspored oborina tijekom vegetacije. Prema podacima koje navode Pucarić i sur. (1997) u saveznoj državi Iowa u Sjedinjenim Američkim Državama koja je dio kukuruznog pojasa postoje podaci na osnovu kojih se može okvirno utvrditi kakvi će biti prinosi obzirom na oborine i temperature od svibnja do rujna. Prema tim podacima u svibnju bi srednja dnevna temperatura trebala biti 18,3 °C, a količina oborina 87,5 mm. U lipnju su

idealne srednje temperature 21,7 °C, a količina oborina također 87,5 mm. Nadalje, u srpnju i kolovozu bi srednja dnevna temperatura trebala biti 22,8 °C, a količina oborina 112,5 mm. Za mjesec rujan potrebne su više temperature od prosjeka, a količina oborina bi trebala biti manja od višegodišnjeg prosjeka.

Na lokaciji Kneževo u 2012. godini vladale su izrazito nepovoljne vremenske prilike u vegetativnom razdoblju od svibnja do kolovoza kada je palo svega 36 % oborina od optimalno potrebnih (Pucarić, 1997), dok su prosječne dnevne temperature od lipnja do kolovoza bile veće od optimalno potrebnih. U razdoblju oplodnje i nalijevanja zrna palo je svega 12,8 % oborina od optimalno potrebnih. Znatno bolja situacija vladala je na istoj lokaciji u 2013. godini kada je u vegetativnom periodu palo 74,7 % oborina od optimalno potrebnih, dok su srednje dnevne temperature u istom razdoblju bile na razini ili ispod optimalno potrebnih. U fazi cvatnje i nalijevanja zrna bilo je 63,7 % oborina od optimalno potrebnih.

Na lokaciji Osijek u 2012. godini u vegetativnom razdoblju zabilježeno je 53,3 % oborina od optimalno potrebnih, dok su kao i na lokaciji Kneževo srednje dnevne temperature od lipnja do kolovoza bile znatno iznad optimalno potrebnih. U fazi oplodnje i nalijevanja zrna palo je svega 23 % oborina od optimalno potrebnih. U 2013. godini vladale su nešto povoljnije vremenske prilike, tako da je u vegetativnom razdoblju palo 62,9 % oborina u odnosu na optimalno potrebne, dok su srednje dnevne temperature bile na razini ili ispod optimalno potrebnih. U fazi oplodnje i nalijevanja zrna palo 30,8 % oborina od optimalno potrebnih. Šašinovec se kao istraživana lokacija pokazala kao najpogodnija za proizvodnju kukuruza u ispitivanim godinama iako je kao i prethodne dvije lokacije u istoj godini od lipnja do kolovoza imala više srednje dnevne temperature od optimalno potrebnih.

U 2012. godini na lokaciji Šašinovec u vegetativnom razdoblju palo je 68,9 % oborina u odnosu na optimalno potrebne, a u razdoblju oplodnje i nalijevanja zrna je bilo 29,4 % oborina u odnosu na optimalno potrebne. U 2013. godini na lokaciji Šašinovec ostvareni su najbolji vremenski uvjeti od svih prethodno spomenutih okolina jer je u vegetativnom razdoblju od svibnja do kolovoza palo 80,3 % oborina od optimalno potrebnih, a u razdoblju oplodnje i nalijevanja zrna čak 79,3 % oborina od optimalno potrebnih. Prosječne dnevne temperature samo su u srpnju bile više od optimalno potrebnih. Međutim, iako su u 2013. godini na ovoj lokaciji bili izuzetno povoljni uvjeti za rast i razvoj kukuruza ipak je prinos zrna u svim sklopovima bio manji u odnosu na 2012. godinu. Razlog leži u činjenici da raspored oborina nije bio dobar i da je najveći dio oborina palo u kolovozu - već izvan termina kada bi biljka mogla normalno naliti zrno i dati visoke prinose. S obzirom na uvjete koji su vladali na lokacijama tijekom 2012. i 2013. godine može se tvrditi da se pojavio i



toplinski stres. Toplinski stres ne samo da smanjuje prinos zrna kukuruza, već i mijenja kvalitetu kukuruznog škroba (Kaplan i sur., 2019).

Konačni prinos i kvaliteta zrna kukuruza rezultat su interakcije genetskih i okolišnih čimbenika te primjenjene agrotehnike. Iako genotip ima veliki utjecaj na konačni sastav zrna, temperatura i dostupna vlaga tijekom razvoja, ali posebno tijekom ključnih fizioloških razdoblja rasta, također igraju važnu ulogu.

Zbog postojanja značajne ( $P=0,001$ ) razlike u prinosima u ovom istraživanju u najsloženijoj interakciji: godina x lokacija x sklop x hibrid, provedbom zasebnih analiza za svaku lokaciju odnosno okolinu došli smo do rezultata koji govore da je u 2013. godini na sve tri ispitivane lokacije utvrđena statistički značajna ( $P=0,001$ ) razlika u prinosima unutar istraživanih hibrida. Pri tome je važno napomenuti da su na sve tri lokacije u 2013. godini HTF ostvarili veći prosječni prinos zrna u odnosu na nenamjenske hibride iz domaćih oplemenjivačkih programa. HTF hibrid PR37Y12 na sve tri lokacije uvijek je ostvario najveći prinos zrna kukuruza. Ono što je zanimljivo je to da se na istočnim lokacijama Kneževo i Osijek prethodno navedenom hibridu po ostvarenom prinosu najviše približio hibrid Os 378 koji kao i PR37Y12 pripada u FAO 300 grupu zrenja i gdje su ujedno hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili veće prinose u odnosu na hibride iz FAO grupe 500, dok se na lokaciji Šašinovec u pogledu prinosa zrna HTF hibridima najviše približio hibrid Bc 532 koji pripada FAO grupi 500 i gdje su u prosjeku hibridi iz te FAO grupe bili prinosniji od hibrida FAO grupe 300. Gustoća sklopa u 2013. godini nije utjecala na svojstvo prinosa zrna, te je samo na lokaciji Osijek najveći prosječni prinos ostvaren u najgušćim sklopovima od 80.000 biljaka/ha.

Podaci o prinosu u okolini Kneževo 2012. godine pokazali su postojanje značajne ( $P=0,001$ ) razlike u interakciji sklop x hibrid kao i unutar istraživanih hibrida. S povećanjem broja biljaka po jedinici površine s 60.000 biljaka/ha na 80.000 biljaka/ha nije utvrđen trend linearnog povećanja prinosa s povećanjem gustoće sklopa osim kod hibrida Bc 344, kod kojeg je najveći prinos zrna utvrđen u najvećoj gustoći sjetve (80.000 biljaka/ha). Ovdje imamo tri hibrida koja su relativno stabilnija u prinosu u odnosu na povećanje gustoće sklopa. To su Os 378, PR37Y12 i PR35F38 kod kojih su varijacije između različitih sklopova bile najmanje iako je interesantno za hibrid Os 378 da ipak nešto veći prinos ostvaruje u gustoći od 60.000 biljaka/ha kao i hibrid PR37Y12 za koje se očekuje da bi veće prinose ipak ostvarivali u većim gustoćama sklopa. U ovim uvjetima na ovoj lokaciji bi prethodno navedena tri hibrida (Os 378, PR37Y12 i PR35F38) bila dobra kod izbora za sjetvu upravo zbog tog malog variranja u prinosu utvrđenog kroz različite sklopove. Na ovom primjeru vidi se i utjecaj kako klimatske prilike utječu na promjene u preporučenim sklopovima sjetve. Jer ono što vrijedi u prosječnim uvjetima, nikako ne vrijedi u uvjetima koji su vladali u

Kneževu u 2012. godini. Ovi rezultati su dijelom u suglasju sa zaključcima Murányi (2015) koja u svom istraživanju koristeći gustoće sklopova od 50.000, 70.000 i 90.000 biljaka/ha, dodatno skreće pozornost da ako je raspodjela oborina u određenoj godini ekstremna, izvanredni rezultati prinosa ne mogu se postići primjenom gušće populacije biljaka čak niti na tlima s izvrsnim svojstvima. HTF hibridi su imali manju varijabilnost u svojstvu prinosa zrna na lokaciji Kneževo u 2012. godini i ostvarili su veći prosječni prinos zrna u odnosu na nenamjenske hibride iz domaćih oplemenjivačkih programa. Na lokaciji Kneževo u 2012. godini hibridi iz FAO grupe 300 ostvarili su veće prosječne prinose u odnosu na hibride iz FAO grupe 500, a najveći prosječni prinosi ostvareni su u sklopovima od 60.000 biljaka/ha.

Na lokaciji Osijek u 2012. godini rezultati pokazuju postojanje značajne ( $P=0,05$ ) razlike u interakciji sklop x hibrid i unutar istraživanih sklopova, dok između istraživanih hibrida postoji značajna razlika u prinosu na razini od  $P=0,01$ . Dva hibrida (P35F38 i Osk 515) svoje najveće prinose ostvaruju u sklopovima od 80.000 biljaka/ha, a najmanje u sklopovima od 60.000 biljaka/ha. Ostali istraživani hibridi svoje najveće prinose zrna ostvaruju u sklopovima od 70.000 biljaka i upravo se sklop od 70.000 biljaka/ha na lokaciji Osijek u 2012. godini pokazao kao najprinosniji. U njemu su svi hibridi koji pripadaju FAO grupi 300 ostvarili svoje najveće prinose što im je omogućilo da u konačnici imaju i bolji prosječni prinos od hibrida iz FAO grupe 500. I u ovoj okolini HTF hibridi daju veći prosječni prinos u odnosu na prinos nenamjenskih hibrida domaće selekcije. Rezultati iz 2012. godine sa lokacija Kneževo i Osijek u suglasju su s istraživanjima koje su proveli Luca i Tabara (2010) koristeći tri različite gustoće sklopa (40.000, 55.000 i 70.000 biljaka/ha) na šest različitih Pioneer hibrida kukuruza koji su zaključili da se optimalna gustoća sjetve za maksimalni prinos zrna kukuruza po jedinici površine razlikuje od hibrida do hibrida zbog značajne interakcije između hibrida i različitog broja biljaka po sjetvenoj površini, te Moussavi i sur. (2011) koji su proveli istraživanje na četiri hibrida iz različitih grupa zrelosti (rane, srednje i kasne zriobe) koje su uzgajali u četiri različite gustoće sklopa (65.000, 75.000, 85.000 i 95.000 biljaka/ha) te došli do zaključka da postoji značajan utjecaj hibrida, gustoće i njihovog međudjelovanja na prinos zrna kukuruza.

