

# Određivanje geometrijskih značajki zrna ječma

---

**Tomašević, Matko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:344659>

*Rights / Prava:* [Attribution-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**

REPOZITORIJ

**PTF**

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

**dabar**  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Matko Tomašević**

**ODREĐIVANJE GEOMETRIJSKIH ZNAČAJKI ZRNA JEČMA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek

Zavod za prehrambene tehnologije

Katedra za tehnologije prerade žitarica

Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

**Nastavni predmet:** Tehnologija proizvodnje i prerade brašna

**Tema rada** je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća

Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2020./2021.

održanoj 27. svibnja 2021.

**Mentor:** prof. dr. sc. *Marko Jukić*

**Pomoć pri izradi:** izv. prof. dr. sc. *Jasmina Lukinac Čačić*

### ODREĐIVANJE GEOMETRIJSKIH ZNAČAJKI ZRNA JEČMA

Matko Tomašević, 0113142486

**Sažetak:** Zadatak ovog rada bio je ispitati pojedina fizikalno-kemijska svojstva zrna različitih pivarskih i stočnih sorti ječma pomoću standardnih metoda, kao i odrediti morfološka svojstva zrna primjenom računalne analize slike te utvrditi eventualnu mogućnost njihova korištenja u predviđanju fizikalno-kemijskih svojstva zrna ječma. U istraživanju je korišteno 27 uzorka ječma od čega je 19 uzorka bilo iz vrste dvorednog ječma dok je 8 uzoraka bilo višeredno. Sedam uzoraka je prema vremenu sjetve svrstano u jari, a 20 uzoraka u ozimi ječam. Standardnim metodama određeni su udio proteina, apsolutna i hektolitarska masa, udio zrna I. klase te staklavost zrna, a računalnom analizom slike, uz pomoć programa *ImageJ*, određene su geometrijske značajke zrna i presjeka zrna (površina, opseg, maksimalni i minimalni Feretov promjer, zaokruženost zrna te prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna).

Zaokruženost cjelovitog zrna bila je značajan prediktor udjela proteina, a površina presjeka zrna prediktor apsolutne mase ječma. Za predviđanje hektolitarske mase ječma uspješno su se mogli koristiti površina, duljina i zaokruženost cijelog zrna, a prediktori udjela I. klase ječma bili su duljina i zaokruženost cijelog zrna te površina presjeka zrna. Staklavost se uspješno mogla predvidjeti određivanjem prosječne sive boje presjeka zrna. Na temelju provedenih ispitivanja i provedene korelacijske i regresijske analize može se zaključiti da se primjenom računalne analize slike u određivanju geometrijskih značajki zrna i njegovog presjeka, vrlo dobro mogu predvidjeti pojedina fizikalno-kemijska svojstva ječma.

**Ključne riječi:** ječam, fizikalno-kemijska svojstva, računalna analiza slike zrna ječma

**Rad sadrži:** 49 stranica  
19 slika  
14 tablica  
63 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** Hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. <i>Daliborka Koceva Komlenić</i>  | predsjednik   |
| 2. prof. dr. sc. <i>Marko Jukić</i>                | član-mentor   |
| 3. izv. prof. dr. sc. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i> | član          |
| 4. doc. prof. dr. sc. <i>Kristina Mastanjević</i>  | zamjena člana |

**Datum obrane:** 30. rujna 2021.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

**University Josip Juraj Strossmayer in Osijek**  
**Faculty of Food Technology Osijek**  
**Department of Food technologies**  
**Subdepartment of Cereal technology**  
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

### Graduate program Food Engineering

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food technology

**Course title:** Technology of flour production and processing

**Thesis subject** was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII held on May 27, 2021

**Mentor:** *Marko Jukić*, PhD, full prof.

**Technical assistance:** *Jasmina Lukinac Čačić*, associate prof.

### EVALUATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF BARLEY KERNEL

Matko Tomašević, 0113142486

**Summary:** The aim of this research was to examine individual physicochemical properties of grains of different malting and feed barley varieties using standard methods, as well as to determine morphological properties of grains using computer image analysis and to determine their possible use in predicting physicochemical properties of barley grains. In the research, 27 samples of barley were used, of which 19 samples were two-row, while 8 samples were multi-row varieties. Seven samples were classified as spring and 20 samples as winter barley.

Standard methods were used to determine the protein content, 1000 kernel weight and test weight, grain size fractions above 2.5 mm and grain vitreousness, and digital image analysis was used to determine the geometric characteristics of grain and grain cross-section. Area, perimeter, maximum and minimum Feret diameter, roundness, and the mean grey value were determined using the *ImageJ* program. Whole grain roundness was a significant predictor of protein content, and grain cross-sectional area was a predictor of the 1000 kernel weight. The area, length and roundness of the whole grain could be successfully used to predict the test weight of barley, and the predictors of grain size fraction above 2.5 mm were the length and roundness of the whole grain and the cross-sectional area of the grain. Vitreousness could be successfully predicted by determining the mean grey value of the grain cross section. Based on the correlation and regression analysis, it can be concluded that by applying digital image analysis in determining the geometric characteristics of the grain and its cross section, individual physicochemical properties of barley can be successfully predicted.

**Key words:** barley, quality, physicochemical properties, digital image analysis of barley grain

**Thesis contains:** 49 pages  
19 figures  
14 tables  
63 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |  |                   |
|--|-------------------|
| 1. <i>Daliborka Koceva Komlenić</i> , PhD, full prof.  | chair person      |
| 2. <i>Marko Jukić</i> , PhD, full prof.                | member-supervisor |
| 3. <i>Jasmina Lukinac Čačić</i> , PhD, associate prof. | member            |
| 4. <i>Kristina Mastanjević</i> , PhD, assistant prof.  | stand-in          |

**Defense date:** September 30, 2021

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Teorijski dio .....	1
2.1.	Ječam .....	2
2.1.1.	Podjela ječma prema namjeni .....	2
2.1.2.	Morfološka i biološka svojstva ječma .....	3
2.1.3.	Fizikalna svojstva zrna i zrnene mase ječma .....	4
2.1.4.	Kemijski sastav .....	6
2.2.	Računalna analiza slike .....	9
2.2.1.	Postupak provedbe računalne analize slike .....	9
2.2.2.	Skener kao uređaj za prihvatanje i digitalizaciju slike .....	10
2.2.3.	Program za obradu slike – Imagej .....	11
3.	Eksperimentalni dio .....	12
3.1.	Zadatak .....	13
3.2.	Materijali .....	13
3.2.1.	Metode .....	13
3.2.1.1.	Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava .....	13
3.2.1.2.	Određivanje geometrijskih značajki zrna ječma primjenom računalne analize slike .....	14
3.2.1.3.	Statistička obrada rezultata .....	17
4.	Rezultati .....	18
4.1.	Rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih svojstava i geometrijskih značajki zrna ječma .....	19
4.2.	Korelacijska matrica dobivenih rezultata ispitivanja .....	28
4.3.	Rezultati višestruke linearne regresije .....	29
5.	Rasprava .....	38
6.	Zaključci .....	43
7.	Literatura .....	45

## **1. UVOD**

Ječam je jednogodišnja biljka iz porodice trava *Poaceae*. Uzgaja se u gotovo cijelom svijetu od suptropskih do subarktičkih područja, iako uzgoj ove kulture prevladava na sjevernoj hemisferi u umjerenom klimi. Najviši prinosi ječma se postižu u Europi. Prema arheološkim nalazima, uzgajao se već u kamenom dobu, u području europskih sojenica, a arheološki nalazi ječma nađeni su u dolinama rijeka Eufrata i Tigrisa te Nila. Stari Grci i Rimljani također su uzgajali ječam, o tome svjedoče djela Teofrasta te Plinija i Kolumele. Stari Sumerani, Egipćani i Židovi pravili su kruh od ječma. Danas je ječam u prehrani ljudi sve manje zastupljen, upotrebljava se najviše u pekarstvu gdje se miješa s pšeničnim i raženim brašnom ili se koristi za proizvodnju žitarica za doručak. Razlikujemo pivarski i stočni ječam. Pivarski ječam je osnovna sirovina za proizvodnju slada u pivarskoj industriji i u industriji jakih alkoholnih pića. Stočni ječam se koristi za ishranu domaćih životinja, naročito svinja zbog svoje velike hranidbene vrijednosti. Ječam također možemo podijeliti na ozimi i jari, ovisno o tome sije li se u jesen ili proljeće.

Plod ječma je zrno koje je najčešće obavijen pljevicom, a može biti različite krupnoće ovisno o sorti i uvjetima uzgoja. Oblik zrna je duguljast i zašiljen, zrno ima plitku brazdicu, a bradice nema. Golozrni ječam su sorte ječma bez pljevice, dok većina sorti sadrži pljevicu. Zrno ječma se sastoji od omotača, klice i endosperma. Omotač zrna je vanjski dio koji obavija zrna sa vanjske strane i nutritivno je značajan dio zrna. Omotač ima zaštitnu funkciju i čuva klicu i endosperm od nepovoljnih vanjskih utjecaja. Endosperm je središnji i najveći dio zrna, može biti brašnaste ili staklaste strukture. Endosperm sadrži sve pričuvne hranjive tvari koje su potrebne za prehranu klice tijekom nicanja i klijanja. Klica je udjelom najmanji dio zrna, ali je najvažniji jer je organ za reprodukciju sa začecima svih budućih organa biljke. Klica je nutritivno najvrijedniji dio zrna.

Kvaliteta zrna ječma je složen pojam i obuhvaća fizikalna svojstva, kemijska svojstva, svježinu zrna, zdravstveno stanje zrna i druge karakteristike. Što se tiče kemijskog sastava, zrno ječma je bogato ugljikohidratima kao i svaka druga žitarica, ali ima visok udjel prehrambenih vlakana, korisnih proteina i sadrži dosta makro i mikro elemenata. Fizikalna svojstva ječma koja određuju njegovu kvalitetu su: hektolitarska masa, masa 1000 zrna (apsolutna masa), staklavost i tvrdoća zrna, oblik i veličina zrna te boja zrna. Zadatak ovog rada bio je ispitati pojedina fizikalno-kemijska svojstva zrna različitih pivarskih i stočnih sorti ječma pomoću standardnih metoda, kao i odrediti morfološka svojstva zrna primjenom računalne analize slike te utvrditi njihovu eventualnu međuovisnost.

## **2. TEORIJSKI DIO**



## 2.1. JEČAM

Ječam (*Hordeum vulgare* L.) je trava koja pripada porodici *Poaceae* i rodu *Hordeum*. Kultivirani ječam ima tri podvrste, koje se razlikuju prema broju redova u klasu:

1. Dvoredni ječam (*Hordeum sativum* ssp. *distichum*); dva klasića
2. Prijelazni ječam (*Hordeum sativum* ssp. *intermedium*); 1-3 klasića
3. Višeredni ječam (*Hordeum sativum* ssp. *vulgare* L. (*polystichum*)) koji se dijeli na pravilno šestoredni ječam *Hordeum sativum* ssp. *hexastichum*, i nepravilno četveroredni ili šestoredni *Hordeum sativum* ssp. *tetrastichum* (Punia, 2020).

Za proizvodnju su važni dvoredni i šestoredni ječam. Dvoredni se ječam prema obliku klasa Ječam je drevna i vrlo prilagodljiva funkcionalna žitna kultura koja se proizvodi u podnebljima u rasponu od subarktičkih do suptropskih područja (Punia, 2020). Povijesno gledano, ječam je bio važan izvor hrane u mnogim dijelovima svijeta, uključujući Aziju, sjevernu i istočnu Europu, Bliski Istok, i sjevernu Afriku (Chatterjee i Abrol, 1977; Newman i Newman, 2006). Uzgoj ječma nastao je u gorju Etiopije i jugoistočne Azije prije oko 10 000 godina. Arheološki ostaci zrna ječma pronađeni na različitim nalazištima u Plodnom polumjesecu (drevno ime područja koje uključuje Irak, s malim dijelovima Irana, Kuvajta, Turske, Sirije, Jordana, Izraela, Libanona i Zapadne obale) (Zohary i Hopf, 2000) pokazuju da je usjev pripitomljen oko 8 000 pr. n. e. Arheološki dokazi uzgajaju ječam do 5 000 pr. n. e. u Egiptu (Sun i Gong, 2009; Zhou, 2010), 2 350 pr. n. e. u Mezopotamiji, 3 000 pr. n. e. u sjeverozapadnoj Europi i 1 500 pr. n. e. u Kini. U posljednjem desetljeću Europa je proizvela oko 60% svjetske proizvodnje ječma, dok su Azija i Amerika proizvele 15%, odnosno 13% (FAO, 2019). Danas je 80–90% prinosa zrna ječma u cijelom svijetu namijenjeno stočnoj hrani; oko 10% predviđeno je za proizvodnju slada za pivo, viski i druga alkoholna pića; a samo vrlo mali dio još uvijek izravno konzumira čovjek (Stanca i sur., 2016).

### 2.1.1. Podjela ječma prema namjeni

Osnovna podjela ječma je na stočni i pivarski. Stočni ječam ima veoma veliku vrijednost u ishrani domaćih životinja i dodaje se koncentratima krmnih smjesa za ishranu. Pa tako zrno krmnog ječma sadrži veliku hranidbenu vrijednost u ishrani stoke, dok u tovu životinja poboljšava kakvoću proizvoda kao što su slanina i mesni proizvodi. U svom zelenom stanju ili u smjesi (grahorice, grašak), ječam može dati jako dobru ranu zelenu krmu koja se može silirati.

Dobivena slama bude meka, ukusna i probavljiva, nasuprot slami ostalih žitarica, pa se zbog toga koristi za ishranu goveda ili za prostirku (Gagro, 1997). Pivarski ječam je osnovna sirovina za proizvodnju slada, piva i žitnih destilata, posebno sorte sa visokim udjelom škroba. Kvalitetan pivarski ječam mora imati posve zdravo zrno bez prisustva štetnika, na zrnu ne smiju biti ostaci pesticida iznad dozvoljene granice i ne smije biti genetski modificiran.