Na lokaciji Šašincev u 2012. godini rezultati su pokazali postojanje statistički značajne razlike na razini  $P=0,001$  unutar istraživanih hibrida, te između sklopova. Ova okolina u obje godine istraživanja pokazala se kao najprinosnija u odnosu sve ostale, te je ujedno i jedina okolina u kojoj su svi istraživani hibridi svoje najveće prinose ostvarili u najgušćim sklopovima od 80.000 biljaka/ha. Upravo zbog vremenskih uvjeta koji su vladali u 2012. godini na lokaciji Šašincev, a kada je raspored oborina bio povoljniji došlo je do linearnog povećanja prinosa s povećanjem gustoće sklopova. U tim uvjetima svako povećanje za 10.000 biljaka/ha povećalo je za 5 % prinos zrna kukuruza. Ovo je u suglasju sa zaključcima

koje izvode Fromme i sur. (2019) koji kažu da je učinak gustoće sklopa važan faktor za prinos kukuruza, međutim povećanje prinosa povezano s većom populacijom biljaka može ovisiti o genetskoj predispoziciji hibrida kukuruza da toleriraju različite uvjete okoliša i stresove povezane s većom populacijom, a kako su na ovoj lokaciji u 2012. godini stresni uvjeti okoline bili najmanje izraženi nisu dodatno negativno djelovali na prinos kroz povećanje broja biljaka/ha, već su biljke mogle maksimalno iskoristiti svoj genetski potencijal za maksimiziranje prinosa. Iako su u ovoj okolini dva najbolja prinosa ostvarili nenamjenskih hibridi domaće selekcije (Os 378 i Bc 532), HTF hibridi su i ovdje u prosjeku ostvarili veće prinose zrna.

U tri istraživane okoline (Kneževo 2013., Osijek 2012. i Šašincev 2013.) prinos se povećava s povećanjem gustoće sklopa od 60.000 biljaka/ha do 70.000 biljaka/ha, a nakon toga s novih 10.000 biljaka/ha povećanja gustoće sklopa dolazi do smanjenja prinosa. Treba samo još ovdje navesti da se u Kneževu prinos zrna povećao za 9 % u 2013. godini povećanjem gustoće sklopa sa 60.000 biljaka/ha na 70.000 biljaka/ha što je ujedno bilo i najveće povećanje prinosa. Ovi rezultati su u suglasju s rezultatima koje su proveli Ijaz i sur. (2015) proučavajući utjecaj četiri različite gustoće sklopa (30.000, 50.000, 70.000 i 92.000 biljaka/ha) na razvoj biljaka i prinos hibrida kukuruza. Autori su došli do zaključka da su različite gustoće sklopova različito utjecale na pojedine komponente prinosa, te da je maksimalni prinos zrna po klipu ostvaren u gustoći sklopa od 70.000 biljaka što bi predstavljalo preporučenu gustoću sjetve za istraživani hibrid u ispitivanoj proizvodnoj okolini. Ovim tvrdnjama ide u prilog i činjenica da je prosječni preporučeni sklop za ispitivane hibride u ovom istraživanju 70.583 biljke/ha. U uvjetima koji su se pojavili tijekom istraživanja u ove tri prethodno navedene okoline, rezultati pokazuju, da nije ekonomski opravdano ići u povećanje sklopova radi pokušaja ostvarivanja viših prinosa.

Prema dostupnim podacima o svojstvima tala na kojima je uzgajan kukuruz za potrebe ovog doktorskog rada, može se utvrditi da je prinos zrna u 2012. godini na lokacijama Beli Manastir i Osijek, isključivo bio pod utjecajem vremenskih prilika odnosno neostatka oborina. Naime, na prije navedenim lokacijama tla su povoljne teksture i strukture ali i ostalih dobrih svojstava. No, zbog velikog nedostatka oborina, biljke nisu mogle iz tla osigurati potrebne količine vode za stvaranje većeg prinosa zrna. Ova činjenica može se potkrijepiti i podacima o prinosu zrna u 2013. godini u kojoj je na obje lokacije, Kneževo i Osijek, ostvaren bolji prinos kada je biljkama bilo više vode u tlu na raspolaganju tijekom faze nalijevanja zrna. Prinos zrna kukuruza raste s povećanjem gustoće sjetve do određene maksimalne vrijednosti, a zatim se smanjuje. Maksimalni prinos ovisi o sorti (hibridu), okolišu, plodnosti tla i parametrima sjetve.

Sagledavajući u cijelosti prikupljene podatke o prinosu zrna u ovom istraživanju može se reći da je ono u suglasju sa zaključcima koje izvode Milander i sur. (2016), da je reakcija prinosa zrna kukuruza na povećanje gustoće sjetve, različita u različitim okolinama, na različitim tipovima tala i kod različitih hibrida, odnosno zaključcima istraživanja koje su proveli Haarhoff i Swanepoel (2020), a koji su izvijestili da se prinos nije značajnije mjenjao u različitim gustoćama sklopa kada je u početku vegetacije pala najveća količina oborina. Međutim, prinos se povećavao s povećanjem gustoće sklopa i kada je količina oborina bila oko prosječnih vrijednosti i kada su oborine bile dobro raspoređene s aspekta potreba biljaka za vodom.

Prinos zrna kukuruza raste s povećanjem gustoće sjetve do određene maksimalne vrijednosti, a zatim se smanjuje. Maksimalni prinos ovisi o sorti (hibridu), okolišu, plodnosti tla i parametrima sjetve. Za određeni hibrid, prinos kukuruza općenito raste kako se povećava gustoća sve dok jedan ili više čimbenika kao što su opskrba vodom, raspoloživa hranjiva za biljke i drugi ne postanu ograničavajući. Prema Tollenaar i sur. (1997) prinos zrna kukuruza opada kada se gustoća biljaka poveća iznad optimalne gustoće, prvenstveno zbog smanjivanja žetvenog indeksa i povećanja loma stabljike ispod klipa.

## 5.2. Sadržaj škroba u zrnu kukuruza

Za svojstvo sadržaj škroba rezultati pokazuju postojanje značajne ( $P=0,001$ ) razlike u interakciji godina x hibrid, značajne ( $P=0,01$ ) razlike u interakciji godina x lokacija, te značajne ( $P=0,01$ ) razlike unutar istraživanih sklopova. Prema dobivenim podacima iz ovog istraživanja sadržaj škroba u prosjeku bio je veći u 2013. godini. U 2013. godini bili su povoljniji klimatski uvjeti što se i odrazilo na nešto veći sadržaj škroba u zrnu kukuruza promatrajući same istraživane hibride, ali i lokacije na kojima je bilo provedeno ispitivanje. U prosjeku najveći sadržaj škroba utvrđen je na lokaciji Šašinovec i iznosio je 71,30 % i bio je neznatno veći od sadržaja škroba koji je utvrđen na lokaciji Osijek (71,24 %) i na lokaciji Kneževo (71,10 %). Prosječno najveći sadržaj škroba utvrđen je kod hibrida PR35F38 i iznosio je 71,74 %. Još su četiri hibrida imali u prosjeku sadržaj škroba veći od 71 %. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je najveći prosječni sadržaj škroba ostvaren u najvećoj gustoći sjetve što se može poistovjetiti s rezultatima istraživanja Wang i sur. (2023) koji su promatrali reakciju sadržaja škroba kod pet hibrida kukuruza posijanih u dvije gustoće sjetve i to: 45.000 i 105.000 biljaka/ha. U njihovom istraživanju također je najveći sadržaj škroba ostvaren u gušćem sklopu. Hibridi iz FAO grupe 500 imali su u prosjeku nešto veći sadržaj škroba u zrnu u odnosu na hibride iz FAO grupe 300. HTF hibridi imali su u prosjeku veći sadržaj škroba u odnosu na hibride domaće selekcije. Manji sadržaj škroba u 2012. godini može se povezati s lošijim klimatskim prilikama tijekom nalijevanja

zrna. Naime iz podataka o klimatskim prilikama na lokacijama Kneževo i Osijek može se utvrditi da se pojavio toplinski stres i stres suše što je dovelo do prethodno navedenih rezultata koji su u suglasju s rezultatima nekih autora koji na osnovu dobivenih rezultata svojih istraživanja zaključuju da toplinski stres koji se može pojaviti tijekom nalijevanja zrna povećava sadržaj proteina, smanjuje sadržaj škroba i mijenja fizikalno-kemijska svojstva škroba (Wang i Frei 2011, Thitisaksakul i sur. 2012, Beckles i Thitisaksakul 2014).

### 5.3. Hektolitarska masa zrna kukuruza

Kod hektolitarske mase rezultati nam pokazuju postojanje značajne razlike na razini od  $P=0,001$  za interakciju godina x lokacija x hibrid. Hektolitarska masa u prosjeku je bila veća u 2012. godini u odnosu na 2013. godinu. S obzirom na općenito lošije vremenske uvijete u 2012. godini i ostvarene manje prinose zrna neuobičajeno je da je hektolitarska masa u prosjeku veća nego u povoljnijoj 2013. godini. Odgovor na to leži u činjenici da je na lokaciji Šašinovec u 2012. kod većeg broja testiranih hibrida utvrđena veća hektolitarska masa u odnosu na ostale dvije lokacije. Hektolitarska masa blago se povećavala s povećanjem gustoće sjetve i to od 73,96 kg/hl kod 60.000 biljak/ha do 74,13 kg/hl koliko je utvrđeno u prosjeku kod gustoće sjetve od 80.000 biljaka/ha. Najveća u prosjeku hektolitarska masa utvrđena je na lokaciji Šašinovec i iznosila je 74,68 kg/hl. S druge strane najmanja hektolitarska masa utvrđena je na lokaciji Osijek i iznosila je 73,54 kg/hl. Kod hibrida u prosjeku najveća hektolitarska masa utvrđena je kod hibrida PR35F38 (76,56 kg/hl), a najmanja kod hibrida Osk 515 (72,38 kg/hl). U prosjeku su hibridi iz FAO grupe 300 imali veću hektolitarsku masu koja je iznosila u prosjeku 74,25 kg/hl u odnosu na hibride iz FAO grupe 500 kod kojih je prosječna hektolitarska masa iznosila 73,87 kg/hl.

HTF hibridi imali su u prosjeku veću hektolitarsku masu u odnosu na hibride domaće selekcije jer je njihovo variranje u hektolitarskoj masi ostvareno u dvije testirane vegetacije bilo manje u odnosu na hibride domaćih oplemenjivačkih programa. Prosječna hektolitarska masa HTF hibrida iznosila je 75,48 kg/hl, a kod ostalih hibrida 73,35 kg/hl. U ovom istraživanju utvrđeno je da se povećanjem gustoće sjetve povećava i prosječna hektolitarska masa, ali ona nije bila statistički značajna. Utjecaj gustoće sklopa na hektolitarsku masu može se obrazložiti time što gustoća sklopa utječe na masu 1000 zrna, volumen zrna i na gustoću zrna. U istraživanjima koje su proveli Wang i sur. (2023b), utvrđeno je da se masa 1000 zrna smanjuje linearno s povećanjem gustoće sklopa. Do sličnih rezultata su došli Zhang i sur. (2014) i Amanullah i sur. (2009), a kako navode Wang i sur. (2023b). Navedeni autori dalje navode da je povećanje gustoće sklopa rezultiralo značajnim smanjenjem volumena zrna, zbog čega je došlo do smanjenja prostora između zrna, omogućujući zrnima da se slože bliže jedno drugom. Kao rezultat toga je taj da su se

i broj zrna po volumenu i efikasnost pakiranja zrna, lineararno povećavali s povećanjem gustoće sklopa. Prema istim autorima i masa 1000 zrna i broj zrna po jedinici volumena bili su povezani s gustoćom sklopa s tim da se masa 1000 zrna lineararno smanjivala s povećanjem gustoće sklopa dok se broj zrna po volumenu lineararno povećavao s povećanjem gustoće sklopa.

#### 5.4. Omjer amiloze i amilopektina

Za svojstvo omjer amiloze i amilopektina utvrđeno je postojanje značajne razlike na nivou od  $P=0,05$  za interakciju godina x lokacija. U 2012. godini koja je bila općenito nepovoljnija za proizvodnju kukuruza, utvrđen je nešto veći omjer amiloze i amilopektina nego u 2013. godini, što znači da je u 2012. godini i sadržaj amiloze u sastavu škroba bio veći, a za koju je sa gledišta proizvodnje etanola prihvatljivije da je ima manje u sastavu škroba, jer se škrob sa većim sadržajem amilopektina lakše razgrađuje nego škrob koji u svom sastavu ima visok sadržaj amiloze (Srichuwong i sur., 2010), i može značajno utjecati na samu proizvodnost etanola. Za očekivati je bilo da će nešto manje amiloze biti u 2012. godini u odnosu na 2013. godinu zbog pojave stresnih uvjeta, međutim to se nije dogodilo. Naime, Lu i sur. (1996) u svom istraživanju zaključili su da je u stresnim uvjetima došlo do smanjenja amiloze u odnosu na amilopektin. Navedeni zaključak samo je dijelom u suglasju sa rezultatima dobivenim u ovom istraživanju, jer je samo na lokaciji Osijek ostvaren manji udio amiloze u sastavu škroba u 2012. za proizvodnju kukuruza nepovoljnijoj godini. Martínez i sur. (2017) su proučavajući utjecaj lokacije i roka sjetve na sadržaj škroba u zrnu kukuruza došli do zaključka da su na postotak amiloze u zrnu i omjer amiloza/škrob utjecali okolišni uvijeti. Unatoč relativno stabilnoj koncentraciji škroba u zrnu kukuruza, na sastav škroba utjecala je lokacija i rok sjetve što je djelimično i u suglasju sa rezultatima ovog istraživanja.

Međutim omjer između amiloze i amilopektina je i hibridno svojstvo. Naime iz podataka za hibride u prosjeku omjer između amiloze i amilopektina se kretao od 0,256 koliko je iznosio kod hibrida PR37Y12, do 0,272 koliko je iznosio kod hibrida Bc 532. Najveći omjer između amiloze i amilopektina utvrđen je na lokaciji Kneževo i u prosjeku je iznosio 0,273. Na ostale dvije lokacije Osijek i Šašinovec bio je manji i iznosio je 0,264. S povećanjem gustoće sjetve došlo je do smanjenja u omjeru između amiloze i amilopektina. Tako je u gustoći sjetve od 60.000 biljaka/ha omjer između amiloze i amilopektina iznosio 0,270. U gustoći sjetve od 70.000 biljaka/ha omjer je iznosio 0,263, a u sklopu od 80.000 biljaka/ha omjer između amiloze i amilopektina iznosio 0,267.

Omjer amiloze i amilopektina u prosjeku bio je manji za FAO grupu 300 u odnosu na vegetacijsku FAO grupu 500. U prosjeku omjer između amiloze i amilopektina kod HTF hibrida bio je neznatno manji (0,263) u odnosu na ostale hibride (0,269). Promjena u svojstvima škroba može se odraziti i na prinos etanola u konačnici. Omjer amiloze i amilopektina može ukazivati na efikasnost pretvorbe škroba u etanol. Naime, Yangcheng i sur. (2013) su u dvogodišnjem istraživanju proučavali prosječnu učinkovitost pretvorbe škroba u etanol iz kukuruza koji su imali dva različita tipa endosperma: voštanog i normalnog. Nakon obavljene karakterizacije škroba iz uzoraka koja je uključivala sadržaj amiloze, raspodjelu duljine grana lanca amilopektina, toplinska svojstva i enzimatsku hidrolizu sirovog škroba, hidrolizom škroba došli su do rezultata da je više od 90% škroba u voštanom kukuruzu bilo hidrolizirano, dok je kod uzoraka sa normalnim endospermom hidrolizirano manje od 80% škroba.

## 5.5. Prinos etanola

Etanol je rezultat fermentacije škroba, međutim koncentracija (sadržaj) škroba u zrnu nije dobar pokazatelj količine etanola koji se može proizvesti iz zrna kukuruza. Fizička svojstva škrobno-proteinske matrice i kemijska struktura škroba mogu biti bolji pokazatelji potencijalnog prinosa etanola iz kukuruza (Dien i sur., 2002.).

Statistički značajna ( $P=0,01$ ) razlika za svojstvo proizvodnosti etanola utvrđena je kod interakcija: godina x hibrid i godina x lokacija, dok je značajna ( $P=0,05$ ) razlika utvrđena za interakciju godina x gustoća sjetve. Prosječni prinos etanola u 2012. godini bio je veći u odnosu na prosječno proizvedene količine etanola u 2013. godini iako je ona bila povoljnija za uzgoj kukuruza i hibridi su ostvarivali veći sadržaj škroba u zrnu. Ovo je pomalo neuobičajeno s obzirom da su u 2013. godini utvrđeni veći prinosi zrna, a i tijekom vegetacije nisu utvrđeni izraziti stresni uvjeti koji bi utjecali na proizvodnju etanola. To drugim riječima znači da postoje i neki drugi čimbenici koji utječu na mogućnost pretvorbe škroba u etanol. Tako se naprimjer s povećanjem udjela amiloze u škrobu smanjuje količina dobivenog etanola (Wu i sur., 2006). To nije u suglasju s podacima koje smo dobili u ovom istraživanju. Gdje je omjer između amiloze i amilopektina bio veći, dobivena je veća količina etanola (2012. godina omjer amiloze i amilopektina = 0,271 = 130 l/t zrna etanola i 2013. godina omjer amiloze i amilopektina = 0,262 = 124 l/t zrna). U prosjeku najviše je etanola dobiveno po toni zrna na lokaciji Kneževo (129 l/t zrna), a najmanje na lokaciji Osijek (123 l/t zrna). Na lokaciji Šašincev u prosjeku je dobiveno 128 l/t zrna.

Među hibridima u prosjeku najviše litara etanola po toni zrna dobiveno je kod hibrida Bc 532 (130 l/t zrna). Samo nešto malo manje etanola po toni zrna utvrđeno je kod hibrida PR35F38 (130 l/t). Svi ostali hibridi dali su između 123 i 126 litara etanola po toni zrna. Hibridi iz FAO

grupe 300 dali su u prosjeku manje etanola po toni zrna u odnosu na hibride iz FAO grupe 500. Tako su hibridi iz FAO grupe 300 dali u prosjeku 126 l/t, a hibridi iz FAO rupe 500 128 l/t. HTF hibridi u prosjeku su dali više etanola po toni zrna u odnosu na ostale hibride. Tako su HTF hibridi u prosjeku dali 128 l/t, a ostali hibridi 126 l/t. I na kraju važno je istaći da je u prosjeku najviše etanola dobiveno u gustoći sklopa od 70.000 biljak/ha (129 l/t), a najmanje u gustoći sklopa od 80.000 biljaka/ha gdje je utvrđeno 122 l/t. Interesantno je za primijetiti da je neznatno manje u prosjeku utvrđeno etanola u gustoći sjetve od 60.000 biljaka u odnosu na gustoću sjetve od 70.000 biljak/ha. U gustoći sjetve od 60.000 biljak/ha prosječan prinos etanola iznosio je 128,79 l/t. Iz svega navedenog je vidljivo da najviše etanola nije utvrđeno u najvećoj gustoći sjetve što je u suprotnosti s rezultatima koje u svom radu iznosi Hemeyer (2010) koji je kroz različite gustoće sjetve proučavao 6 različitih proizvodnih okolina u dvije godine i njihov utjecaj na na prinos etanola i komponente zrna kukuruza. Isti autor je dobio rezultate gdje se u prosjeku za sve lokacije prinos zrna povećao za 42% od gustoće sjetve koja je proizvela najmanji prinos do gustoće sjetve koja je proizvela najveći prinos. Isti autor izvještava da su manje varijacije primijećene za: prinos etanola dobivenog iz postupka suhe meljave i to za 1 %, prinos etanola dobivenog iz postupka vlažne meljave za 2,2 %, škroba za 1,2 % i proteina za 13,4 %., dok su razlike između između okolina s najvećim prinosom i okolina s najnižim prinosom u prosjeku za sve gustoće sjetve bile: 130 % za prinos zrna, 3,9 % za prinos etanola iz postupka suhe meljave, 2,5 % za prinos etanola iz postupka mokre meljave, 4,5 % za sadržaj škroba, 46 % za sadržaj lipida i 14 % za sadržaj proteina.

Određeni autori navode da općenito postoji slaba korelacija između koncentracije škroba u zrnu i ukupno proizvedene količine etanola i to uglavnom zbog toga što su škrobna zrnca pomiješana sa proteinskim matriksom s kojim je u interakciji (Zhan i sur., 2003, Singh, 2012, Singh i Graeber, 2005, Dien i sur., 2012, Gumienna, 2016). Uzorci kukuruza sa različitim sadržajem škroba mogu biti jednako produktivni u pogledu proizvodnje etanola. Radosavljević i sur. (2009), u svom istraživanju pet različitih hibrida kukuruza dobili su gotovu podjednaku količinu etanola iz uzoraka kukuruza čiji su se prosječni sadržaji škroba razlikovali za čak 4,48 %. Dobiveni rezultat obrazlažu na način da se maksimalni sadržaj etanola postiže nakon 36 sati fermentacije. Nakon toga dolazi do blagog pada koncentracije etanola što ukazuje na potrebu završetka procesa fermentacije nakon ovog vremena. Ovaj pad koncentracije etanola objašnjavaju činjenicom da su u tom periodu već skoro potpuno potrošeni fermentabilni šećeri iz podloge pa kvasac počinje koristiti etanol kao hranu. Ovo objašnjenje se može koristiti i za objašnjenje podataka dobivenih u ovom istraživanju.