Ovisno o tome sije li se ječam u jesen ili proljeće razlikujemo ozimi i jari ječam. Sjetvu ozimog ječma treba započeti potkraj rujna i završiti do polovice listopada. Nije dobro sijati ječam prije ovih rokova, jer zbog ranije sjetve ječam prebujan ulazi u zimu, što smanjuje otpornost na niske temperature, na koje je ječam i inače osjetljiv. Tad su češće moguće izmjene niskih i visokih temperatura, na što je ječam i inače osjetljiv, pa stagnira i dobiva žućkastu nijansu lista. Sjetva nakon polovice listopada isto nije dobra jer ječam treba izbusati u jesen i dobro se pripremiti za zimu, a to pri kasnoj sjetvi nije moguće (Živković, 2015). Sjetva jarog ječma još je osjetljivija jer loši vremenski uvjeti i vlažno tlo mogu onemogućiti pravodobnu sjetvu. Pri određivanju roka sjetve treba voditi računa o svojstvima i zahtjevima pojedinog kultivara. Najbolje rezultate postići ćemo ranom sjetvom već krajem siječnja i u veljači, ako to vremenski uvjeti dozvole. Tad ječam ima dovoljno vremena za vegetaciju i može najbolje iskoristiti zimsku vlagu, nižu temperaturu i slabiji intenzitet bolesti i štetnika. U kasnijoj sjetvi sve će to izostati. Ako se ječam ne uspije zasijati najkasnije do polovice ožujka ne treba ga više ni sijati jer će prinos biti vrlo nizak (Zimmer i sur., 2009).

### **2.1.2. Morfološka i biološka svojstva ječma**

Korijen ječma je žiličast i slaba mu je usisna snaga. Stabljika ima 5–7 koljenaca i međukoljenaca, može narasti i do 1 m, šuplja je i sklona polijeganju. Ječam može oblikovati do 5 sekundarnih stabljika. List se sastoji od lisnog rukavca i plojke i sličan je listu ostalih žitarica. Za razliku od ostalih žitarica u usjeku klasnog vretena ječma može biti zbijen jedan, dva ili tri klasića. Ako se u usjeku klasnog vretena razvije jedan klasić; postoji jedan red s jedne i drugi red s druge strane klasa - tada je to dvoredni ječam. Plod je zrno, građeno kao i u ostalih pravih žitarica. Masa 1 000 zrna iznosi 30–40 g, a hektolitarska težina 60–70 kg/hl. Dvoredni ječam ima veću apsolutnu masu i hektolitarsku masu od višerednog. Vegetacijsko razdoblje jarog ječma traje 55–130 dana (Gagro, 1997).

Zrno može biti s pljevicom ili bez pljevice. Glavni sastojak pljevice ječma su celuloza i lignin, a ostatak čine pentozani, manani,  $\beta$ -glukani, a znatan je i udio silicija. Pljevica ima abrazivna svojstva. Boja zrna s pljevicom je slamnato žuta ili sivo-zelena, samo zrno bez pljevice je bijele ili žukčaste boje, a boja golozrnog ječma je većinom žuta. Udio pljevice kod "obučenog" ječma iznosi 7 - 17%. Oblik zrna je duguljast i zašiljen; dužina zrna 7 - 10 mm, širina 2 - 3 mm, debljina 2 - 3 mm. Zrno ima plitku brazdicu, bradice nema. Struktura endosperma je najčešće brašnasta, a može biti i staklasta, ovisno o sorti i klimatskim uvjetima uzgoja (uzgoj u suhoj klimi pogoduje većoj staklavosti). Škrobna zrnca u endospermu su obavijena  $\beta$ -glukanom. Udio endosperma u zrnu je 63 - 69%, ovojnice 6%, aleuronskog sloja 12 - 14% te klice 2,8 - 5% (Koceva i Jukić, 2019).

### 2.1.3. Fizikalna svojstva zrna i zrnene mase ječma

Fizikalna svojstva pokazatelji su kvalitete žitarica. Oprema za rukovanje, berbu, preradu, čišćenje, razvrstavanje i odvajanje često se izrađuje na temelju tih svojstava (Davies, 2009; Baryeh, 2001). Fizikalna svojstva, tj. apsolutna masa, hektolitarska masa, srednji geometrijski promjer, aritmetički srednji promjer, sferičnost, površina, nasipna gustoća, gustoća zrna, poroznost, sipkost itd., igraju važnu ulogu tijekom dizajniranja opreme, rukovanja i obrade zrna (Punia, 2020).

**Apsolutna masa** određuje se vaganjem slučajno odabranih 1000 cijelih zrna na elektroničkoj vagi, a izražava se u gramima izraženim na suhu tvar. Masa 1000 zrna dosta varira što ovisi o veličini i obliku zrna, sorti ječma, zemljištu i klimi. Ova analiza pruža smjernice o raspodjeli veličine zrna i prinosu mljevenja, a na apsolutnu masu obično utječu dimenzije zrna kao što su duljina, širina i promjer (Punia, 2020). Da bi se dobivene vrijednosti mogle uspoređivati potrebno ih je preračunati na isti udio vlage ili na suhu tvar (Kaludžerski i Filipović, 1998). Masa 1000 zrna ječma se kreće oko 20 - 45 g izraženo na suhu tvar.

**Hektolitarska masa** jednaka je omjeru mase izražene u kilogramima (kg) i volumena izraženog u hektolitr (hL) uz upotrebu odgovarajućeg mjerila i odgovarajuće mjerne metode. Hektolitarska masa predstavlja nasipnu gustoća, a ona je svojstvo volumena materijala poput praha, žitarica i granula. Uključuje volumen krutog materijala, otvorene i zatvorene pore i šupljine među česticama. Hektolitarska vaga je mjerni instrument za određivanje hektolitarske

mase (NN 18/2017). Najčešće korištene hektolitarske vage su Schopperove vage. Hektolitarske vage mogu biti različitih veličina (1 L, 0,5 L ili 0,25 L).

Hektolitarska masa je jedno od najstarijih mjerila za određivanje mlinarske kakvoće žitarica. Ovo svojstvo zrna povezano je s ispunjenošću zrna, veličinom i oblikom, apsolutnom masom, vlagom zrna te sadržajem primjese. Primjese mogu smanjivati, ali i povećavati hektolitarsku masu. Hektolitarsku masu podižu kompaktna staklasta zrna, potpuno dozrela, mala zrna i zrna osrednje veličine, ovalna zrna glatke površine, niska vlažnost, te hrapava i debela ljuska (Velikanović, 2018). Hektolitarska masa kod ječma iznosi 55-75 kg/hl.

**Gustoća zrna** je masa jedinice volumena zrna ( $\text{kg/m}^3$ ,  $\text{kg/L}$ ,  $\text{g/cm}^3$ ). Zbog različitih gustoća anatomskih dijelova zrna omogućeno je razdvajanje dijelova zrna tijekom mljevenja. Najveću gustoću ima endosperm, slijede omotač pa klica. Gustoća ovisi o: vrsti žitarice, sorti, prisustvu pljevice, ispunjenosti i strukturi zrna te vlažnosti. Staklasta zrna imaju veću gustoću od brašnatih zrna (Koceva i Jukić, 2017). Prava gustoća je gustoća čvrstog materijala isključujući volumen svih otvorenih i zatvorenih pora. Prava gustoća ima značajnu ulogu u sušenju, dizajniranju silosa i spremnika, odvajanju nepoželjnih materijala, određivanju čistoće sjemena i ocjenjivanju (Mohsenin, 1980). Nasipna gustoća mjeri se dijeljenjem mase sjemena s njihovim volumenom pomoću mjernog cilindra i koristi se za određivanje kapaciteta skladištenja i transporta, dok je prava gustoća korisna za dizajn odgovarajuće opreme za odvajanje (Brooker i sur., 1992; Kachru i sur., 1994). Punia i Sandhu (2015) utvrdili su da se za različite sorte ječma nasipna gustoća kreće u rasponu od 0,567-0,643  $\text{g/cm}^3$ .

**Veličina i oblik zrna** se određuje nakon prosijavanja kroz sita s tri različite veličine otvora. Dimenzije zrna duljina, širina i debljina mjere se pomoću ručne digitalne mjerke. Te se dimenzije koriste se za izračunavanje geometrijskog srednjeg promjera zrna, aritmetičkog srednjeg promjera, volumena, površine, sferičnosti i sl. (Punia, 2020). Srednji geometrijski promjer zrna ječma kreće se od 4,34 do 4,51 mm. Utvrđeno je da su vrijednosti sferičnosti zrna ječma u rasponu od 44,4–45,8% (Gürsoy i Güzel, 2010). Volumen zrna iznosi u prosjeku 26,95  $\text{mm}^3$  za oljušteni ječam i 31,80  $\text{mm}^3$  za neoljušteni ječam (Hamdani i sur., 2014). Hamdani i sur. (2014) ispitivali su i oplošje ječma i utvrdili da iznosi 58,46  $\text{mm}^2$  za oljušteni i 65,65  $\text{mm}^2$  za neoljušteni ječam.

**Tvrdoća i staklavost** zrna su slični pojmovi. Tvrdoća se odnosi na silu koja je potrebna da bi se zrno slomilo, a staklavost se odnosi na izgled poprečnog presjeka zrna. Staklava zrna imaju

poluproziran poprečni presjek, dok je kod brašnastih poprečni presjek bijele boje. Zrna velike tvrdoće su najčešće i staklasta te sadrže veći udio proteina, dok su zrna manje tvrdoće u pravilu brašnasta te imaju manji udio proteina. Tvrdoća i staklavost ječma ovise o sorti, klimatskim i agrotehničkim uvjetima (Delcour i Hosney, 2010).

**Boju zrna** određuju pigmenti koji se nalaze u omotaču zrna. Boja je važna senzorska karakteristika zrna i koristi se za ocjenu kvalitete i prihvaćanje proizvoda. Boja zrna najviše ovisi o sortnim svojstvima ječma, zatim o klimatskim uvjetima i o uvjetima uzgoja. (Koceva i Jukić, 2018).

**Poroznost** zrnene mase određuje otpor zraku tijekom pneumatskog transporta, prozračivanja i sušenja. Poroznost se određuje kao funkcija nasipne gustoće i gustoće zrna. Najčešće se izražava u postotku (%). Oljušteni ječam ima vrijednost poroznosti u prosjeku oko 37,95%, dok ne oljušteni ječam ima poroznost oko 67,24% (Punia, 2020).

#### 2.1.4. Kemijski sastav

Ječam je bogat proteinima, ugljikohidratima, prehrambenim vlaknima, mineralima i vitaminima. Cjelovito zrno ječma sastoji se od oko 65 – 68% škroba, 10 – 17% proteina, 4 – 9%  $\beta$  glukana, 2 – 4% slobodnih lipida i 1,5 – 2,5% minerala. Perikarp sadrži celulozu, lignin i arabinoksilane. Endosperm, koji doprinosi 75–80% ukupne težine zrna, bogat je škrobom ugrađenim u proteinsku matricu. Klica, koji čini 2 – 4% zrna, bogata je lipidima (13 – 17%), proteinima i aminokiselinama (34%), saharozom i rafinozom (5 – 10%), celulozom i mineralnim tvarima (Punia, 2020).

**Škrob** je glavni sastojak ječma, koji čini 51 – 64% zrna ječma (Holtekjølen i sur., 2006). Škrob se sastoji od dvije komponente, amiloze i amilopektina. Amiloza je linearni polimer koji se sastoji od molekula glukoze povezanih  $\alpha$ - (1-4) glikozidnim vezama, a amilopektin je veći polimer sa  $\alpha$  (1-4) glikozidnim i  $\alpha$ - (1-6) glikozidnim vezama koje tvore razgranatu strukturu (Hough, 1985). Udio endosperma ječma bogat je škrobom, dok aleuron, subaleuron i klica sadrže manje udjele škroba. Sadržaj amiloze u ječmenom škrobu varira od 0 do 5% u voštanom, 20 do 30% u normalnom i do 45% u visokoamiloznom ječmu (Bhatty i Rosnagel, 1997).

**Prehrambena vlakna** odnose se na neprobavljivi dio ugljikohidrata, koji nije podložan enzimskoj razgradnji i apsorpciji u tankom crijevu čovjeka. Dijetalna vlakna klasificirana su u

dvije kategorije prema njihovoj topivosti u vodi: netopiva i topiva prehrambena vlakna. Prehrambena vlakna sastoje se od polisaharida koji ne sadrže škrob, a u ječmu uključuju komponente staničnih stjenki kao što su  $\beta$ -glukani, arabinoksilani, celuloza, glukomanan i frukton (Choct, 1997; Morrison, 1993; Henry, 1987). Golozrni ječam ima znatno manje vlakana, vjerojatno zbog doprinosa celuloze i arabinoksilana iz ljuske u neoljuštenom ječmu. Prevladavajuće komponente vlakana,  $\beta$ -glukani i arabinoksilani, nalaze se uglavnom u staničnim zidovima endosperma i aleuronskom sloju (Holtekjølén i sur., 2006). Od svih vlakana u ječmu,  $\beta$ -glukani su vjerojatno najvažniji u pogledu ljudske prehrane i zdravstva dobiti. U ječmu se  $\beta$ -glukani kreću u količinama od 2,5 do 11,3%, a na udio utječu genetski čimbenici i čimbenici okoliša te interakcije između njih (Andersson i sur., 1999). Arabinoksilani se sastoje od dugih lanaca ostataka 1,4-D-ksiloze na koje su na nekim mjestima povezani arabinozni ostaci (Kunze, 2010). Procjenjuje se da se sadržaj arabinoksilana u zrnu ječma kreće od 4 do 7%, prvenstveno koncentriran u aleuronu (71%) i škrobnom endospermu (20%) (Henry, 1987; Morrison, 1993). Šestoredne sorte ječma obično sadrže nešto višu razinu arabinoksilana od dvorednih sorti (Fleury i sur., 1997). Celuloza je dugolančani polimer molekula glukoze povezane s (1,4) - $\beta$ -vezom, što je čini netopljivom i neprobavljivom za ljude. Ječam sadrži između 3 i 5% i uglavnom je koncentrirana u ljusci i ostalim vanjskim slojevima (Holtekjølén i sur., 2006).

**Proteini** su prisutni u zrnu ječma u količinama od 7 do 25% (Yalçın i sur., 2008.; Ullrich, 2002). Na temelju topljivosti svrstani su u četiri skupine: albumini (frakcija topiva u vodi), globulini (frakcija topiva u soli), prolamini ili hordeini (frakcija topljiva u alkoholu) i glutelini (frakcija topljiva u lužini) (Osborne, 1924). Hordein i glutelin dva su glavna proteina pohranjena u endospermu u ječmu (Jonassen i sur., 1981; Kirkman i sur., 1982; Newman i sur., 1978), dok su albumini i globulini pohranjeni su u vanjskim slojevima zrna i klici (Finnie i Svensson, 2009). Hordeini, glavni proteini pohranjeni u endospermu, klasificirani su na temelju aminokiselinskog sastava u tri skupine: prolamini bogati sumporom, siromašni sumporom i prolamini visoke molekularne težine (Newman i Newman, 2008). Neskladišni proteini ječma nalaze se prvenstveno u aleuronskom sloju i klici i čine 15 – 30% ukupnog dušika u zrnu, s glavnim predstavnicima albumina i globulina. Proteini endosperma ječma bogati su prolaminima (hordeini) i imaju umjerenu prehrambenu vrijednost (Newman i McGuire, 1985). Aminokiselinski sastav proteina ječma prilično je sličan ostalim žitaricama. Visok sadržaj

glutaminske kiseline i prolina te relativno niske količine osnovnih aminokiselina karakteriziraju zrno ječma (Arendt i Zannini, 2013). Proteini ječma prepoznati su kao bogat izvor esencijalnih aminokiselina (lizin, treonin, metionin i triptofan) (Newman i sur., 1978).

**Masti** se u ječmu nalaze u manjem udjelu (2 - 4%) u usporedbi sa ostalim žitaricama (Price i Parsons, 1975; Welch, 1978). Endosperm, klica i ljuska posjeduju redom 77%, 18% i 5% ukupnog sadržaja lipida (Price i Parsons, 1979). U endospermu se glavni dio lipida taloži u aleuronskom sloju. Među masnim kiselinama, linolna kiselina je glavna masna kiselina prisutna u ječmu (52,4 - 58,3%), zatim palmitinska kiselina (21,4 - 28,7%), oleinska kiselina (10,4 - 16,9%), linolenska kiselina (4,5 - 7,3%) i stearinska kiselina (0,6 - 1,8%) (Welch, 1978).

**Šećeri** koji prevladavaju u ječmu su glukoza (11,9 - 24,3%), ksiloza (5,3 - 12,9%) i arabinoza (3,7 - 5,7%), dok je sadržaj manoze i galaktoze znatno niži (0,7 - 1,1% i 0,8 - 1,3%) (Holtekjølen i sur., 2006).

**Vitamini** su hranjive komponente koje proizvode biljke. Zrna žitarica dobro su poznata kao dobar izvor nekih vitamina, posebno nekih vitamina B-kompleksa. Zrna ječma sadrže sve vitamine osim vitamina A, D, K, B12 i C (Arendt i Zannini, 2013). Od svih žitarica ječam sadrži najveću količinu vitamina E topivog u mastima (Kerckhofs i sur., 2002). Zrna ječma sadrže svih osam izomera - četiri tokoferola ( $\alpha$ -T,  $\beta$ -T,  $\gamma$ -T,  $\delta$ -T) i četiri tokotrienola ( $\alpha$ -T3,  $\beta$ -T3,  $\gamma$ -T3,  $\delta$ -T3) (Morrison, 1978), s tim da je  $\alpha$ -T3 i  $\gamma$ -T3 najdominantniji (Moreau i sur., 2007; Nielsen i Hansen, 2008). Iako se većina tokoferola nalazi u klici, tokotrienoli su ravnomjernije raspršeni u jezgri (Peterson, 1994). Zabilježeno je da tokotrienoli ječma doprinose 76,8% ukupnih vitamina E, što ukazuje da je ječam jedan od najbogatijih izvora tokotrienola među žitaricama (Ward et al., 2008). Vitamin B1 (tiamin) taloži se uglavnom u aleuronskom sloju (32%) i skutelumu (62%) zrna, dok se vitamin B2 (ribofavin) uglavnom nalazi u aleuronskom sloju (37%) i endospermu (32%). Ječam sadrži najvišu razinu nikotinske kiseline od svih žitarica, a koncentrirana je u aleuronskom sloju (61%) (Newman i Newman, 2008).

**Minerala** u ječmu ima 2 - 3% (Newman i Newman, 2008). Klica pokazuje visoke koncentracije Mn (> 30%), dok su aleuronske podfrakcije imale najveću koncentraciju Mg. Raspodjela Cu, Zn i Fe također je mnogo veća na trbušnoj strani zrna u usporedbi s leđnom stranom. Najrasprostranjeniji makroelementi koji se nalaze u ječmu su P, K i Si, dok su među mikroelementima Fe, Mn i Zn glavni predstavnici (Arendt i Zannini, 2013). U prehranbenom smislu fosfor je najvažniji element, a u zrnu ječma prisutan je u obliku fitinske kiseline

(mioinositol), uglavnom lokaliziran u tkivima zametka i aleurona ječma, što predstavlja 65 - 75% ukupnog fosfora u zrnu (Raboy, 1990).

## 2.2. RAČUNALNA ANALIZA SLIKE

Povećanjem broja istraživanja u području analize slike dolazi do razvoja programskih rješenja koja znanstvenicima omogućavaju različite mogućnosti analize digitalnih slika uzorka. Digitalna slika nastaje mikroskopiranjem, fotografiranjem ili skeniranjem određenih uzoraka. Postoji značajna razlika između stvarne slike uzorka i digitalne slike. Digitalna slika je sastavljena od piksela i ona predstavlja numerički prikaz neke dvodimenzionalne slike. Digitalne slike se mogu obraditi računalno (promjena kontrasta, svjetline, intenzitet boje i sl.). Za matematičku analizu dobivenih slika koriste se različiti algoritmi dostupni putem mnogobrojnih računalnih programa. Analiza slike obuhvaća digitalizaciju, odnosno akviziciju slike, izdvajanje slikovnih parametara (boja, oblik, tekstura...). Za razliku od senzorske procjene uzoraka ljudskim okom, smatra se da su prednosti računalne analize slike njezina objektivnost, jednostavnost za korištenje i ponovljivost (Hibik, 2019).

### 2.2.1. Postupak provedbe računalne analize slike

**Stvaranje slike** je prva faza u bilo kojem sustavu strojnog vida, a odnosi se na stvaranje digitalne slike. Pribavljanje slika može učiniti senzor, skener ili digitalni fotoaparat. Nakon što je slika dobivena, na nju se mogu primijeniti različiti alati za obradu.

**Predprerada slike**, odnosno prethodna obrada slike jedan je od važnih koraka za poboljšanje kvalitete snimljene slike. Koristi se za ispravljanje eventualnih grešaka na snimljenoj slici.

**Filtriranje slike** pomaže u transformiranju vrijednosti intenziteta svakog piksela kako bi se otkrilo pripada li piksel objektu od interesa ili ostatku slike.

**Eliminacija pozadine** široko je korišten postupak za otkrivanje objekta u slikama.

**Binarnizacija slike** postupak je koji predstavlja sliku koristeći samo dvije različite vrijednosti piksela. Općenito se izvodi klasificiranjem sive skale u dvije skupine piksela.

**Morfološka operacije** su skupina nelinearnih komponenata povezanih s oblikom ili morfologijom obilježja na slici. Koriste element strukturiranja koji je pozicioniran na svim mogućim mjestima koja se uspoređuju s pikselom susjedstva slike. Dvije glavne operacije koje



se izvoditi pod morfologijom su erozija (uklanjanje sjene objekta) i proširenje (poboljšanje slike i oštine).

**Segmentacija slike** se koristi za izvođenje segmentacije pomoću označavanja komponenata, tj. kada se slika binarizira, izvršava se označavanje povezanih komponenata i dodjeljuje se oznake svakom pikselu na slici, tj. pripada li piksel objektu ili pozadini. Segmentacije može biti zasnovana na određivanju praga, određivanju rubova ili područja.

**Izvođenje značajki** podrazumijeva izdvajanje kvalitativnih informacija iz predmeta koji se analizira na slici. Značajke koje se mogu izdvojiti su značajke boja, geometrijske značajke ili značajke teksture.

**Značajke boje** vrlo su važne u procesu klasifikacije. Koriste se izdvojena obilježja boje od interesa.

**Geometrijske značajke**, odnosno geometrijski parametri daju nam osnovne podatke o veličini i obliku objekta. To se odnosi na količinu piksela u regiji, tj. piksele koji pripadaju objektu od interesa. Neke od najvažnijih značajki koje se koriste u opisivanju zrna žitarica su: duljina glavne osi, duljina kraće osi, konveksno područje, površina, ekscentričnost, zaokruženost itd. (Patil i sur., 2018).

### 2.2.2. Skener kao uređaj za prihvatanje i digitalizaciju slike

Digitalizacija slike je postupak dobivanja slike putem digitalnog uređaja. Visoka kvaliteta digitalne slike je osnovni preduvjet za analizu slike, a uređaji koji se koriste za digitalizaciju su skener ili fotoaparati (Shahin i Symons, 2005).

Skener je uređaj koji slijedno i sustavno pretražuje neki objekt i prikuplja podatke o njemu. U užem smislu, to je elektrooptička naprava koja tekst, fotografiju, crtež ili drugi plošni slikovni predložak pretvara u bitovni zapis, tj. rastersku digitalnu sliku pogodnu za računalnu pohranu i obradbu. Ima više vrsta optičkih skenera za digitalizaciju slike. Najčešće upotrebljavani je stolni plošni skener, koji se koristi kao vanjska jedinica osobnoga računala u kućnoj i uredskoj upotrebi. Stolni skener ima snažan izvor svjetlosti koji obasjava predložak i pokretnu letvicu s fotosjetljivim elementima. S obzirom na intenzitet odbijene svjetlosti, fotosjetljivi elementi generiraju električni signal koji se zapisuje kao vrijednost bita.

Razlučivost ovisi o preciznosti mehanizma za pomicanje letvice. Razlikuju se interpolirana razlučivost i optička razlučivost. Interpolirana razlučivost postiže se interpolacijom. To znači da se umeću točke između skeniranih točaka i poprimaju svojstva susjednih točaka, dok je optička razlučivost stvarna razlučivost skenera. Rezolucija je mjera kakvoće slike, a pikselima je definirana veličina digitalne slike. Što je rezolucija veća, oku je vidljivo više detalja (Velikanović,2018).

### **2.2.3. Program za obradu slike – ImageJ**

ImageJ je program za analizu digitalnih slika te je dostupan u slobodnom pristupu. Nastao je u prošlom stoljeću 90-ih godina, a Wayne Rasband je originalni tvorac poznatog i korisnog programa. ImageJ može prikazivati, obrađivati, uređivati, spremati, analizirati i ispisivati 8-bitne, 16-bitne i 32-bitne crno-bijele slike te 8-bitne i 24-bitne slike u boji. Formati slika koji se mogu obrađivati i pohraniti kao zasebne slike uključuju TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS. ImageJ je vrlo koristan alat koji može ispunjavati većinu potreba za analizu digitalnih slika. Također vrlo je jednostavan za korištenje, a jedna od njegovih velikih prednosti je što se materijali i upute za korištenje mogu pronaći na mrežnim stranicama. U programu postoje makronaredbe koje omogućuju automatizirano izvođenje potrebnih operacija na slikama i ubrzavaju obradu slika. Programski jezik ImageJ-a jednostavan je i funkcionalan skriptni jezik kojim se olakšava obrada i analiza slike. Program omogućava i određivanje morfoloških karakteristika objekata, izračunavanje broja piksela, mjerenje udaljenosti i kutova, a sadrži i opcije za podešavanje kontrasta, poravnavanje, izoštravanje, lokalizaciju, registraciju, praćenje, segmentaciju, vizualizaciju i još mnogo toga (Hibik, 2019; Collins, 2018; Velikanović,2018).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### **3.1. ZADATAK**

Zadatak ovog rada bio je ispitati pojedina fizikalno-kemijska svojstva zrna različitih pivarskih i stočnih sorti ječma pomoću standardnih metoda, kao i odrediti morfološka svojstva zrna primjenom računalne analize slike te utvrditi eventualnu mogućnost njihova korištenja u predviđanju fizikalno-kemijska svojstva zrna ječma.

### **3.2. MATERIJALI**

U istraživanju je korišteno 27 uzorka različitih pivarskih i stočnih sorti ječma uzgojenih na osječkom i zagrebačkom području kroz sezone 2018./2019. i 2019./2020. Od toga je 19 uzorka bilo iz vrste dvorednog ječma dok je 8 uzoraka bilo višeredno. Također, prema vremenu sjetve, jarog ječma je bilo 7 uzorka, a 20 uzoraka ozimog ječma.

#### **3.2.1. METODE**

##### **3.2.1.1. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava**

###### **Određivanje udjela proteina**

Udio proteina određen je prema standardnoj metodi HRN EN ISO 5983-2:2010. Navedena metoda je u biti metoda određivanja sirovih proteina po Kjeldahlu, a temelji se na određivanju udjela ukupnog dušika pomnoženog s faktorom 5,83.

###### **Određivanje apsolutne mase (mase 100 zrna)**

Apsolutna masa određena je prema standardnoj metodi HRN EN ISO 520:2012. Od reprezentativnog uzorka se bez odabiranja ibroji 1000 cijelih zrna i izvaže, te se rezultat preračuna na suhu tvar.

###### **Određivanje nasipne gustoće (hektolitarske mase)**

Hektolitarska masa određena je prema standardnoj metodi HRN EN ISO 7971-2:2019 uz korištenje Schopperova vage volumena 1 l. Izražava se u kg/hl.

### Određivanje udjela zrna I. klase

Kalibracija uzoraka provedena je na laboratorijskoj tresilici za sita Analysette 3 Pro (Fritsch, Weimar, Njemačka) propuštanjem kroz sita otvora 2,8 x 25 mm, 2,5 x 25 mm i 2,2 x 25 mm. Udio zrna većih od 2,5 mm predstavlja I. klasu ječma.