Ovo istraživanje je pokazalo sljedeće: nema jasne povezanosti između sadržaja škroba u zrnu i prinosa etanola; klimatske prilike imale su najvažniji utjecaj na svojstva koja su



proučavana u ovom istraživanju; kod nekih hibrida postoji velika varijabilnost u određenim svojstvima; nije moguće donjeti zaključak o postojanju „idealnog“ hibrida koji bi bio superioran u svim proučavanim svojstvima; iako su lokacije korištene u istraživanju po svojim karakteristikama osiguravale dovoljno različitosti za utvrđivanje utjecaja pojedinog lokaliteta na određeno istraživano svojstvo, to se nije moglo pouzdano utvrditi zbog utjecaja vremenskih prilika koje su bile različite u godine u kojima je istraživanje provedeno.

## 6. ZAKLJUČCI

U suglasju s postavljenim hipotezama dobiveni su slijedeći zaključci:

Hibridi koji su namijenjeni za proizvodnju etanola ostvarili su veći prinos zrna i veći prinos etanola. Najveći prinos zrna od 10.143 kg/ha ostvario je HTF hibrid (PR37Y12). Međutim neznatno manji prinos od 9.948 kg/ha ostvario je hibrid Os 378 iz domaće selekcije i sa tim prinosom bio je bolji od drugog HTF hibrida (PR35F38) koji je ostvario prinos od 9.625 kg/ha. Zanimljiva je činjenica da dva najrodnija hibrida u istraživanju pripadaju vegetacijskoj FAO grupi 300. Najveći pojedinačni prinos etanola po toni zrna ostvario je hibrid Bc 532, nenamjenski hibrid domaće selekcije (131 l/t). Neznatno manje etanola po toni zrna dao je HTF hibrid PR35F38 (130 l/t). Ovdje treba istaknuti da ova dva hibrida pripadaju vegetacijskoj FAO grupi 500. HTF hibridi zbog većeg prinosa zrna po hektaru i zbog boljeg prinosa etanola iz jedne tone zrna ostvaruju ukupno veće prinose etanola po jedinici površine. Iako hibrid Bc 532 ima najveći prinos etanola po toni zrna, hibrid PR35F38 iz skupine HTF hibrida ima veći ukupni prinos etanola po jedinici površine. Iz svega se može zaključiti da potencijal proizvodnje etanola po jedinici površine više ovisi o potencijalu rodности hibrida a manje o potencijalu proizvodnje etanola iz iste količine zrna.

Druga hipoteza se odbija jer nisu svi hibridi ostvarili najveće prinose zrna i etanola u gušćem sklopu. Kada se govori o prinosu zrna onda kod jednog hibrida postoji upravo obrnuto, odnosno u najrjeđem sklopu (60.000 biljaka/ha) ostvaren je najveći prinos (Ossk 515). Ovu hipotezu mogli bi potvrditi podaci dobiveni kod dva hibrida (Bc 344 i PR35F38). Naime kod ova dva hibrida prinos zrna kontinuirano se povećava od gustoće sjetve od 60.000 biljaka/ha do gustoće sjetve od 80.000 biljaka/ha. Kod preostala tri hibrida (Bc 532, Os 378 i PR37Y12) najveći prinos u prosjeku je ostvaren u gustoći sjetve od 70.000 biljaka/ha. Kada je u pitanju prinos etanola niti jedan hibrid ne bi mogao potvrditi postavljenu hipotezu. Naime kod dva hibrida (Bc 532 i PR37Y12) prinos etanola smanjuje se od najmanje gustoće sjetve (60.000 biljaka/ha) prema najvećoj gustoći (80.000 biljaka/ha). Kod preostala četiri hibrida (Bc 344, Os 378, Ossk 515 i PR35F38) najveći prinos etanola ostvaren je u gustoći sjetve od 70.000 biljaka/ha. Kod tri od navedena četiri hibrida najmanji prinos etanola ostvaren je u najvećoj gustoći sjetve (80.000 biljaka/ha).

Prosječni prinos etanola po hektaru bio je veći kod HTF hibrida i iznosio je 1270 l/ha. Ostali nenamjenski hibridi ostvarili su prosječni prinos etanola od 1101 l/ha. Hibridi iz vegetacijske FAO grupe 300 dali su u prosjeku više etanola po hektaru (1226 l/ha) u odnosu na hibride iz vegetacijske FAO grupe 500 (1182 l/ha). Najviše u prosjeku etanola dobiveno je u gustoći sjetve od 70.000 biljaka/ha (1248 l/ha). U gustoći sjetve od 60.000 biljaka/ha dobiveno je

1199 l/ha, a u najvećoj gustoći sjetve (80.000 biljaka/ha) 1165 l/ha. Na kraju se može zaključiti sljedeće: HTF hibridi su bili bolji u prinosu zrna i prinosu etanola, s tim da pojedini nenamjenski hibridi domaće selekcije mogu vrlo dobro konkurirati i u prinosu zrna i u prinosu etanola. Iz ovog istraživanja nameće se i zaključak da se na lokacijama na kojima su provedena istraživanja i u klimatskim uvjetima koji su vladali tijekom 2012. i 2013. godine gustoća sjetve od 70.000 biljaka/ha pokazala kao najbolja u proizvodnji etanola po jedinici površine. Kako bi se dobili još bolji i kvalitetniji podaci o utjecaju gustoće sklopa na prinos zrna i prinos etanola, potrebno je u budućim istraživanjima uključiti još više lokacija i hibrida, te dodatno istražiti interakciju između hibrida, klimatskih uvjeta i primijenjene agrotehnike.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Abdala L. J., Gambin B. L., Borrás L. (2018). Sowing date and maize grain quality for dry milling. *European Journal of Agronomy* 92: 1-8
2. Abendroth L.J., Elmore R.W., Boyer J., Marlay K. (2011). *Corn Growth and Development*. PMR 1009, Iowa State University Extension, Ames, Iowa
3. Afukawa J.J., Crookston R.K., Jones R.J. (1984). Effect of temperature and sucrose availability on kernel black layer development in maize. *Crop Science* 24:285-288 doi: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400020018x
4. Ahmadi M., Wiebold W.J., Beuerlein J.E., Eckert D.J., Schoper J. (1993). Agronomic Practices that Affect Corn Kernel Characteristics. *Agronomy Journal* Vol. 85 (3): 615-619 doi: 10.2134/agronj1993.00021962008500030018x
5. Alcazar-Alay S.C., Meireles M.A.A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology* 35(2): 215-236 doi: 10.1590/1678-457X.6749
6. Assefa Y., Prasad P.V.V., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Ciampitti I.A. (2016). Yield Responses to Planting Density for US Modern Corn Hybrids: A Synthesis-Analysis. *Crop Science* 56: 2802-2817
7. Assefa Y., Prasad P.V.V., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Ciampitti I.A. (2017). A new insight into corn yield: trends from 1987 through 2015. *Crop Science* 57: 2799-2811
8. Banaj A., Tadić V., Petrović D., Banaj Đ., Stipešević B. (2021). Utjecaj načina sjetve u petogodišnjem razdoblju na prinos zrna kukuruza. *Agronomski glasnik* 1-2: 29-42 (preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/clanak/394773>, 23.09.2024.)
9. Barary M., Kordi S., Rafie M., Mehrabi A.A. (2014). Effect of Harvesting Time on Grain Yield, Yield Components, and Some Qualitative Properties of Four Maize Hybrids. *International Journal of Agricultural and Food Research* Vol. 3 No. 4: 1-7 (preuzeto s: [https://www.researchgate.net/profile/Mehrshad-Barary/publication/313844326\\_Effect\\_of\\_Harvesting\\_Time\\_on\\_Grain\\_Yield\\_Yield\\_Components\\_and\\_Some\\_Qualitative\\_Properties\\_of\\_Four\\_Maize\\_Hybrids/links/5ae9112eaca2725dabb519a1/Effect-of-Harvesting-Time-on-Grain-Yield-Yield-Components-and-Some-Qualitative-Properties-of-Four-Maize-Hybrids.pdf?origin=journalDetail&\\_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9](https://www.researchgate.net/profile/Mehrshad-Barary/publication/313844326_Effect_of_Harvesting_Time_on_Grain_Yield_Yield_Components_and_Some_Qualitative_Properties_of_Four_Maize_Hybrids/links/5ae9112eaca2725dabb519a1/Effect-of-Harvesting-Time-on-Grain-Yield-Yield-Components-and-Some-Qualitative-Properties-of-Four-Maize-Hybrids.pdf?origin=journalDetail&_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9), 24.09.2024.)
10. Barnabas B., Jagerm K., Feher A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment* 31: 11-38.

11. Bašić F. (2014). Regionalizacija hrvatske poljoprivrede za skladno uključivanje u zajedničku poljoprivrednu politiku EU. *Civitas Crisiensis: radovi Zavoda za znanstvenoistraživački i umjetnički rad Koprivničko-križevačke županije u Križevcima*, 1(1), 143-176
12. Bc institut (2017), Bc 344 (preuzeto s: <https://bc-institut.hr/en/maize/bc-344/>, 01.09.2024.)
13. Bc institut (2017a), Bc 532 (preuzeto s: <https://bc-institut.hr/kukuruz/bc-532/>, 01.09.2024.)
14. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. (2018). Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* 5, 180214 (preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/328617968\\_Present\\_and\\_future\\_Koppen-Geiger\\_climate\\_classification\\_maps\\_at\\_1-km\\_resolution](https://www.researchgate.net/publication/328617968_Present_and_future_Koppen-Geiger_climate_classification_maps_at_1-km_resolution), 23.09.2024.)
15. Beckles D.M., Thitisaksakul M. (2014). How environmental stress affects starch composition and functionality in cereal endosperm. *Starch/Stärke* 66: 58–71
16. BeMiller J. N., Whistler R. L. (1996). *Carbohydrates. Food Chemistry.* MarcelDekker, Inc. New York
17. Bernhard B.J., Below F.E. (2020). Plant population and row spacing effects on corn: Plant growth, phenology, and grain yield. *Agronomy Journal* 112: 2456-2456 (preuzeto s: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20245>, 27.09.2024.)
18. Bhatia G. (2021). Characterization of amylose lipid complexes and their effect on the corn dry grind process. Master thesis in Agricultural and Biological Engineering in the Graduate College of the University of Illinois Urbana Champaign, USA
19. Bian M., Sun D.K., Sun D.F., Sun G.L. (2015). Characterization of agronomic and quality traits and HSW-G5 compositions from the progenies of common wheat (*Triticum aestivum* L.) with different protein content. *Genetics and Molecular Research* 14 (1): 1975-1985
20. Boomsma C.R., Santini J.B., Tollenaar M., Vyn T.J. (2009). Maize Morphophysiological Responses to Intense Crowding and Low Nitrogen Availability: An Analysis and Review. *Agronomy Journal* 101: 1426–1452 doi: 10.2134/agronj2009.0082
21. Borrás L. i Otegui M.E. (2001). Maize Kernel Weight Response to Postflowering Source–Sink Ratio. *Crop Science* Vol. 41 (6): 1816-1822 doi: 10.2135/cropsci2001.1816
22. Bothast R.J., Schlicher M.A. (2005). Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. *Applied Microbiology and Biotechnology* 67: 19-25