### Određivanje staklavosti

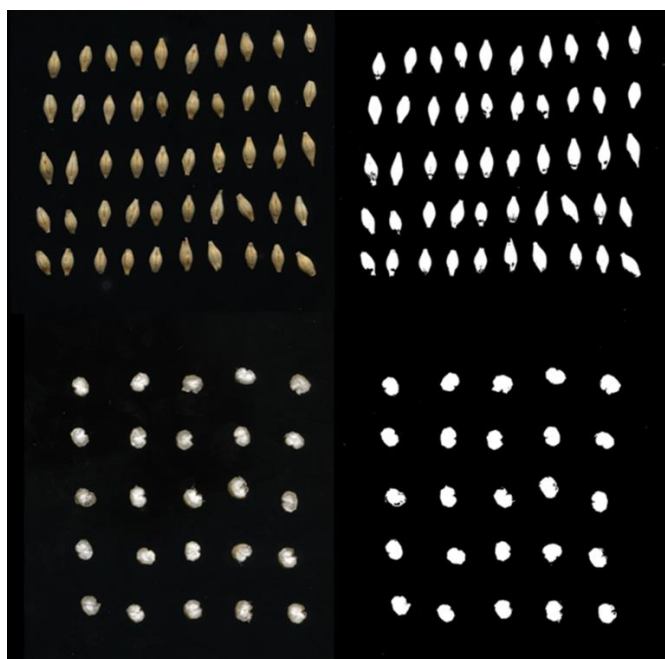
Određivanje staklavosti provedeno je rezanjem 100 zrna pomoću farinotoma te brojanjem potpuno (A),  $\frac{3}{4}$  (B) i  $\frac{1}{2}$  (C) staklastih zrna.

Staklavost je računata prema formuli:

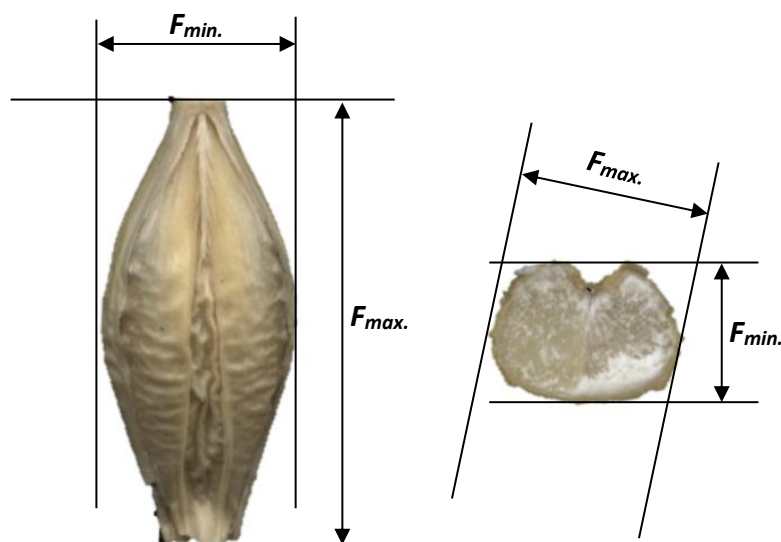
$$S = A + B + 1/2 C (\%) \quad (1)$$

### 3.2.1.2. Određivanje geometrijskih značajki zrna ječma primjenom računalne analize slike

Geometrijske značajke zrna ječma određene su računalnom analizom slike. Prihvat i digitalizacija uzorak provedena je pomoću skenera Epson V500 Photo (Epson America Inc., CA, USA) uz rezoluciji 600 dpi, dubinu boje 24 bit u sRGB modelu i TIFF formatu. Skener je smješten u tamnu komoru da bi se eliminirao utjecaj vanjskog svjetla i smanjila mogućnost nastanka pogreške pri skeniranju. Od svakog uzorka je skenirano 50 cijelih zrna i 25 polovica (presjek zrna), vodeći računa pri slaganju zrna na staklo skenera da se zrna međusobno ne dodiruju (**Slika 1**). Nakon skeniranja slike su obrađene u programu ImageJ (verzija 1.59g, Wayne Rasband, NIMH, Maryland, USA). Područje interesa (ROI) odabrano je upotrebom makronaredbe „Auto Treshold - Default white method“, a geometrijske značajke odabranog područja (zrna) pomoću naredbe „Analyze Particles“. Parametri koji su se očitavali bili su površina (mm<sup>2</sup>), opseg (mm), maksimalni i minimalni Feretov dijametar (mm) te zaokruženost, kako za cjelovito zrno ječma, tako i za presjek zrna. Za presjek zrna je osim navedenih parametara određena i prosječna vrijednost sive boje koja se izračunava iz rezultata dobivenih primjenom naredbe „Color Histogram“. Feretovi promjeri predstavljaju najdužu i najkraću os koja se može postići rotacijom odabranog objekta, odnosno duljinu i širinu zrna (**Slika 2**). Dobiveni rezultati mjerenja geometrijskih svojstava zrna pretvaraju se iz piksela u milimetre obzirom na poznate vrijednosti razlučivosti skenera u dpi jedinicama.



**Slika 1** Fotografija uzorka zrna i presjeka zrna ječma i odabrano područje interesa (ROI) upotrebom *ImageJ* programa



**Slika 2** Maksimalni i minimalni Feretov promjer zrna ječma

Zaokruženost (engl. *Roundness*) je geometrijska značajka koja nam govori koliko neki oblik tijela odstupa od pravilne kružnice (**Slika 3**). Vrijednosti se kreću u rasponu 0-1, a što su

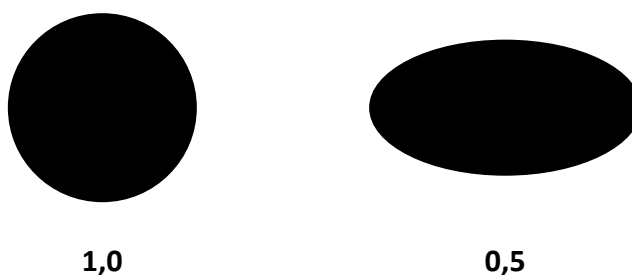
vrijednosti bliže vrijednosti 1 to uzorak više ima oblik savršenog kruga. Izračunava se formulom:

$$\text{Zaokruženost} = \frac{4\pi(P)}{(d)^2} \quad (2)$$

gdje je:

$P$  – površina zrna izražena ( $\text{mm}^2$ )

$d$  – duljina glavne (najduže) osi (mm)

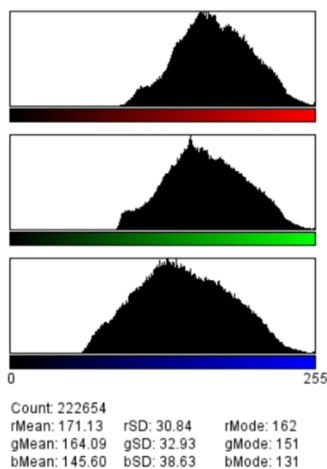


**Slika 3** Vrijednosti zaokruženosti za kružnicu i elipsu

Prosječna vrijednost sive boje računa se kao prosječna vrijednost očitane crvene, zelene i plave boje:

$$PVSB = \frac{R + G + B}{3} \quad (3)$$

gdje je:  $R$  – dobivena vrijednost crvene boje;  $G$  – dobivena vrijednost zelene boje;  $B$  – dobivena vrijednost plave boje.



**Slika 4** Primjer histograma presjeka zrna ječma u *ImageJ* programu

### 3.2.1.3. Statistička obrada rezultata

Statistička analiza provedena je upotrebom programa Statistica (inačica 13.5.0.17, TIBCO Software Inc., Palo Alto, SAD). Rezultati su prikazani kao srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija, a za utvrđivanje eventualne razlike između dvorednih i višerednih te ozimih i jarih sorti ječma provedena je analiza varijance (one-way ANOVA) i post-hoc višestruka usporedba Tukeyevim HSD testom značajne razlike (engl. *Honestly significant difference*). Međuovisnost fizikalno-kemijskih svojstava i geometrijskih značajki zrna ječma ocijenjena je Pearsonovim ( $r$ ) koeficijentom korelacije ( $p < 0,05$ ). Provedena je i višestruka postupna ili stupnjevita (engl. *Stepwise*) regresijska analiza s odabirom unaprijed (engl. *Forward Selection*) kako bi se dobili modeli predviđanja pojedinih fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma upotrebom geometrijskih značajki dobivenih računalnom analizom slike. Kao pravilo zaustavljanja regresijske analize postavljen je prag za prihvaćanje varijable u modelu od 0,05. Za procjenu uspješnosti predviđanja dobivenim modelima korišteni su koeficijent determinacije ( $R^2$ ), korigirani koeficijent determinacije ( $\bar{R}^2$ ) i srednja kvadratna pogreška ( $MSE$ ). Ispitivanje autokorelacije odstupanja u regresijskoj analizi provedeno je Durbin-Watsonovim testom pri čemu njegove vrijednosti u rasponu 1,5-2,5 predstavljaju odsutnost autokorelacije. Nezavisne varijable u regresijskoj analizi bile su površina, opseg, Feretov promjer (maksimalni i minimalni) i zaokruženost zrna i presjeka zrna ječma te prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna. Zavisne varijable bila su pojedina fizikalno-kemijska svojstva (udio proteina, apsolutna i hektolitarska masa, udio zrna I. klase i staklavost zrna).

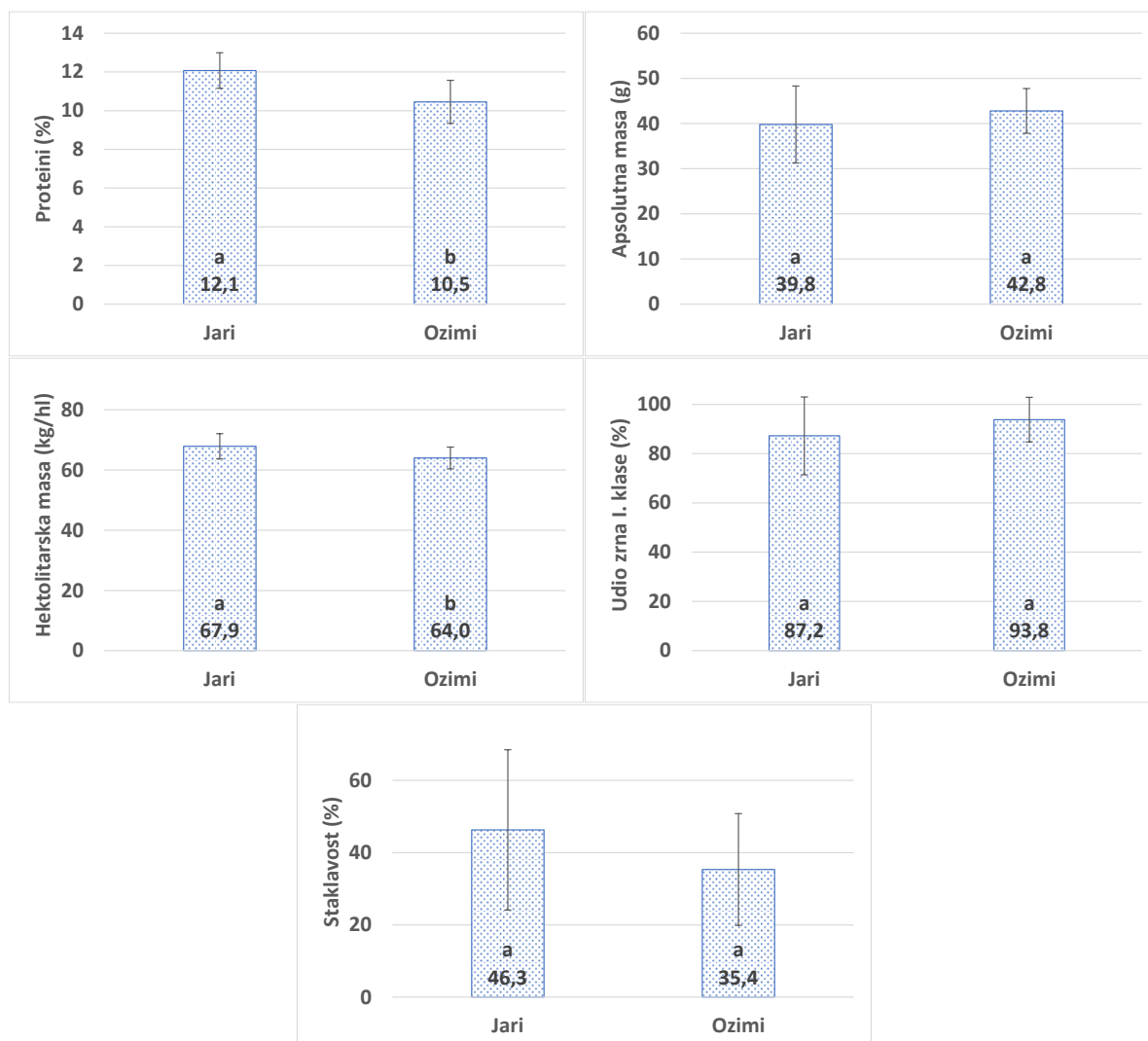


## **4. REZULTATI**

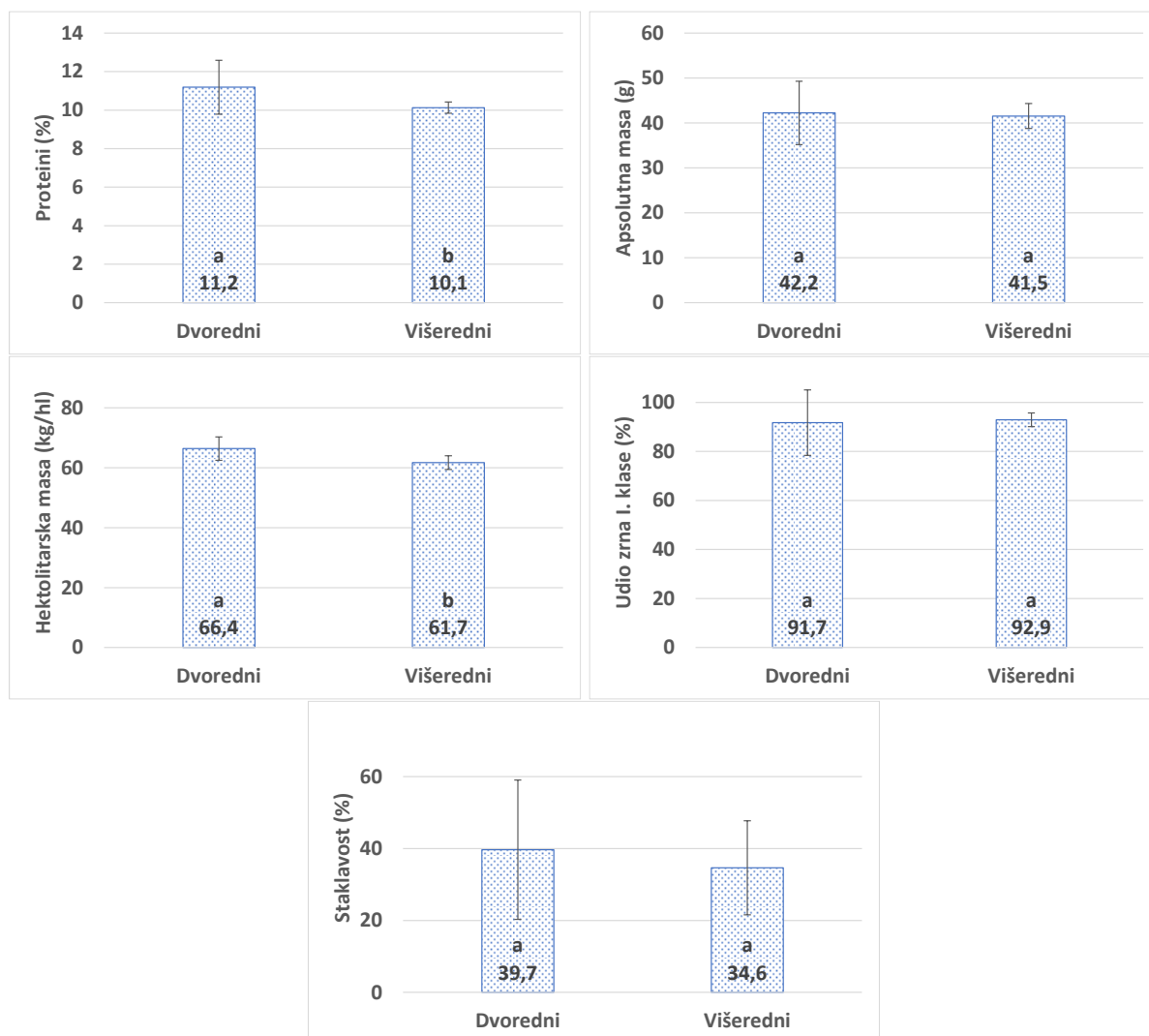
#### 4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA I GEOMETRIJSKIH ZNAČAJKI ZRNA JEČMA

**Tablica 1** Pojedinačni rezultati ispitivanja fizikalno-kemijskih svojstava različitih sorti ječma

Oznaka uzorka	Vrijeme sjetve	Vrsta	Proteini (%)	Apsolutna masa (g)	Hektolitarska masa (kg/hl)	Udio zrna I. klase (%)	Staklavost (%)
1	Ozimi	Višeredni	10,0	37,7	59,9	88,6	44
2	Ozimi	Višeredni	10,4	37,7	59,1	89,7	23
3	Ozimi	Višeredni	9,8	43,3	61,1	94,2	32
4	Ozimi	Višeredni	9,9	43,2	61,6	90,8	36
5	Ozimi	Višeredni	10,0	42,0	61,4	94,2	44
6	Ozimi	Višeredni	10,1	39,9	61,6	94,1	16
7	Ozimi	Višeredni	10,1	43,6	62,2	95,4	26
8	Ozimi	Višeredni	10,7	45,0	66,8	96,1	56
9	Ozimi	Dvoredni	10,8	43,0	64,7	95,1	36
10	Ozimi	Dvoredni	10,1	48,1	63,8	98,0	12
11	Ozimi	Dvoredni	10,0	41,3	63,7	97,4	36
12	Ozimi	Dvoredni	9,5	42,7	63,6	96,3	50
13	Ozimi	Dvoredni	10,1	45,6	62,4	97,3	4
14	Ozimi	Dvoredni	10,3	48,4	63,6	98,0	30
15	Ozimi	Dvoredni	9,5	26,7	58,6	57,7	32
16	Ozimi	Dvoredni	11,2	43,4	69,0	98,1	46
17	Ozimi	Dvoredni	10,4	42,3	70,2	96,6	42
18	Ozimi	Dvoredni	11,0	45,3	69,2	98,9	60
19	Ozimi	Dvoredni	10,4	47,2	70,4	99,5	60
20	Ozimi	Dvoredni	14,8	49,6	66,8	99,5	22
21	Jari	Dvoredni	11,7	32,8	66,7	78,3	22
22	Jari	Dvoredni	11,0	29,0	61,9	56,3	20
23	Jari	Dvoredni	11,9	31,4	62,8	84,6	26
24	Jari	Dvoredni	13,3	42,8	72,9	96,8	64
25	Jari	Dvoredni	11,5	45,0	70,2	97,1	64
26	Jari	Dvoredni	13,4	48,4	70,3	98,9	62
27	Jari	Dvoredni	11,7	49,2	70,5	98,6	66
<b>MIN</b>			9,5	26,7	58,6	56,3	4
<b>MAX</b>			14,8	49,6	72,9	99,5	66
<b><math>\bar{x}</math></b>			<b>10,9</b>	<b>42,0</b>	<b>65,0</b>	<b>92,1</b>	<b>38,2</b>
<b>SD</b>			1,3	5,9	4,0	11,0	17,3



**Slika 5** Fizikalno-kemijska svojstva različitih sorti ječma s obzirom na vrijeme sjetve  
 (prikazani podaci su srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima  
 nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)

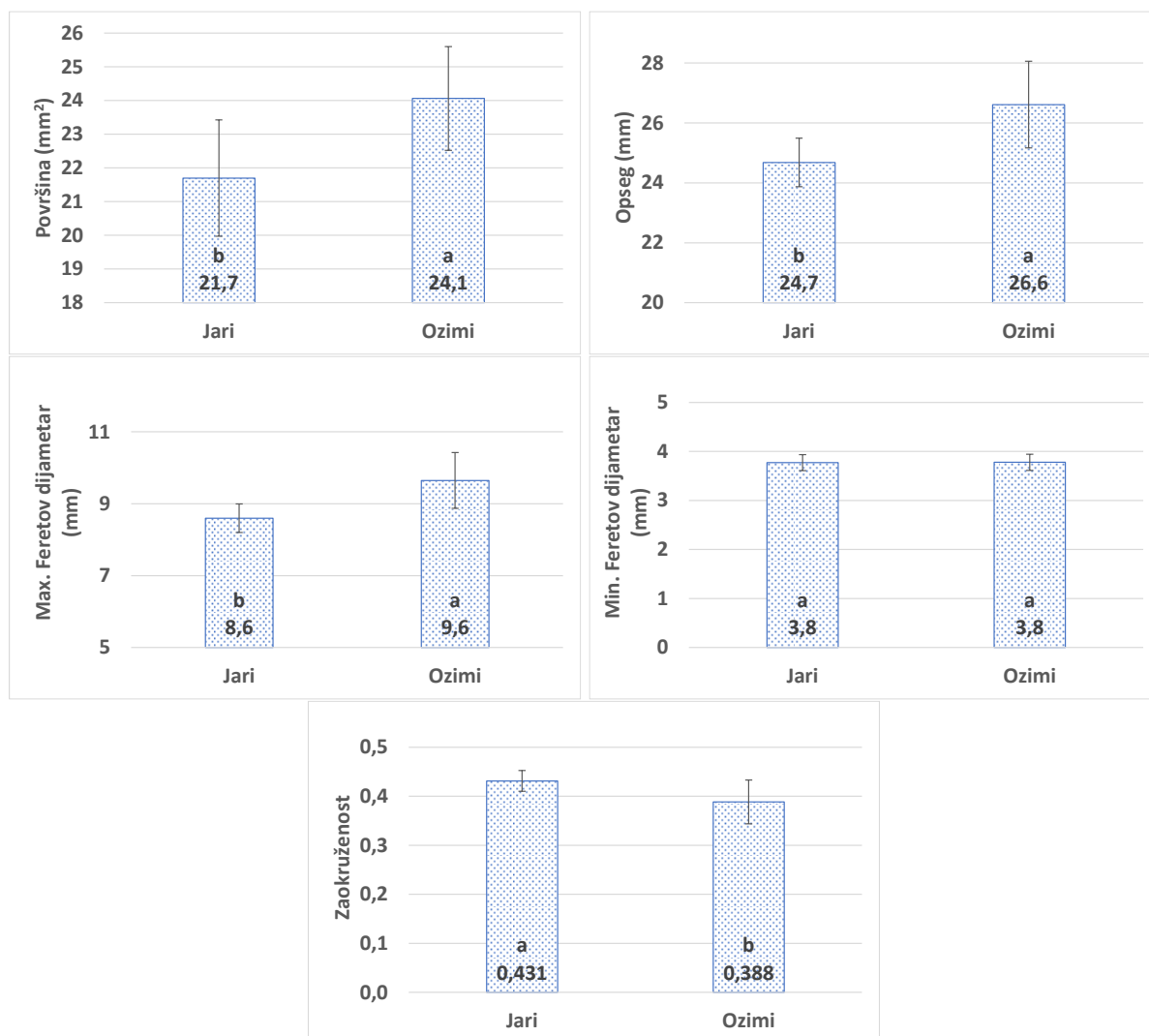


**Slika 6** Fizikalno-kemijska svojstva različitih sorti ječma s obzirom na vrstu  
(prikazani podaci su srednja vrijednost  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima  
nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)

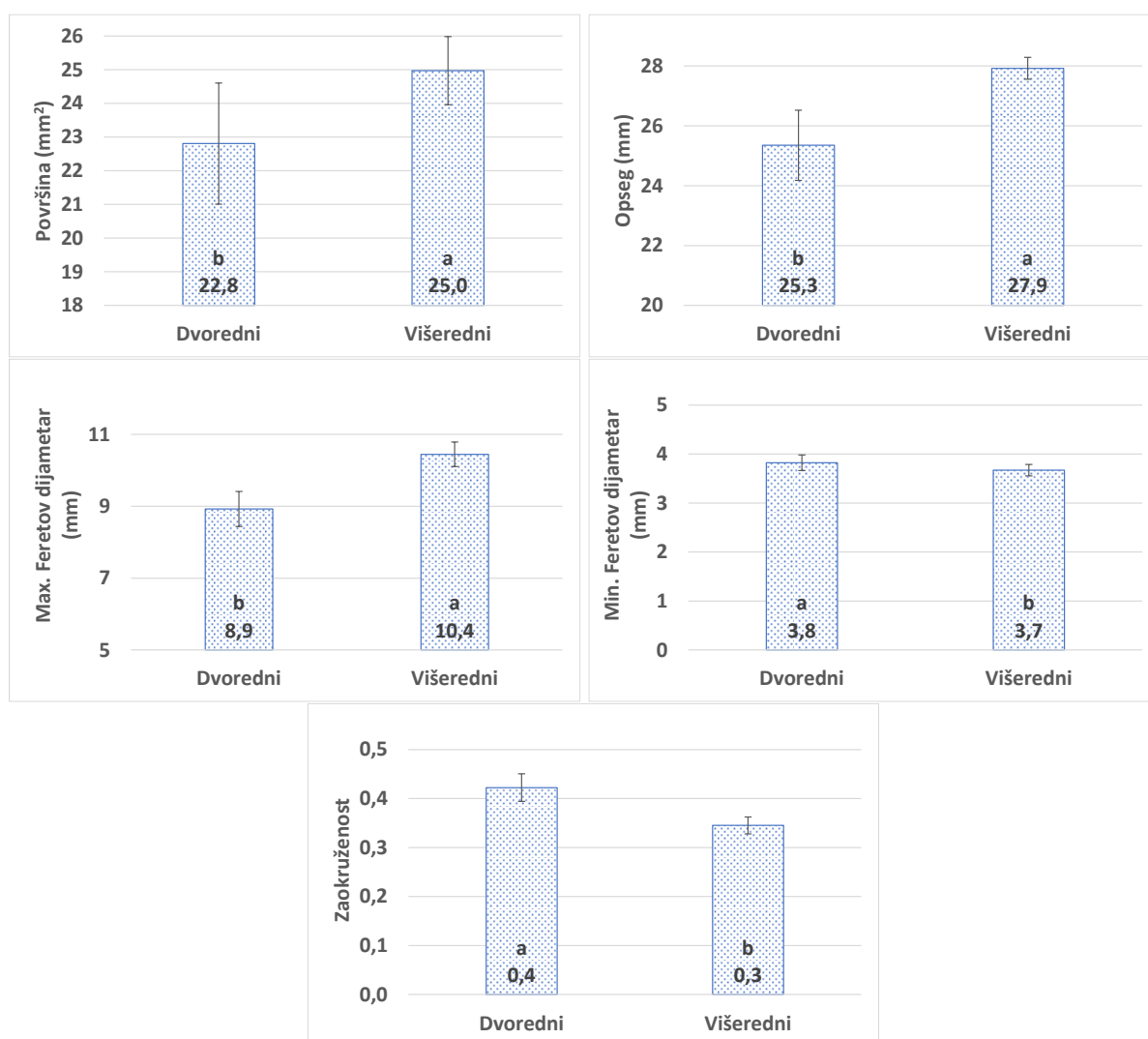
**Tablica 2** Pojedinačni rezultati određivanja geometrijskih značajki zrna (vanjskih) različitih sorti ječma primjenom računalne analize slike