23. Brooker D.B., Bakker-Arkema F.W., Hall. C.W. (1992). Drying and storage of grains and oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York, SAD
24. Bryan T. (2003). Pioneer 'rapid assay' identifies hybrids for above-average ethanol production potential. *Ethanol Prod Mag* 2003:36–38
25. Buenavista R.M.E., Siliveru K., Zheng Y. (2021). Utilization of Distiller's dried grains with solubles: A review. *Journal of Agriculture and Food Research* Vol. 5: 100195 (preuzeto s: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321000971?ref=pdf\\_download&fr=RR-2&rr=8c512f8d4ca26c86](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321000971?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8c512f8d4ca26c86), 18.09.2024.)
26. Bukhsh M.A. al. H.A., Ahmad R., Cheema Z.A., Ghafoor A. (2008). Production potential of three maize hybrids as influenced by varying plant density. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 45: 413-417
27. Butts-Wilmsmeyer C.J., Seebauer J.R., Singleton L., Below F.E. (2019). Weather During Key Growth Stages Explains Grain Quality and Yield of Maize. *Agronomy* 9: 16 doi:10.3390/agronomy9010016
28. Cheetham H., Millner J., Hardacre A. (2006). The effect of nitrogen fertilisation on maize grain quality and yield. *Agronomy* 36: 71-84 (preuzeto s: [https://www.agronomysociety.org.nz/uploads/94803/files/2006\\_10.\\_Effect\\_of\\_N\\_fert\\_on\\_maize\\_grain.pdf](https://www.agronomysociety.org.nz/uploads/94803/files/2006_10._Effect_of_N_fert_on_maize_grain.pdf), 24.09.2024.)
29. Choonuta A., Yunua T., Pichida N., Sangkharak K. (2015). Ethanol Production from Reused Liquid Stillage. *Energy Procedia* 79: 808 – 814 (preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215023024>, 22.10.2024.)
30. Ciampitti I.A., Vyn T.J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research* Vol. 133: 48-67 doi: 10.1016/j.fcr.2012.03.008
31. Cloninger F.D., Horrocks R.D., Zuber M.S. (1975). Effects of Harvest Date, Plant Density, and Hybrid on Corn Grain Quality. *Agronomy Journal* Vol. 67 (5): 693-695 doi: 10.2134/agronj1975.00021962006700050028x
32. Commuri P.D., Jones R.J. (1999). Ultrastructural characterization of maize (*Zea mays* L.) kernels exposed to high temperature during endosperm cell division. *Plant Cell Environment* 22: 375-385
33. Coradi P.C., Milane L.V., Camilo L.J., de Oliveira Andrade M.G. (2016). Effects of the Drying and Storage of Corn Grains in the Ethanol Yield for the Brazilian Conditions. 4th CIGR International Conference of Agricultural Engineering, Aarhus, Denmark, ID: 10 (preuzeto s: <https://conferences.au.dk/cigr-2016/full-papers>, 18.09.2024.)

34. Čop T. (2019). Trend proizvodnje kukuruza u Hrvatskoj. *Gospodarski list* 6 od 01.04.2019. (preuzeto s: <https://gospodarski.hr/rubrike/ratarstvo-rubrike/trend-proizvodnje-kukuruza-u-hrvatskoj/>; 16.09.2024.)
35. Dale R.T., Tyner W.E. (2006). Economic and Tehnical Analysis of Ethanol Dry Milling: Model Description. Agricultural Economics Department Purdue University, Staff Paper # 06-04 (preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/5218817\\_Economic\\_And\\_Technical\\_Analysis\\_Of\\_Ethanol\\_Dry\\_Milling\\_Model\\_Description](https://www.researchgate.net/publication/5218817_Economic_And_Technical_Analysis_Of_Ethanol_Dry_Milling_Model_Description), 18.09.2024.)
36. Daynard T.B. (1972). Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agronomy Journal* 64: 716-719
37. DeBruin J.L., Schussler J.R., Mo H., Cooper M. (2017). Grain Yield and Nitrogen Accumulation in Maize Hybrids Released during 1934 to 2013 in the US Midwest. *Crop Science* Vol. 57 (3): 1431-1446 doi: 10.2135/cropsci2016.08.0704
38. Dien B.S., Bothast R.J., Iten L.B., Barrios L., Eckhoff S.R. (2002.). Fate of Bt protein and influence of corn hybrid on ethanol production. *Cereal Chemistry* 79: 582-585
39. Dien B.S., Wicklow D.T., Singh V., Moreau R.A., Winkler-Moser J.K., Cotta M.A. (2012). Influence of *Stenocarpella maydis* infected corn on the composition of corn kernel and its conversion into ethanol. *Cereal Chemistry* 89:15–23
40. Douglas J.A., Dyson C.B., Sinclair D.P. (1982). Effect of plant population on the grain yield of maize under high yielding conditions in New Zealand. *N.Z. Journal of Agricultural Research* 25: 147-149
41. Drapcho C.M., Nhuan N.P., Walker T.H. (2008). *Biofuels Engineering Technology*. McGraw-Hill. (preuzeto s: [https://podaci.dzs.hr/2021/hr/10142](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63901555/Biofuels_Engineering_Process_Technology20200712-29306-1asskwb-libre.pdf?1594601213=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DBiofuels_Engineering_Process_Technology.pdf&Expires=1706458855&Signature=QpoTkiwpaS7VxOuYzx4epTxAtOZIK6Hf7HoxzwxdeepakHo7Qrlx1XXAe26U29UHy~Rr3AxcGRUruNIGLs7vpjJw7~dwXiyDJw9Rcs9lgnquhcc~1EjQG7qNRkRw9HsrCkv8Jy6Mbi~RX-LjURWC2qZuzYEn-FGVTUwHto10psU38GufS6h~QXZ5mVAKQbPEfq2PW6Qth3XuB0DlfGrpeNdxAasEIVwh~w1cwfFITP2d-s1beMni5I9NZBqmLQhSxAVdRprX8C2Rx1FTxN-d-XE~NudUzgt6yjX6J3bcUQUmOJrq6Za2n6vKg8WxYkKlvuZ4PCPO73IDY9nFqChLQdyeKxw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA ; 24.01.2024.)</a></p>
<p>42. Državni zavod za statistiku (2022). Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2021. Privremeni podaci. (preuzeto s: <a href=); 01.12.2022.)

43. Duvick D.N. (1997). What is yield? p. 332-335 U: Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium, ur. Edmeades G.O., Banziger B., Mickelson H.R., Peña-Valdivia C.B. March 25-29, 1996, CIMMYT, El Batán, Mexico.. CIMMYT, México, D.F.
44. Duvick D.N., Smith J.S.C., Cooper M. (2004) Long-Term Selection in a Commercial Hybrid Maize Breeding Program. U: Plant Breeding Reviews: Part 2: Long-term Selection: Crops, Animals, and Bacteria (ur.: Jules Janick). John Wiley & Sons, Inc. New York, USA str: 109-151
45. Duvick D.N. (2005). Genetic Progress in Yield of United States Maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 50: 193-202
46. Edwards J.T., Purcell L.C., Vories E.D. (2005). Light Interception and Yield Potential of Short-Season Maize (*Zea mays* L.) Hybrids in the Midsouth. *Agronomy Journal* Vol. 97 (1): 225-234 doi: 10.2134/agronj2005.0225a
47. Edwards J.W. (2016). Genotype x Environment Interaction for Plant Density Response in Maize (*Zea mays* L.). *Crop Science* Vol. 56: 1493 – 1505 doi: 10.2135/cropsci2015.07.0408
48. Elmore R.W., Roeth F.W. (1999). Corn kernel weight and grain yield stability during post-maturity drydown. *Journal of Production Agriculture*: 12: 300-305
49. ePURE (2022). European renewable ethanol – key figures 2021. (preuzeto s: <https://www.epure.org/resources-statistics/statistics-infographics/>; 01.12.2022.)
50. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B.M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security* 14: 1295-1319
51. FAOSTAT (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. (preuzeto s: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>; 23.01.2024.)
52. Fox G., Manley M. (2009). Hardness Methods for Testing Maize Kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 5647-5657
53. Freeman G.H. (1973). Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity* 31(3): 339-354 (preuzeto s: <https://www.nature.com/articles/hdy197390#preview>, 24.09.2024.)
54. Fromme D.D., Spivey T.A., Grichar W.J. (2019). Agronomic Response of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids to Plant Populations. *International Journal of Agronomy* vol 2019: 1-8
55. Ge J., Xu Y., Zhao M., Zhan M., Cao C., Chen C., Zhou B. (2022). Effect of Climatic Conditions Caused by Seasons on Maize Yield, Kernel Filling and Weight in Central China. *Agronomy* 12: 1816 doi: 10.3390/agronomy12081816



56. Gerde J.A., Spinozzi J.I., Borrás L. (2017). Maize Kernel Hardness, Endosperm Zein Profiles, and Ethanol Production. *BioEnergy Research* volume 10: 760–771
57. Grbeša D. (2016). Hranidbena svojstva kukruza. Bc Institut Zagreb
58. Gumienna M., Szwengiel A., Lasik M., Szambelan K., Majchrzycki D., Adamczyk J., Nowak J., Czarnecki Z. (2016). Effect of corn grain variety on the bioethanol production efficiency. *Fuel* 164:386–392
59. Haarhoff S.J., Swanepoel P.A. (2020). Narrow rows and high maize plant population improve water use. *Agronomy Journal* 112: 921–931 doi: 10.1002/agj2.20085
60. and grain yield under conservation agriculture
61. Haegele J.W., Becker R.J., Henninger A.S., Below F.E. (2014). Row Arrangement, Phosphorus Fertility, and Hybrid Contributionsto Managing Increased Plant Density of Maize. *Agronomy Journal* 106: 1838-1846 doi: 10.2134/agronj2013.0382
62. Hardacre A.K., Brenton-Rule R., Clark S.M. (1997). The analysis of maize grain quality in New Zealand and calibration of testing methods. Report No. 367. Maize Garin Quality Committee, New Zealand Manufacturers Association. NZ Institute of Crop&Food Research Ltd., Christchurch, New Zealand.
63. Hashemi A.M., Herbert S.J., D.H. Putnam (2005). Yield Response of Corn to Crowding Stress. *Agronomy Journal* 97:839–846
64. Hemeyer B.A. (2010) Management practice effects on corn grain ethanol yield and ethanol byproduct quality. A Thesis Presented to Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science. University of Missouri (preuzeto s: <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/10559?show=full>, 27.09.2024.)
65. Hu Q., Buyanovsky G. (2003). Climate Effects on Corn Yield in Missouri. *Journal of applied meteorology* 42: 1626-1635
66. Hu Y., Li Y., Weng J., Liu H., Yu G., Liu Y, Xiao Q., Huang H., Wang Y., Wei B., Cao Y., Xie Y, Long T., Li H., Zhang J., Li X., Huang Y. (2020). Coordinated regulation of starch synthesis in maize endosperm by microRNAs and DNA methylation. *The Plant Journal*105: 108–123
67. Husnjak S. (2014.): *Sistematika tala Hrvatske*, Hrvatska sveučilišna naknada, Zagreb
68. Husnjak S., Bensa A. (2018). Pogodnost poljoprivrednog zemljišta za navodnjavanje u agrotegijama Hrvatske. *Hrvatske vode*, Vol. 26, 105:157-180
69. Ijaz M., Raza M.A.S., Ali S., Ghazi K., Yasir T.A., Saqib M., Naeem M. (2015). Differential planting density influences growth and yield of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Journal of Environmental & Agricultural Sciences* 2: 3