Oznaka uzorka	Vrijeme sjetve	Vrsta	Površina (mm <sup>2</sup> )	Opseg (mm)	F <sub>max</sub> (mm)	F <sub>min</sub> (mm)	ZO
1	Ozimi	Višeredni	25,3	27,4	10,6	3,7	0,33
2	Ozimi	Višeredni	24,4	27,8	10,7	3,6	0,33
3	Ozimi	Višeredni	26,7	28,1	11,0	3,7	0,33
4	Ozimi	Višeredni	25,4	28,6	10,5	3,7	0,35
5	Ozimi	Višeredni	25,5	28,1	10,2	3,8	0,36
6	Ozimi	Višeredni	23,3	27,7	10,5	3,5	0,33
7	Ozimi	Višeredni	24,5	27,7	9,9	3,7	0,37
8	Ozimi	Višeredni	24,7	27,8	10,1	3,8	0,37
9	Ozimi	Dvoredni	23,3	26,1	9,0	3,9	0,43
10	Ozimi	Dvoredni	26,1	26,3	9,8	3,9	0,39
11	Ozimi	Dvoredni	22,9	25,6	9,0	3,8	0,42
12	Ozimi	Dvoredni	24,6	25,9	9,3	3,9	0,41
13	Ozimi	Dvoredni	24,4	27,8	9,8	3,8	0,38
14	Ozimi	Dvoredni	25,5	27,5	9,5	3,9	0,41
15	Ozimi	Dvoredni	21,6	24,8	9,3	3,4	0,36
16	Ozimi	Dvoredni	21,9	24,0	8,6	3,8	0,44
17	Ozimi	Dvoredni	21,1	24,1	8,4	3,8	0,45
18	Ozimi	Dvoredni	22,5	25,3	8,8	3,9	0,44
19	Ozimi	Dvoredni	23,4	24,9	8,7	4,1	0,47
20	Ozimi	Dvoredni	24,0	26,5	9,2	3,9	0,42
21	Jari	Dvoredni	19,5	24,0	8,0	3,6	0,45
22	Jari	Dvoredni	20,7	24,4	8,6	3,6	0,40
23	Jari	Dvoredni	19,8	23,5	8,3	3,6	0,42
24	Jari	Dvoredni	21,7	24,6	8,4	3,9	0,45
25	Jari	Dvoredni	23,6	25,8	9,0	3,9	0,43
26	Jari	Dvoredni	23,1	25,3	8,7	3,9	0,45
27	Jari	Dvoredni	23,4	25,3	9,2	3,9	0,42
<b>MIN</b>			19,5	23,5	8,0	3,4	0,33
<b>MAX</b>			26,7	28,6	11,0	4,1	0,47
<b><math>\bar{x}</math></b>			<b>23,4</b>	<b>26,1</b>	<b>9,4</b>	<b>3,8</b>	<b>0,40</b>
<b>SD</b>			1,8	1,5	0,8	0,2	0,04

F<sub>max</sub>-maksimalni Feretov dijametar, F<sub>min</sub>-minimalni Feretov dijametar, ZO-zaokruženost



**Slika 7** Rezultati određivanja geometrijskih značajki zrna (vanjskih) različitih sorti ječma s obzirom na vrijeme sjetve (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)



**Slika 8** Rezultati određivanja geometrijskih značajki zrna (vanjskih) različitih sorti ječma s obzirom na vrstu

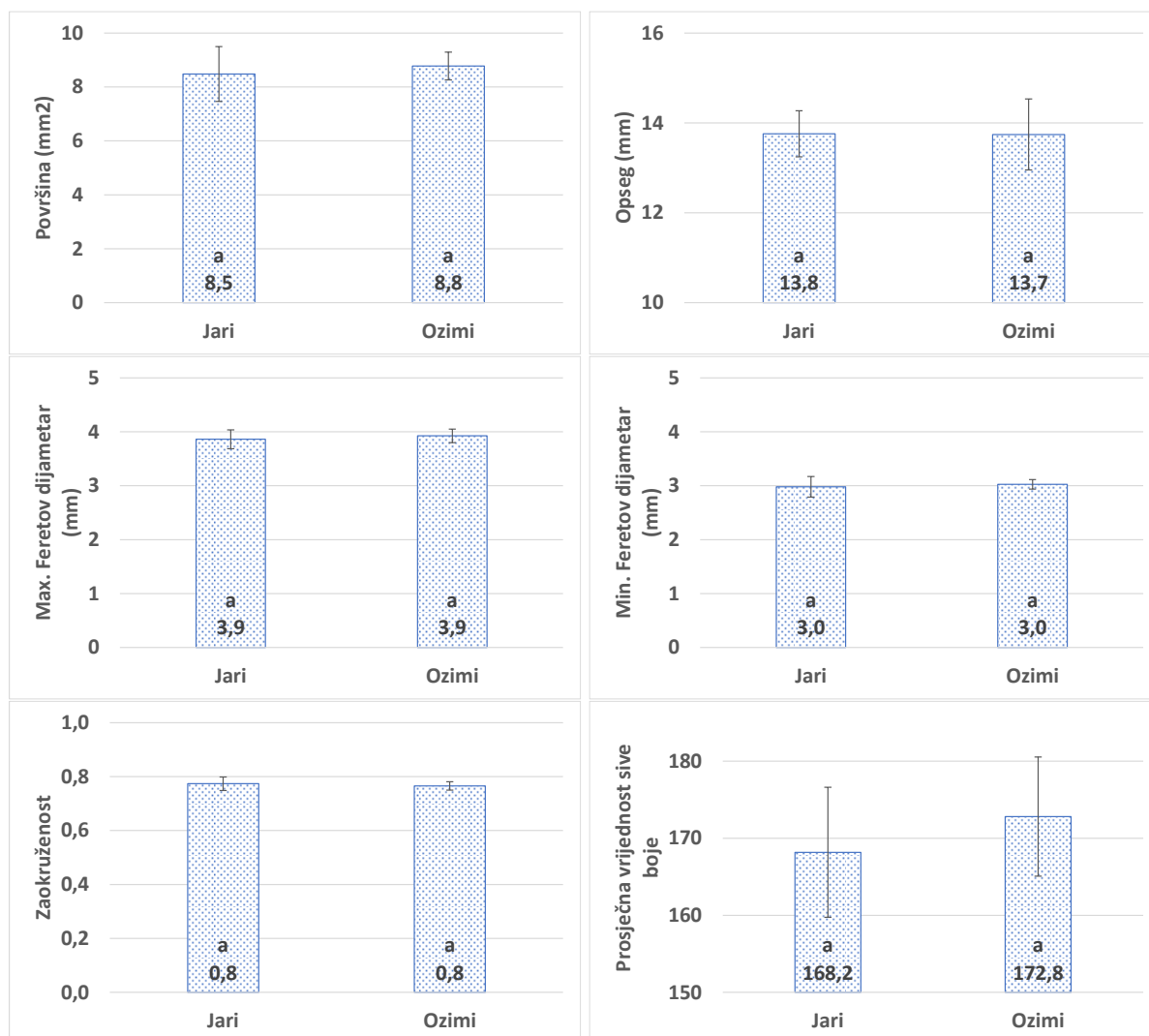
(prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)

**Tablica 3** Pojedinačni rezultati određivanja geometrijskih značajki presjeka zrna različitih sorti ječma primjenom računalne analize slike

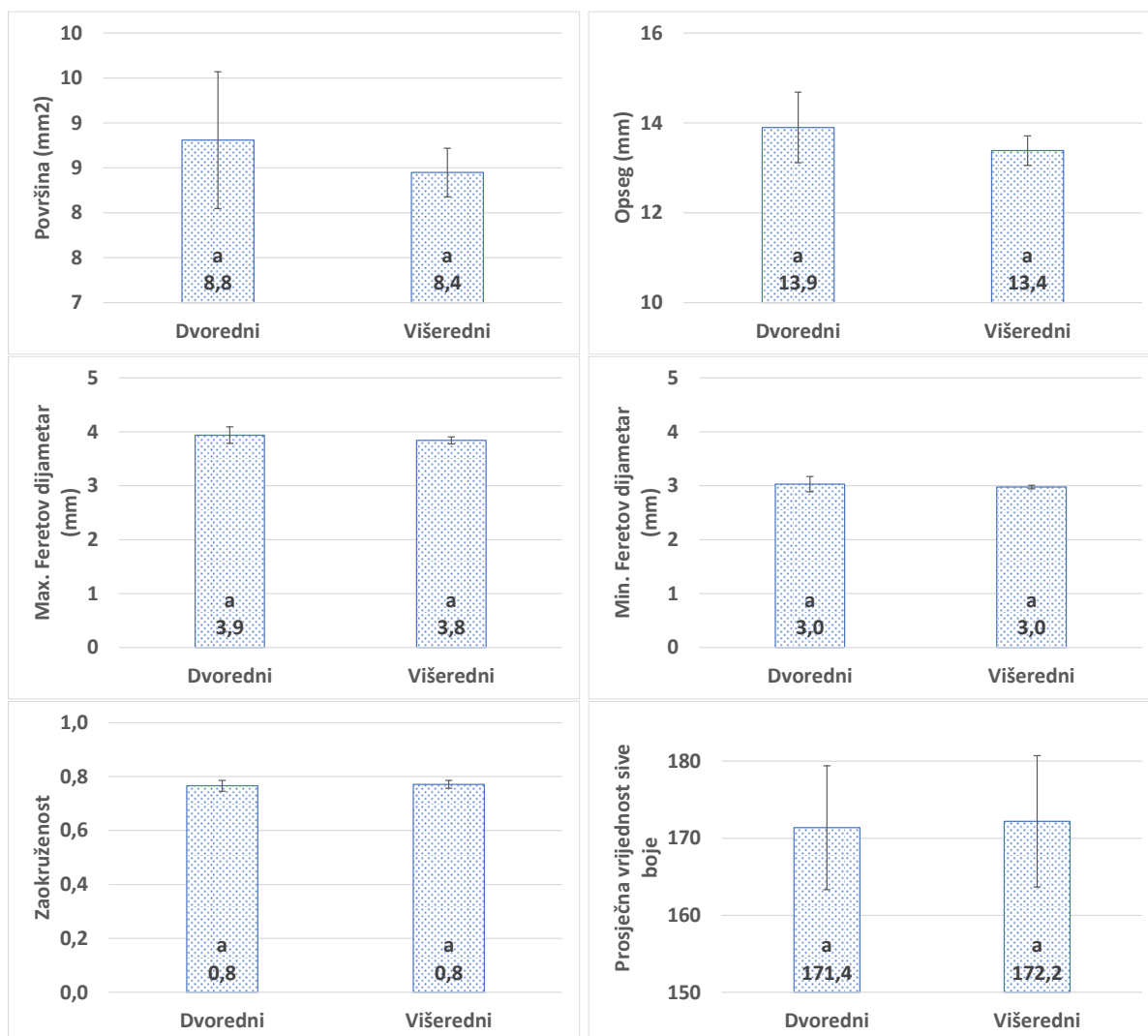
Oznaka uzorka	Vrijeme sjetve	Vrsta	Površina (mm <sup>2</sup> )	Opseg (mm)	F <sub>max</sub> (mm)	F <sub>min</sub> (mm)	ZO	PVSB
1	Ozimi	Višeredni	8,3	13,9	3,8	3,0	0,77	173,3
2	Ozimi	Višeredni	8,3	13,2	3,8	3,0	0,77	175,9
3	Ozimi	Višeredni	8,2	13,6	3,8	2,9	0,75	172,8
4	Ozimi	Višeredni	8,5	13,6	3,9	3,0	0,78	166,0
5	Ozimi	Višeredni	8,4	13,3	3,8	3,0	0,78	166,5
6	Ozimi	Višeredni	8,3	13,1	3,8	3,0	0,79	183,4
7	Ozimi	Višeredni	8,5	12,9	3,8	3,0	0,77	181,7
8	Ozimi	Višeredni	9,1	13,5	4,0	3,0	0,76	157,8
9	Ozimi	Dvoredni	9,0	14,6	4,1	3,0	0,73	173,4
10	Ozimi	Dvoredni	9,2	15,0	4,1	3,1	0,75	186,4
11	Ozimi	Dvoredni	8,4	13,2	3,8	3,0	0,77	180,3
12	Ozimi	Dvoredni	8,6	13,8	4,0	3,0	0,73	165,4
13	Ozimi	Dvoredni	9,0	15,7	4,0	3,2	0,78	183,6
14	Ozimi	Dvoredni	9,4	14,6	4,0	3,2	0,77	177,3
15	Ozimi	Dvoredni	7,8	13,6	3,7	2,9	0,76	167,4
16	Ozimi	Dvoredni	9,1	13,0	4,0	3,0	0,76	168,9
17	Ozimi	Dvoredni	8,9	12,7	3,9	3,0	0,77	174,4
18	Ozimi	Dvoredni	9,3	13,0	4,0	3,1	0,76	163,7
19	Ozimi	Dvoredni	9,6	14,3	4,1	3,2	0,77	165,0
20	Ozimi	Dvoredni	9,7	14,4	4,1	3,2	0,78	173,0
21	Jari	Dvoredni	7,8	13,4	3,8	2,8	0,74	173,7
22	Jari	Dvoredni	7,2	13,4	3,6	2,7	0,76	176,3
23	Jari	Dvoredni	7,4	14,6	3,7	2,8	0,75	180,7
24	Jari	Dvoredni	9,0	13,3	3,9	3,1	0,79	160,3
25	Jari	Dvoredni	8,9	13,5	3,9	3,0	0,79	162,9
26	Jari	Dvoredni	9,5	14,0	4,0	3,2	0,81	161,0
27	Jari	Dvoredni	9,6	14,2	4,1	3,2	0,79	162,4
<b>MIN</b>			7,2	12,7	3,6	2,7	0,73	157,8
<b>MAX</b>			9,7	15,7	4,1	3,2	0,81	186,4
<b><math>\bar{x}</math></b>			<b>8,7</b>	<b>13,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,0</b>	<b>0,77</b>	<b>171,6</b>
<b>SD</b>			0,7	0,7	0,1	0,1	0,02	7,9

F<sub>max</sub>-maksimalni Feretov dijamer, F<sub>min</sub>-minimalni Feretov dijamer, ZO-zaokruženost, PVSB-prosječna vrijednost sive boje





**Slika 9** Rezultati određivanja geometrijskih značajki presjeka zrna različitih sorti ječma s obzirom na vrijeme sjetve (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)



**Slika 10** Rezultati određivanja geometrijskih značajki presjeka zrna različitih sorti ječma s obzirom na vrstu

(prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)

## 4.2. KORELACIJSKA MATRICA DOBIVENIH REZULTATA ISPITIVANJA

**Tablica 4** Korelacijska matrica rezultata određivanja geometrijskih značajki zrna (vanjskih) i fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma

	Površina (mm <sup>2</sup> )	Opseg (mm)	F <sub>max</sub> (mm)	F <sub>min</sub> (mm)	ZO
Proteini (%)	-0,363	<b>-0,389</b>	<b>-0,494</b>	0,298	<b>0,539</b>
AM (g)	<b>0,570</b>	0,325	0,142	<b>0,813</b>	0,248
HLM (kg/hl)	-0,328	<b>-0,531</b>	<b>-0,643</b>	<b>0,681</b>	<b>0,835</b>
Udio zrna I. klase (%)	<b>0,466</b>	0,284	0,138	<b>0,711</b>	0,228
Staklavost (%)	-0,045	-0,256	-0,268	<b>0,505</b>	<b>0,449</b>

AM-apsolutna masa, HM-hektolitarska masa, F<sub>max</sub>-maksimalni Feretov promjer, F<sub>min</sub>-minimalni Feretov promjer, ZO-zaokruženosť

\*podebljani koeficijenti korelacije (*r*) su statistički značajne (*p*<0,05)

**Tablica 5** Korelacijska matrica rezultata određivanja geometrijskih značajki presjeka zrna i fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma

	Površina (mm <sup>2</sup> )	Opseg (mm)	F <sub>max</sub> (mm)	F <sub>min</sub> (mm)	ZO	PVSB
Proteini (%)	0,325	0,089	0,287	0,299	0,341	-0,291
AM (g)	<b>0,920</b>	0,277	<b>0,849</b>	<b>0,887</b>	0,361	-0,200
HLM (kg/hl)	<b>0,624</b>	-0,093	<b>0,576</b>	<b>0,497</b>	0,241	<b>-0,539</b>
Udio zrna I. klase (%)	<b>0,780</b>	0,147	<b>0,732</b>	<b>0,748</b>	0,263	-0,106
Staklavost (%)	<b>0,436</b>	-0,304	<b>0,400</b>	0,316	0,242	<b>-0,876</b>

AM-apsolutna masa, HM-hektolitarska masa, F<sub>max</sub>-maksimalni Feretov promjer, F<sub>min</sub>-minimalni Feretov promjer, ZO-zaokruženosť, PVSB-prosječna vrijednost sive boje

\*podebljani koeficijenti korelacije (*r*) su statistički značajne (*p*<0,05)

### 4.3. REZULTATI VIŠESTRUKA LINEARNE REGRESIJE

**Tablica 6** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki (vanjskih) zrna ječma na predviđanje udjela proteina

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_Z	-	-	-	-	-	$b_0 = 4,612$
O_Z	-	-	-	-	-	$F = 10,226$
F <sub>max_Z</sub>	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,290$
F <sub>min_Z</sub>	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,262$
ZO_Z	15,674	4,901	0,539	3,198	<b>0,004</b>	$MSE = 1,199$
						$DW = 1,763$
						$p = \mathbf{0,004}$

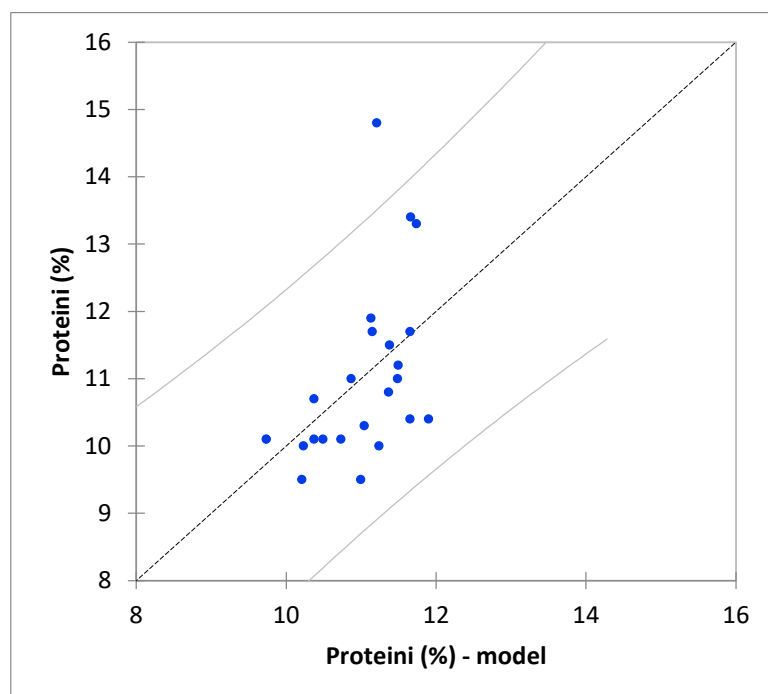
Jednadžba modela:

$$\text{Proteini (\%)} = 4,612 + 15,674 * \text{ZO}_Z$$

<sup>a</sup> P\_Z-površina zrna, O\_Z-opseg zrna, F<sub>max\_Z</sub>-maksimalni Feretov promjer zrna, F<sub>min\_Z</sub>-minimalni Feretov promjer zrna, ZO\_Z-zaokruženost zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 11** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti udjela proteina (%) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 7** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki (vanjskih) zrna ječma na predviđanje apsolutne mase ječma

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_Z	-	-	-	-	-	$b_0 = -175,062$
O_Z	-	-	-	-	-	$F = 44,028$
						$R^2 = 0,852$
$F_{max\_Z}$	9,339	3,017	0,417	3,095	<b>0,005</b>	$\bar{R}^2 = 0,832$
$F_{min\_Z}$	18,130	8,591	0,229	2,110	<b>0,046</b>	$MSE = 6,125$
ZO_Z	152,855	71,718	0,520	2,131	<b>0,044</b>	$DW = 1,878$
						$p = < 0,0001$

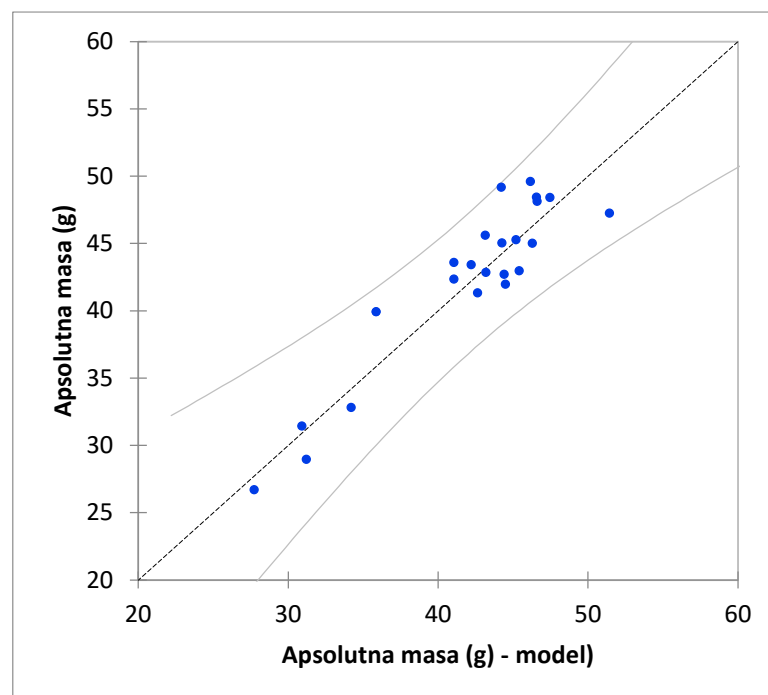
Jednadžba modela:

$$\text{Apsolutna masa (g)} = -175,061 + 9,339 * F_{max\_Z} + 18,13 * F_{min\_Z} + 152,855 * ZO\_Z$$

<sup>a</sup> P\_Z-površina zrna, O\_Z-opseg zrna,  $F_{max\_Z}$ -maksimalni Feretov promjer zrna,  $F_{min\_Z}$ -minimalni Feretov promjer zrna, ZO\_Z-zaokruženos zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent,  $b_0$ -odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 12** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti apsolutne mase (g) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 8** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki (vanjskih) zrna ječma na predviđanje hektolitarske mase ječma

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_Z	-1,432	0,560	-0,657	-2,556	<b>0,018</b>	$b_0 = -65,68$
O_Z	-	-	-	-	-	$F = 35,281$
F <sub>max_Z</sub>	8,999	2,503	1,835	3,595	<b>0,002</b>	$R^2 = 0,821$
F <sub>min_Z</sub>	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,798$
ZO_Z	199,977	32,777	2,139	6,101	<b>&lt; 0,0001</b>	$MSE = 3,385$
						$DW = 1,875$
						$p = < 0,0001$

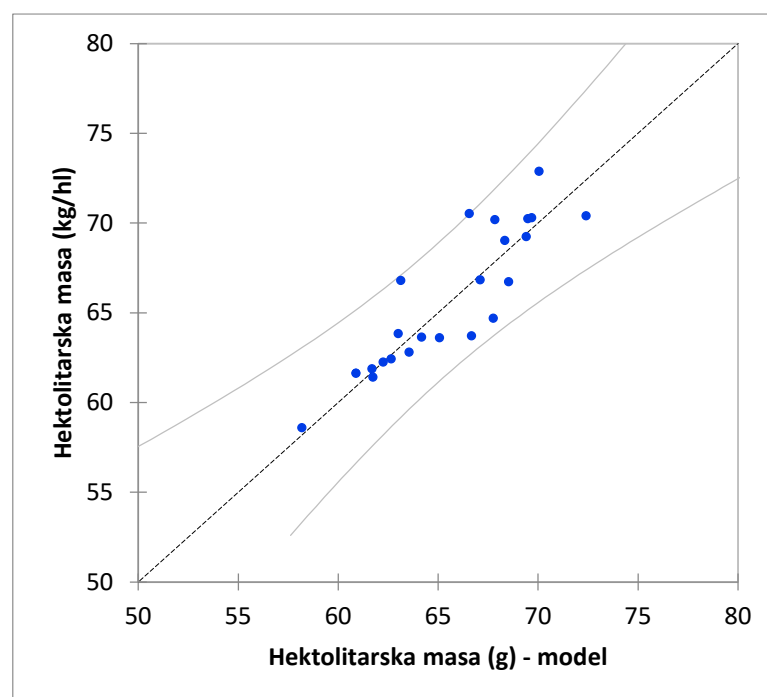
Jednadžba modela:

$$\text{Hektolitarska masa (g)} = -65,68 - 1,432 * P\_Z + 8,999 * F_{\max\_Z} + 199,977 * ZO\_Z$$

<sup>a</sup> P\_Z-površina zrna, O\_Z-opseg zrna, F<sub>max\_Z</sub>-maksimalni Feretov promjer zrna, F<sub>min\_Z</sub>-minimalni Feretov promjer zrna, ZO\_Z-zaokruženosť zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 13** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti hektolitarske mase (kg/hl) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 9** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki (vanjskih) zrna ječma na predviđanje udjela zrna I. klase

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_Z	-	-	-	-	-	$b_0 = -346,279$
O_Z	-	-	-	-	-	$F = 19,777$
$F_{max\_Z}$	24,751	7,683	1,843	3,222	<b>0,004</b>	$R^2 = 0,721$
$F_{min\_Z}$	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,684$
ZO_Z	476,185	182,631	1,860	2,607	<b>0,016</b>	$MSE = 39,719$
						$DW = 2,131$
						$p = < 0,0001$

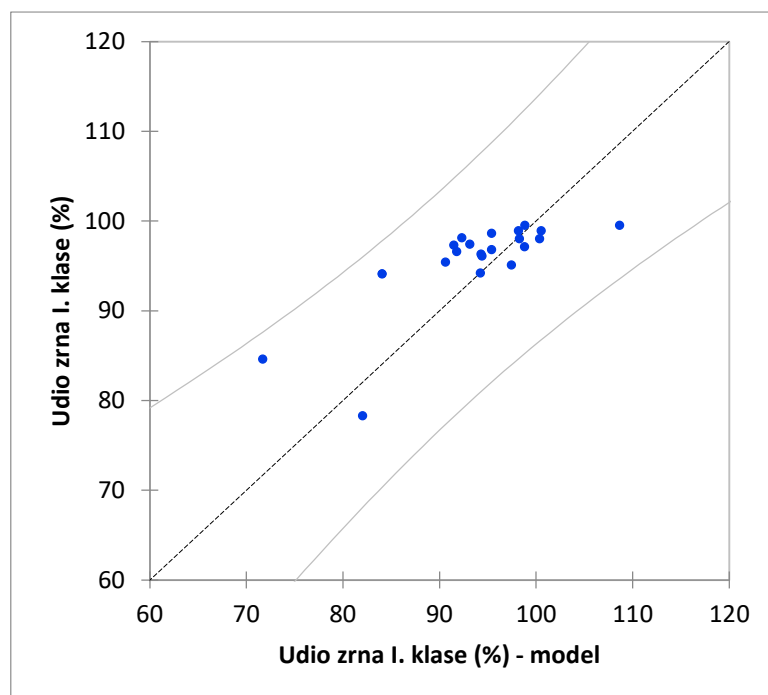
Jednadžba modela:

$$\text{Udio zrna I. klase (\%)} = -346,279 + 24,751 * F_{max\_Z} + 476,185 * ZO\_Z$$

<sup>a</sup> P\_Z-površina zrna, O\_Z-opseg zrna,  $F_{max\_Z}$ -maksimalni Feretov promjer zrna,  $F_{min\_Z}$ -minimalni Feretov promjer zrna, ZO\_Z-zaokruženost zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent,  $b_0$ -odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 14** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti udjela zrna I. klase (%) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 10** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki (vanjskih) zrna ječma na predviđanje staklavosti

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_Z	-	-	-	-	-	$b_0 = -170,555$
O_Z	-	-	-	-	-	$F = 8,538$
F <sub>max_Z</sub>	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,255$
F <sub>min_Z</sub>	55,278	18,918	0,505	2,922	<b>0,007</b>	$\bar{R}^2 = 0,225$
ZO_Z	-	-	-	-	-	$MSE = 241,879$
						$DW = 1,380$
						$p = \mathbf{0,007}$