70. Ijkić D., Kranjac D., Zebec V., Varga I., Rastija M., Antunović M., Kovačević V. (2019). Stanje i perspektiva proizvodnje žitarica i uljarica u Republici Hrvatskoj. *Glasnik zaštite bilja* 3: 62-71
71. Inglett G.E. (1970). Kernel structure, composition and quality. *Corn: Culture, Processing, Products*. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA
72. Ivančić Šantek M., Miškulin E., Beluhan S, Šantek B. (2016). Novi trendovi u proizvodnji etanola kao biogoriva. *Kemijska Industrija* 65 (1-2): 25-38
73. Jane J., Chen Y.Y., Lee L.F., McPherson A.E., Wong K.S., Radosavljević M., Kasemsuwan T. (1999). Effect of amylopectin branch chain-length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry* 76(5):629-637
74. Jeswani H.K., Chilvers A., Azapagic A. (2020). Environmental sustainability of biofuels: a review. *Proceedings of the Royal Society A* 476: 20200351 <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351> (preuzeto s: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2020.0351>, 22.10.2024.)
75. Jia L., Jiao P., Zhang J., Zeng Z., Jiang X. (2019). Effect of Calibration Set Selection on Quantitatively Determining Test Weight of Maize by Near-Infrared Spectroscopy. *U: Computer and Computing Technologies in Agriculture (ur. Li, D.) X. CCTA 2016. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 509. Springer, New York, USA, str. 481-488
76. Jug D., Blažinkov M., Redžepović S., Jug I., Stipešević B. (2005). Utjecaj različitih varijanata obrade tla na nodulaciju i prinos soje. *Poljoprivreda* 11 (2): 38-43
77. Jug D. (2006). Reakcija ozime pšenice i soje na reeduciranu obradu tla na černozeu. *Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet u Osijeku*
78. Jug D., Stipešević B., Jug I., Stošić M., Kopas G. (2006). Prinos kukuruza (*Zea mays* L.) na različitim varijantama obrade tla. *Poljoprivreda*, Vol. 12 (2): 5-10
79. Jukić Ž. (2004). Otpuštanje vode iz zrna kukuruza u polju i u sušionici u procesu konvekcijskog sušenja. *Doktorska disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*
80. Kaplan M., Karaman K., Kardeş Y., Kale H. (2019). Phytic acid content and starch properties of maize (*Zea mays* L.): Effects of irrigation process and nitrogen fertilizer. *Food chemistry* 283: 375-380 doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.029
81. Khatefov E.B., Goldstein V.G., Krivandin A.V., Wasserman L.A. (2023). Main Characteristics of Processed Grain Starch Products and Features of the Starches from Maize (*Zea mays* L.) with Different Genotypes. *Polymers* 15: 1976 (preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/8/1976>, 02.10.2024.)

82. Kim T.H. (2000). Physical changes in maize (*Zea mays* L.) grains during postharvest drying. Doctoral dissertation. Massey University of New Zealand. (preuzeto s: <https://mro.massey.ac.nz/items/380d1e94-9809-4236-aba8-1605b2b2590e>, 08.10.2024.)
83. Klaochanpong N., Puttanlek C., Rungsardthong V., Puncha-arnon S., Uttapap D. (2015). Physicochemical and structural properties of debranched waxy rice, waxy corn and waxy potato starches. *Food Hydrocolloids* Vol. 45: 218-226 doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.010>
84. Klucinec J. D., Thompson D. B. (2002). Amylopectin nature and amylose-to amylopectin ratio as influences on the behavior of gels of dispersed starch. *Cereal Chemistry* 79: 24-35
85. Kocak E., Bilgili F., Bulut U., Kuskaya S. (2022). Is ethanol production responsible for the increase in corn prices? *Renewable Energy* Vol. 199: 689-696 (preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148122013258?via%3Dihub>, 17.09.2024.)
86. Kondić-Špika A., Mikić S., Mirosavljević M., Trkulja D., Marjanović Jeromela A., Rajković D., Radanović A., Cvejić S., Glogovac S., Dodig D., Božinović S., Šatović Z., Lazarević B., Šimić D., Novoselović D., Vass I., Pauk J., Miladinović D. (2022). Crop breeding for a changing climate in the Pannonian region: towards integration of modern phenotyping tools. *Journal of Experimental Botany* Vol. 73, No. 15: 5089–5110 (preuzeto s: <https://academic.oup.com/jxb/article/73/15/5089/6583379?login=false>, 23.09.2024.)
87. Kovačević V., Rastija M. (2014). *Žitarice*. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku Poljoprivredni fakultet, Osijek
88. Kozumplik V., Martinić-Jerčić Z. (2000). Oplemenjivanje ratarskog i povrtnog bilja u Hrvatskoj. *Agriculturae Conspectus Scientificus* vol. 65, no. 2: 129-141
89. Lee U, Kwon H., Wu M., Wang M. (2021). Retrospective analysis of the U.S. corn ethanol industry for 2005–2019: implications for greenhouse gas emission reductions. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 15:1318–1331 (preuzeto s: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bbb.2225>, 17.09.2024.)
90. Lemuz C.R., Dien B.S., Singh V., McKinney J., Tumbleson M.E., Rausch K.D. (2009). Development of an Ethanol Yield Procedure for Dry-Grind Corn Processing. *Cereal Chemistry* 86: 355-360
91. Li J., Zhao R., Xu Y., Wu X., Bean S.R., Wang D. (2022). Fuel ethanol production from starchy grain and other crops: An overview on feedstocks, affecting factors,

- and technical advances. *Renewable Energy* Vol. 188: 223-239 (preuzeto s: <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v188y2022icp223-239.html>, 17.09.2024.)
92. Loy D.D., Lundy E.L. (2019). Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts. *Corn: Chemistry and technology* (ur. Serna-Saldivar S.O.), St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists: 633-659
  93. Lu T., Jane J., Keeling P.L., Singletary G.W. (1996). Maize starch fine structures affected by ear developmental temperature. *Carbohydrate Research* 282: 157–170
  94. Luca S., Tabara V. (2010). Effect of plant density on the main physical and chemical indicators of some maize hybrids cultivated in the Arad plain. *Research Journal of Agricultural Science* 42: 148-153
  95. Mahanna B. (2011). The effect of growing environment and harvest management on yield and nutritional quality of corn silage and grain. *Mid-South Ruminant Nutrition Conference*: 11-17
  96. Manis J.M. (1992). Sampling, inspecting, and grading. U: *Storage of cereal grains and their products* (ur.: Sauer D.B.), American Association of cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, SAD, str.: 563-588
  97. Martínez R.D., Cirilo A.G., Cerrudo A., Andrade F.H., Reinoso L., Valentinuz O.R., Balbi C.N., Izquierdo N.G. (2017). Changes of starch composition by postflowering environmental conditions in kernels of maize hybrids with different endosperm hardness. *European Journal of Agronomy* 86: 71–77 doi: 10.1016/j.eja.2017.04.001
  98. Mason S.C., D'croz-Mason N.E. (2002) Agronomic Practices Influence Maize Grain Quality. *Journal of Crop Production* 5 (1-2): 75-91 doi: 10.1300/J144v05n01\_04
  99. Medić J., Abendroth L.J., Elmore R.W., Jane J. (2015). Effect of planting date on maize starch structure, properties, and ethanol production. *Starch/Stärke* 67: 1–12 doi: 10.1002/star.201500233
  100. Milander J.J. (2015). *Maize Yield and Components as Influenced by Environment and Agronomic Management*. Master's Thesis on Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska, Department of Agronomy and Horticulture: Dissertations, Theses, and Student Research. 86 (preuzeto s: <https://digitalcommons.unl.edu/agronhortdiss/86> , 07.10.2024.)
  101. Milander J.J., Jukic Z., Mason S.C., Glausha T., Kmail Z. (2016). Plant Population Influence on Maize Yield Components in Croatia and Nebraska. *Crop Science* Vol. 56: 2742-2750 doi: 10.2135/cropsci2015.09.0565
  102. Milašinović M. (2005). Fizičke, hemijske i tehnološke karakteristike novih ZP hibrida kukuruza. Magistarski rad. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
  103. Milašinović M., Radosavljević M., Dokić Lj., Jakovljević J. (2007). Wet-milling properties of ZP maize hybrids. *Maydica* 52: 289-292

104. Milašinović-Šeremešić M., Radosavljević M., Đuragić O., Srdić J. (2021). Starch composition related to physical traits in maize kernel. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 25 (2): 78-81. doi: 10.5937/jpea25-31593
105. Miljević I. (2017). Utjecaj različitih rasporeda sjetvenih redova i gustoće sjetve na prinos kukuruza (*Zea mays* L.) 2016. godine. Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet (preuzeto s: <https://repozitorij.fazos.hr/islandora/object/pfos:1277>; 10.12.2022.)
106. Mladenović Drinić S., Semenčenko V., Radosavljević M., Terzić D., Simić M., Stevanović M., Stipešević B. (2011). Maize as raw material for bioethanol. *Proc 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture* (ur. Pospšil M.), Opatija, Croatia, pp: 635-639
107. Mohanty S.K., Swain M.R. (2019). Bioethanol Production From Corn and Wheat: Food, Fuel, and Future. U: *Bioethanol Production from Food Crops Sustainable Sources, Interventions, and Challenges* (ur. Ramesh C.R. i Ramachandran S.), Academic Press, Cambridge, Massachusetts, SAD, str: 45-59
108. Mojović Lj., Pejčin D., Grujić O., Markov S., Pejčin J., Rakin M., Vukašinović M., Nikolić S., Savić D. (2009). Progress in the production of bioethanol on starch-based feedstocks. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 15 (4): 211-226
109. Moussavi Nik M., Babaeian M., Tavassoli A., Asgharzade A. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of corn hybrids (*Zea mays*). *Scientific Research and Essays* 6: 4821-4825
110. Murányi E. (2015). Effect of plant density and row spacing on maize (*Zea mays* L.) grain yield in different crop year. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 1 (2): 57-63
111. Nandan R., Woo D.K., Kumar P., Adinarayana J. (2021). Impact of irrigation scheduling methods on corn yield under climate change. *Agricultural Water Management* Vol. 255: 106990 (preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421002559>, 20.09.2024.)
112. Ortez O.A., Lindsey A.J., Thomison P.R., Coulter J.A., Singh M.P., Carrijo D.R., Quinn D.J., Licht M.A., Bastos L. (2023). Corn response to long-term seasonal weather stressors: A review. *Crop Science* 63: 3210-3235
113. Pandžić K., Likso T., Pejić I., Šarčević H., Pecina M., Šestak I., Tomšić D., Strelec Mahović N. (2021). Application of the self-calibrated palmer drought severity index for estimation of drought impact on maize grain yield in Pannonian Part of Croatia. *Research Square*. Doi: 10.21203/rs.3.rs-219077/v1 (Preprint)

114. Park J., Park H. Y., Chung H.J., Oh S.K. (2023). Starch Structure of Raw Materials with Different Amylose Contents and the Brewing Quality Characteristics of Korean Rice Beer. *Foods* 12, 2544
115. Parvej M.R., Hurburgh C.R., Hanna H.M., Licht M.A. (2020). Dynamics of corn dry matter content and grain quality after physiological maturity. *Agronomy Journal* 112: 998–1011 (preuzeto s: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20042>, 30.09.2024.)
116. Paulsen M.R., Hill L.D. (1985). Corn quality factors affecting dry milling performance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31:255-263 doi: 10.1016/0021-8634(85)90092-7
117. Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11, 1633–1644 (preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/26640584\\_Updated\\_World\\_Map\\_of\\_the\\_Koppen-Geiger\\_Climate\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/26640584_Updated_World_Map_of_the_Koppen-Geiger_Climate_Classification), 23.09.2024.)
118. Pejić I., Šatović Z. (2022). Molekularno oplemenjivanje bilja, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb
119. Pioneer (2018). Katalog 2018. (preuzeto s: [https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia\\_Intl/Main\\_Page/Katalog\\_2018.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Croatia_Intl/Main_Page/Katalog_2018.pdf), 01.09.2024.)
120. Pioneer Brand HTF Ethanol Hybrids for Iowa (2008). (preuzeto s: [https://www.pioneer.com/multimedia/marketpoint/ia\\_ethanol.pdf](https://www.pioneer.com/multimedia/marketpoint/ia_ethanol.pdf) ; 18.01.2024.)
121. Poljoprivredni institut Osijek, (2018). OS hibridi kukuruza, katalog 2018. (preuzeto s: <https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/06/PIOOZK2018.pdf>, 01.09.2024.)
122. Poljoprivredni institut Osijek, (2022). 2022 Kukuruz, soja, suncokret, lucerna, jari ječam. (preuzeto s: [https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/04/POLJINOS\\_Katalog-proljeeee\\_2022.pdf](https://www.poljinos.hr/wp-content/uploads/2022/04/POLJINOS_Katalog-proljeeee_2022.pdf), 01.09.2024.)
123. Pomeranz Y., Hall G.E., Czuchajowska Z., Lai F.S. (1986). Test weight, hardness, and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chemistry* 63(4): 349-351
124. Pucarić A., Ostojić Z., Čuljat M. (1997). Proizvodnja kukuruza. Biblioteka Poljoprivredni savjetnik, Zagreb
125. Radosavljević M., Mojović Lj., Rakin M., Milašinović M. (2009). ZP hibridi kukuruza kao sirovina za proizvodnju bioetanol. *PTEP* 13 (1): 45-49
126. Ramchandran D., Johnston D.B., Tumbleson M.E., Rausch K.D., Singh V. (2015). Seasonal variability in ethanol concentrations from a dry grind fermentation

- operation associated with incoming corn variability. *Industrial Crops and Products* Vol. 67: 155 – 160 doi: 10.1016/j.indcrop.2015.01.029
127. Ramchandran D. (2016). Effects of corn quality and storage on dry grind ethanol production. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in Agricultural and Biological Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign
128. Ramchandran D., Moose S.P., Low K., Arp J., Parsons C.M., Singh V. (2017). Ethanol yields and elevated amino acids in distillers dried grains with solubles from maize grain with higher concentrations of essential amino acids. *Industrial Crops & Products* 103: 244-250
129. Rausch K.D., Hummel D., Johnson L.A., May J.B. (2019). Wet Milling: The Basis for Corn Biorefineries. *Corn: Chemistry and Technology* 3: 501-535
130. Ren X., Sun D., Wang Q. (2016). Modeling the effects of plant density on maize productivity and water balance in the loess plateau of China. *Agric. Water Manag.* 171: 40-48
131. RFA (2022). 2022 Ethanol Industry Outlook (preuzeto s: <https://ethanolrfa.org/library/rfa-publications>; 01.12.2022.)
132. Sabata R.J., Mason S.C. (1992). Corn Hybrid Interactions with Soil Nitrogen Level and Water Regime. *Journal of Production Agriculture* Vol. 5: 137 -142 doi: 10.2134/jpa1992.0137
133. Sakib A.N., Haque, M. (2024). Corn to Ethanol: Design, Simulate and Statistical Optimization for Sustainable Biofuel Production. *Adv Bioeng Biomed Sci Res*, 7(4): 01-22
134. Sangoi L., Ender M., Guidolin A.F., de Almeida M.L., Heberle P.C. (2001). Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* vol. 36 (6): 861-869 (preuzeto s: <https://www.scielo.br/j/pab/a/YRvxpMZ3nkpYgMSZN4djhsx/?format=html&lang=en>, 24.09.2024.)
135. Sangoi L., Gracietti M.A., Rampazzo C., Bianchetti P. (2002). Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant population. *Field Crops Res.* 79 (1):39–51
136. Semenčenko V.V. (2013). Ispitivanje različitih hibrida kukuruza kao sirovine za proizvodnju bioetanola, škroba i hrane za životinje. Doktorska disertacija, Tehnološko - metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu
137. Semenčenko V., Radosavljević M., Terzić D., Milašinović – Šeremešić M., Mojović Lj., Mladenović Drinić S. (2015). Uticaj hibrida kukuruza na prinos bioetanola i kvalitet suve kukuruzne džibre. *Selekcija i semearstvo* 2 (vol. XXI): 11-22

138. Sharma A., Sharma S., Verma S., Bhargava R. (2016). Production of Biofuel (Ethanol) from Corn and co product evolution: A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology* vol. 3 (12): 745-749
139. Sharma V., Rausch K.D., Tumbleson M.E., Singh V. (2007). Comparison Between Granular Starch Hydrolyzing Enzyme and Conventional Enzymes for Ethanol Production from Maize Starch with Different Amylose: Amylopectin Ratios. *Starch* 59 (11): 549-556
140. Shiferaw B., Prasanna B.M., Hellin J., Bänziger M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security* 3: 307-327
141. Singh R., Lessard P., Raab R.M., Singh V. (2023). Effect of phytase corn addition on ethanol yield and distillers'dried grains with soluble profile in corn dry-grind process. *Cereal Chemistry* Vol. 100, Issue 2: 237-531 (preuzeto s: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cche.10610>, 19.09.2024.)
142. Singh V., Graeber J.V. (2005). Effect of corn hybrid variability and planting location on dry grind ethanol production. *Trans ASAE* 48:709–714
143. Singh V. (2012) Effect of corn quality on bioethanol production. *Biocatal Agric Biotechnol* 1:353–355
144. SiB vijesti (2011). (preuzeto s: <https://sib.net.hr/vijesti/osijek/3493627/11kolovoza-pocinje-izgradnja-tvornice-etanola/>, 01.12.2022.)
145. Solomon B. D., Barnes J. R., Halvorsen K. E. (2007). Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy. *Biomass and Bioenergy*, Volume 31, Issue 6: 416-425
146. Srichuwong S., Gutesa J., Blanco M., Duvick S.A., Gardner C., Jane J. (2010). Characterization of corn grains for dry-grind ethanol production. *Journal of ASTM International* 7(2): 1-10
147. Stone P., Pearson A., Sorensen I., Rogers B. (2000). Effect of row spacing and plant population on maize yield and quality. *Agronomy N.Z.* 30: 67-75
148. Stroshine R., Emam A., Tuite J., Cantone F., Kirleis A., Bauman L., Okos M. (1981). Comparison of drying rates and quality parameters for selected corn inbreds/hybrids. *American Society of Agricultural Engineers*, Paper: 81-3529
149. Stroshine R.L., Kirleis A.W., Tuite J.F., Bauman L.F., Emam A. (1986). Differences in grain quality among selected corn hybrids. *Cereal Foods World* 31: 311-316
150. Subić J., Kljajić N., Jeločnik M. (2017). Obnovljivi izvori energije i navodnjavanje u funkciji održivog razvoja poljoprivrede. *Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd*
151. Svečnjak Z., Varga B, Pospišil A., Jukić Ž., Leto J. (2004). Maize hybrid performance as affected by production systems in Croatia. *Die Bodenkultur* 55 (1): 37-44



152. Šatović Z., Šimić D., Novoselović D., Sudarić A., Ban D., Klepo T., Maletić E., Carović-Stanko K., Liber Z., Goreta Ban S. (2019). Znanstveni centar izvrsnosti za bioraznolikost i molekularno oplemenjivanje bilja (ZCI CroPBioDiv): Ciljevi i aktivnosti. Zbornik radova 54. Hrvatski i 14. međunarodni simpozij agronoma, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 17.-22.02.2019., Vodice, Hrvatska, str. 15-20
153. Škorić A. (1986). Postanak, razvoj i sistematika tla. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
154. Tanklevska N., Petrenko V., Karnaushenko A., Melnykova K. (2020). World corn market: Analysis, trends and prospects. *Agricultural and Resource Economics*, vol. 6, no. 3: 96-111, (preuzeto s: <http://are-journal.com> ; 24.01.2024.)
155. Tehnički leksikon (2007). Leksikografski zavod Miroslav Krleža, (preuzeto s: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/etanol>, 18.9.2024.)
156. Tester R.F., Karkalas J. (2001). The effects of environmental conditions on the structural features and physico-chemical properties of starches. *Starch/Stärke* 53: 513-519.
157. Thitisaksakul M., Jimenez R.C., Abias M.C., Beckles D.M. (2012). Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science* 56: 67–80
158. Tollenaar M., Aguilera A., Nissanka S.P. (1997). Grain Yield is Reduced More by Weed Interference in an Old than in a New Maize Hybrid. *Agronomy Journal* 89: 239-246 doi:10.2134/agronj1997.00021962008900020014x
159. Unterseer S., Pophaly S.D., Peis R., Westermeier P., Mayer M., Seidel M.A., Haberer G., Mayer K.F.X., Ordas B., Pausch H., Tellier A., Bauer E., Schön C.C. (2016). A comprehensive study of the genomic differentiation between temperate Dent and Flint maize. *Genome Biology* 17: 137 (preuzeto s: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4937532/>, 01.10.2024.)
160. Van Roekel R.J., Coulter J.A. (2011). Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. *Agronomy Journal* 103 (5): 1414-1422
161. Vidaček Ž., Karavidović P., Mihalić A., Galović V. (1997). Agroekološke značajke istočne Slavonije i Baranje. *Agronomski glasnik* 5-6: 333-362
162. Vyn T.J., Tollenaar M. (1998). Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. *Field Crops Research* 59 (2): 135 – 140 doi: 10.1016/S0378-4290(98)00114-2
163. Wang F., Wang L., Yu X., Gao J., Ma D., Guo H., Zhao H. (2023). Effect of Planting Density on the Nutritional Quality of Grain in Representative High-Yielding Maize Varieties from Different Eras. *Agriculture* 13, 1835

164. Wang J., Hu X. (2021). Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: Based on data from 12 corn-producing countries from 2012 to 2019. *Plos one* 16(7): 1-17
165. Wang L., Yu X., Gao j., Ma D., Guo H., Hu S. (2023a). Patterns of Influence of Meteorological Elements on Maize GrainWeight and Nutritional Quality. *Agronomy* 13: 424 (broj članka 424)
166. Wang Y, Frei M. (2011). Stressed food - The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141: 271–286
167. Wang T., Wang M., Hu S., Xiao Y., Tong H., Pan Q., Xue J., Yan J., Li J., Yang X. (2015). Genetic basis of maize kernel starch content revealed by high-density single nucleotide polymorphism marker sin a recombinat inbred line population. *BMC Plant Biology* 15: 288- 300
168. Wang Z., Guo Y., Wang K., Zhang G., Ming B., Shen D., Fang L., Zhou L., Sun L., Liu H., Liu N., Xie R., Li S. (2023b). Effects of planting density on test weight and related indexes of maize. *Crop Science* 1–12. doi: 10.1002/csc2.21096
169. Waqas M.A., Wang X., Zafar S.A., Noor M.A., Hussain H.A., Nawaz M.A., Farooq M. (2021). Thermal Stresses in Maize: Effects and Management Strategies. *Plants* 10: 293 doi: 10.3390/plants10020293
170. Waterschoot J., Gomand S.V., Fierens E., Delcour J.A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Stärke* Vol. 67 (1/2): 14-29 doi: 10.1002/star.201300238
171. Watson S.A. (1987). Measurement and maintenance of quality. U: Corn: chemistry and technology (ur.: Watson S.A. i Ramstad P.E.), American Association of cereal Chemists, ST. Paul, Minnesota, SAD, str.: 125-183
172. Watson S. A. (2003). Description, development, structure and composition of the corn kernel. In: *Corn: Chemistry and Technology* (White, P. J., Johnson, L. A., Ur.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 69-106
173. Westgate M.E., Otegui M.E., Andrade F.H. (2004). Physiology of the corn plant. Iz: Smith C.W., Berán J., Runge E.C.A. *Corn: History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, N.J.
174. Wit M., Ochodzki P., Warzecha R., Jabłońska E., Mirzwa-Mróz E., Mielniczuk E., Wakuliński W. (2022). Influence of Endosperm Starch Composition on Maize Response to *Fusarium temperatum* Scaufl. & Munaut. *Toxins* 14: 200, <https://doi.org/10.3390/toxins14030200>
175. Wortmann C.S., Liska A.J., Ferguson R.B., Lyon D.J., Klein R.N., Dweikat I. (2010). Dryland Performance of Sweet Sorghum and Grain Crops for Biofuel in Nebraska.

- Agronomy Journal Vol. 102: 319-326 (preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/228900667\\_Dryland\\_Performance\\_of\\_Sweet\\_Sorghum\\_and\\_Grain\\_Crops\\_for\\_Biofuel\\_in\\_Nebraska](https://www.researchgate.net/publication/228900667_Dryland_Performance_of_Sweet_Sorghum_and_Grain_Crops_for_Biofuel_in_Nebraska), 25.09.2024.)
176. Wu X., Zhao R., Wang D., Bean S.R., Seib P.A., Tuinstra M.R., Campbell M., O'Brien A. (2006.). Effects of amylose, corn protein, and corn fiber contents on production of ethanol from starch-rich media. *Cereal Chemistry* 83: 569-575
177. Yangcheng H., Jiang H., Blanco M.H., Jane J. (2013). Characterization of normal and waxy corn starch for bioethanol production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:379-386
178. Yousaf M.I., Riaz M.W., Shehzad A. Jamil S., Shahzad R., Kanwal S., Ghani A., Ali F., Abdullah M., Ashfaq M., Hussain Q. (2023). Responses of maize hybrids to water stress conditions at different developmental stages: accumulation of reactive oxygen species, activity of enzymatic antioxidants and degradation in kernel quality traits. *Peer Journal* 11: e14983 doi: 10.7717/peerj.14983
179. Yu J.-K., Moon Y.-S. (2022). Corn Starch: Quality and Quantity Improvement for Industrial Uses. *Plants* 11: 92 doi: 10.3390/plants11010092 (preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/1/92>, 27.09.2024.)
180. Zehr B.E., Eckhoff S.R., Singh S.K., Keeling P.L. (1995). Comparison of Wet-Milling Properties Among Maize Inbred Lines and Their Hybrids. *Cereal Chemistry* 72(5): 491-497 (preuzeto s: [https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1995/documents/72\\_491.pdf](https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1995/documents/72_491.pdf), 24.09.2024.)
181. Zoeller K.M. (2008 ). Comparative evaluation of ethanol yield from HTF corn varieties in the whisky production process. Master's Thesis on Faculty of the University of Louisville Department of Chemical Engineering. Paper 1652
182. Zhan X., Wang D., Tuinstra M.R., Bean S., Seib P.A., Sun X.S. (2003). Ethanol and lactic acid production as affected by sorghum genotype and location. *Industrial Crop Production* 18:245–255
183. Zhang R., Ma S., Li L., Zhang M., Tian S., Wang D., Liu K., Liu H., Zhu W., Wang X. (2021). Comprehensive utilization of corn starch processing by-products: A review. *Grain & Oil Science and Technology* Volume 4, Issue 3: 89-107 (preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590259821000248?via%3Dihub>, 18.09.2024.)
184. Zhang Q., Dong W., Wen C., Li T. (2020). Study on factors affecting corn yield based on the Cobb-Douglas production function. *Agricultural Water Management* 228 105869. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105869>.

## 8. Životopis

Bojan Marković rođen je 24. siječnja 1976. godine u Osijeku. Osnovnu školu završio je u Šećerani – Beli Manastir. Srednju školu (Poljoprivredna i veterinarska škola Osijek) završio je u Osijeku nakon koje upisuje Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Za vrijeme studija, obnaša dužnost predstavnika studenata u Studentskom Zboru Poljoprivrednog fakulteta, aktivan je u međunarodnoj udruzi studenata poljoprivrede (IASS - International Association of Students in Agriculture and Related Sciences), te je dobitnik Državne stipendije i Oxfordske nagrade za darovite studente. Diplomirao je 2000. godine stekavši akademski naziv diplomiranog inženjera poljoprivrede za ratarstvo. Od 2000. godine pa do 2018. godine radi Zavodu za sjemenarstvo i rasadničarstvo, Hrvatski Centar za poljoprivredu, hranu i selo, danas Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu, Centar za sjemenarstvo i rasadničarstvo. Od 2000. do 2014. godine radio je na radnom mjestu višeg stručnog savjetnika u Odjelu za priznavanje i zaštitu novih biljnih sorti. Od 2014. postaje rukovoditelj Odjela za priznavanje novih biljnih sorti, dodjeljivanje oplemenjivačkog prava i očuvanja biljnih genetskih izvora. Za vrijeme rada na poslovima priznavanja i zaštite novih biljnih sorti sudjeluje na brojnim stručnim usavršavanjima u vidu kongresa, savjetovanja i radionica u organizaciji domaćih i stranih organizacija. Godine 2002. dobitnik je stipendije „The Cochran Fellowship Program“ - Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država iz područja GMO-a. Od 2019. pa do danas radi kao konzultant u području poljoprivrede u okviru vlastite tvrtke. Aktivno govori engleski, a služi se i njemačkim jezikom, oženjen je i otac dvoje djece. Autor je ili koautor dva A1 znanstvena rada objavljena u domaćim i stranim časopisima. Izlaže na međunarodnim i domaćim znanstvenim i stručnim skupovima.

Popis objavljenih radova:

Znanstveni radovi A1

Marković B., Popović B., Špoljarić Marković S., Engler M., Nekić I., Jukić Ž. (2022). Comparison of ethanol productions of maize (*Zea mays* L.) HTF hybrids and conventional hybrids from Croatian breeding programs. *Journal of Central European Agriculture* 23(2): 283-289

Stepinac D., Šarčević H., Buhiniček I., Jukić M., Marković B., Jambrović A., Pejić I., Šimić D. (2021). Okolinska varijabilnost mase tisuću zrna kod hibrida kukuruza različitih skupina zriobe. *Poljoprivreda* 27: 50-55

Sažeci objavljeni u zbornicima sažetaka skupova

Mijić Z., Rukavina I., Marković B. (2016). Pregled sortimenta pšenice i zahtjevi tržišta u pogledu uspostave post-registracijskih sortnih pokusa. *Zbornik sažetaka* 51. hrvatski i 11. međunarodni simpozij agronoma Opatija, Hrvatska, 71-72

Drenjančević L., Varnica I., Rukavina I., Marković B., Heđi T., Mijić Z. (2016). Veza visine biljaka uljane repice i prinosa zrna u VCU ispitivanjima u 2014. i 2015. godini. *Zbornik sažetaka* 51. hrvatski i 11. međunarodni simpozij agronoma Opatija, Hrvatska, 59-60

Ocvirk D., Špoljarić Marković S., Lisjak M., Teklić T., Mijić Z., Marković B., Volenik M., Duka K. (2014). Utjecaj navodnjavanja na klijavost i prinos peršina (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss). Zbornik sažetaka 7. međunarodnog kongresa, Oplemenjivanje bilja, sjemenarstvo i rasadničarstvo & 2. regionalni dani sjemenara. Sveti Martin na Muri, 2014. str. 124-125

Marković B., Jurić R., Varnica I., Zorić M. (2013). Prinosi novopriznatih hibrida kukuruza FAO grupe 400 u odnosu na prinos standarda. Zbornik sažetaka 48. hrvatski i 8. međunarodni simpozij agronoma Dubrovnik, Hrvatska, 114-115

Varnica I., Jurić R., Rukavina I., Zorić M., Šunjić K., Marković B., Šimetić S. (2009). Doprinos oplemenjivanja razvoju sjemenarstva u Republici Hrvatskoj. Zbornik sažetaka 2. međunarodni znanstveno stručni skup Hrvatsko oplemenjivanje bilja, sjemenarstvo i rasadničarstvo i europske integracije, Šibenik, Hrvatska, 17.