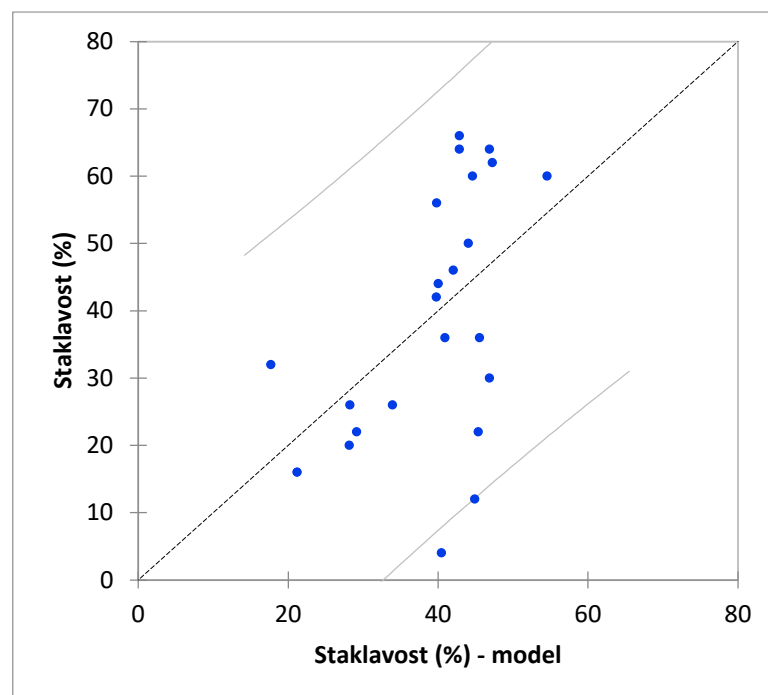
Jednadžba modela:

$$\text{Staklavost (\%)} = -170,555 + 55,278 * F_{\min\_Z}$$

<sup>a</sup> P\_Z-površina zrna, O\_Z-opseg zrna, F<sub>max\_Z</sub>-maksimalni Feretov promjer zrna, F<sub>min\_Z</sub>-minimalni Feretov promjer zrna, ZO\_Z-zaokruženos zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 15** Podudarnost modelom izračunatih staklavosti (%) i eksperimentalnih podataka



**Tablica 11** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki presjeka zrna ječma na predviđanje apsolutne mase ječma

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_PrZ	8,298	0,705	0,920	11,771	< 0,0001	$b_0 = -30,183$
O_PrZ	-	-	-	-	-	$F = 138,551$
F <sub>max</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,847$
F <sub>min</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,841$
ZO_PrZ	-	-	-	-	-	$MSE = 5,808$
PVSB_PrZ	-	-	-	-	-	$DW = 1,436$
						$\rho = < 0,0001$

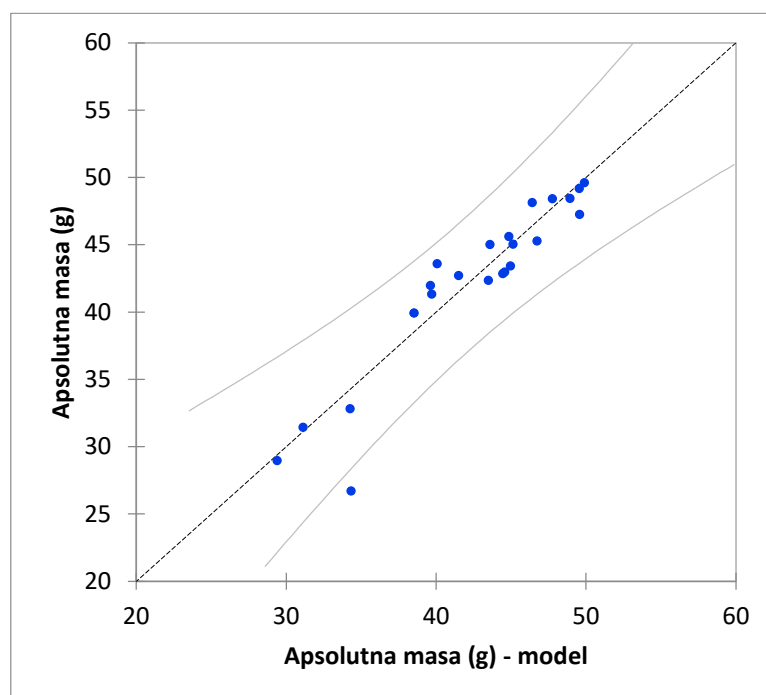
Jednadžba modela:

$$\text{Apsolutna masa (g)} = -30,183 + 8,298 * P\_PrZ$$

<sup>a</sup> P\_PrZ-površina presjeka zrna, O\_PrZ-opseg presjeka zrna, F<sub>max</sub>\_PrZ-maksimalni Feretov promjer presjeka zrna, F<sub>min</sub>\_PrZ-minimalni Feretov promjer presjeka zrna, ZO\_PrZ-zaokruženost presjeka zrna, PVSB\_PrZ-prosjечna vrijednost sive boje presjeka zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 16** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti apsolutne mase (g) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 12** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki presjeka zrna ječma na predviđanje hektolitarske mase ječma

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_PrZ	3,051	0,926	0,499	3,295	<b>0,003</b>	$b_0 = 70,892$
O_PrZ	-	-	-	-	-	$F = 12,547$
F <sub>max</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,511$
F <sub>min</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,470$
ZO_PrZ	-	-	-	-	-	$MSE = 8,883$
PVSB_PrZ	-0,189	0,077	-0,370	-2,443	<b>0,022</b>	$DW = 0,818$
						$p = \mathbf{0,0002}$

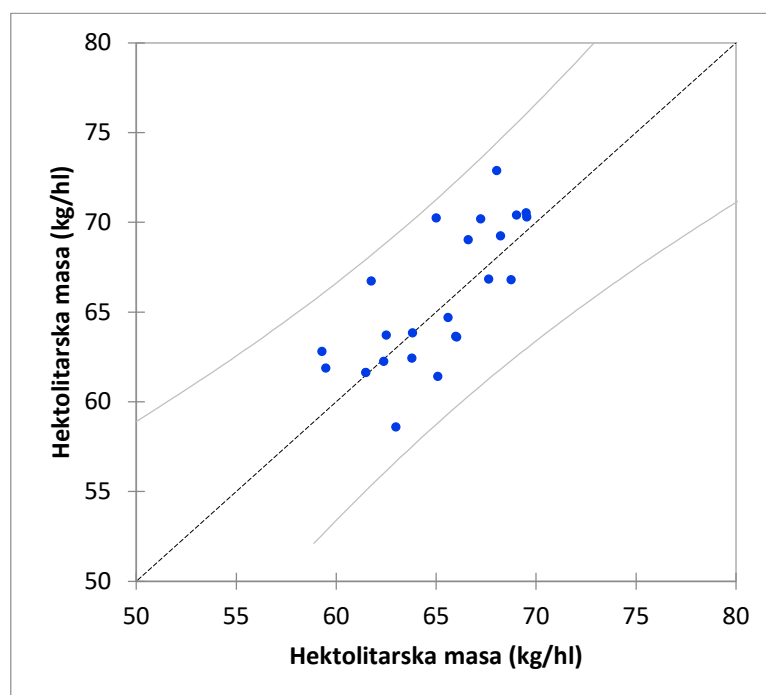
Jednadžba modela:

$$\text{Hektolitarska masa (kg/hl)} = 70,892 + 3,051 * P\_PrZ - 0,189 * PVSB\_PrZ$$

<sup>a</sup> P\_PrZ-površina presjeka zrna, O\_PrZ-opseg presjeka zrna, F<sub>max</sub>\_PrZ-maksimalni Feretov promjer presjeka zrna, F<sub>min</sub>\_PrZ -minimalni Feretov promjer presjeka zrna, ZO\_PrZ-zaokruženost presjeka zrna, PVSB\_PrZ-prosjечna vrijednost sive boje presjeka zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 17** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti hektolitarske mase (kg/hl) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 13** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki presjeka zrna ječma na predviđanje udjela zrna I. klase

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_PrZ	13,048	2,093	0,780	6,233	<b>&lt; 0,0001</b>	$b_0 = -21,474$
O_PrZ	-	-	-	-	-	$F = 38,856$
F <sub>max</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,608$
F <sub>min</sub> _PrZ	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,593$
ZO_PrZ	-	-	-	-	-	$MSE = 51,210$
PVSB_PrZ	-	-	-	-	-	$DW = 1,757$
						$\rho = < \mathbf{0,0001}$

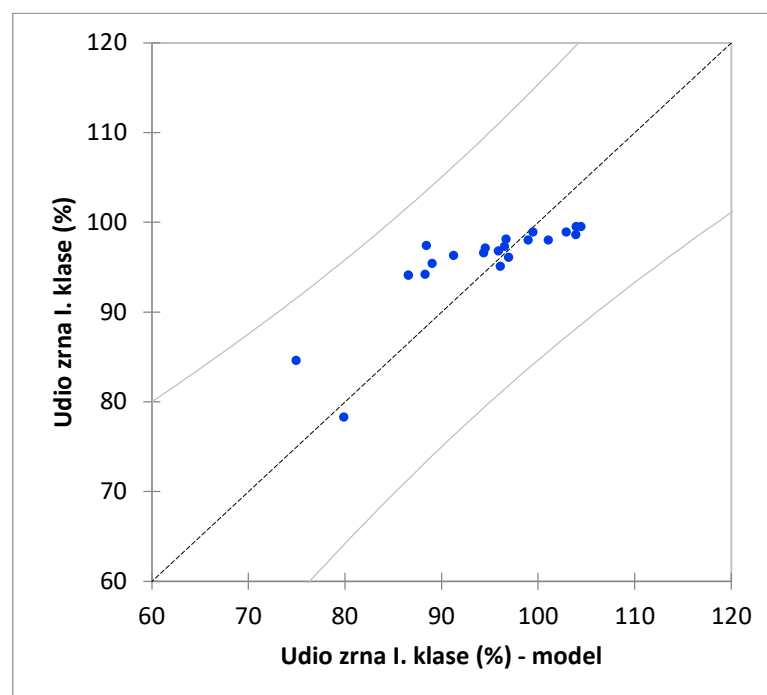
Jednadžba modela:

$$\text{Udio zrna I. klase (\%)} = -21,474 + 13,048 * P\_PrZ$$

<sup>a</sup> P\_PrZ-površina presjeka zrna, O\_PrZ-opseg presjeka zrna, F<sub>max</sub>\_PrZ-maksimalni Feretov promjer presjeka zrna, F<sub>min</sub>\_PrZ -minimalni Feretov promjer presjeka zrna, ZO\_PrZ-zaokruženost presjeka zrna, PVSB\_PrZ-prosjечna vrijednost sive boje presjeka zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent, *b*<sub>0</sub>-odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 18** Podudarnost modelom izračunatih vrijednosti udjela zrna I. klase (%) i eksperimentalnih podataka

**Tablica 14** Regresijska analiza utjecaja geometrijskih značajki presjeka zrna ječma na predviđanje staklavosti

Prediktorske varijable*	<i>b</i>	<i>SEM</i>	$\beta$	<i>t</i>	<i>p</i>	Model**
P_PrZ	-	-	-	-	-	$b_0 = 369,095$
O_PrZ	-	-	-	-	-	$F = 82,439$
$F_{\max\_PrZ}$	-	-	-	-	-	$R^2 = 0,767$
$F_{\min\_PrZ}$	-	-	-	-	-	$\bar{R}^2 = 0,758$
ZO_PrZ	-	-	-	-	-	$MSE = 75,504$
PVSB_PrZ	-1,928	0,212	-0,876	-9,080	<b>&lt; 0,0001</b>	$DW = 1,597$
						$p = < \mathbf{0,0001}$

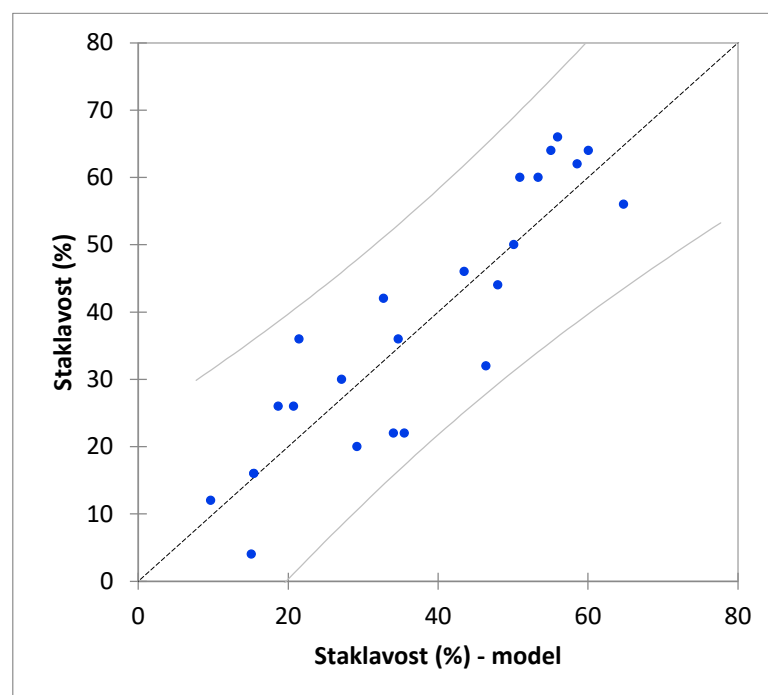
Jednadžba modela:

$$\text{Staklavost (\%)} = 369,095 - 1,928 * \text{PVSB\_PrZ}$$

<sup>a</sup> P\_PrZ-površina presjeka zrna, O\_PrZ-opseg presjeka zrna,  $F_{\max\_PrZ}$ -maksimalni Feretov promjer presjeka zrna,  $F_{\min\_PrZ}$ -minimalni Feretov promjer presjeka zrna, ZO\_PrZ-zaokruženost presjeka zrna, PVSB\_PrZ-prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna

<sup>b</sup> *b*-regresijski koeficijent,  $b_0$ -odsječak,  $\beta$ -standardizirani regresijski koeficijent, *SEM*-standardna pogreška,  $\bar{R}^2$ -korigirani koeficijent determinacije, *MSE*-srednja kvadratna pogreška, *DW*-Durbin-Watsonov test

<sup>c</sup> podebljane vrijednosti su statistički značajne ( $p < 0,05$ )



**Slika 19** Podudarnost modelom izračunatih staklavosti (%) i eksperimentalnih podataka

## **5. RASPRAVA**

Zadatak ovog rada bio je ispitati pojedina fizikalno-kemijska svojstva zrna različitih pivarskih i stočnih sorti ječma pomoću standardnih metoda, kao i odrediti morfološka svojstva zrna primjenom računalne analize slike te utvrditi eventualnu mogućnost njihova korištenja u predviđanju fizikalno-kemijska svojstva zrna ječma. U istraživanju je korišteno 27 uzorka različitih pivarskih i stočnih sorti ječma od čega je 19 uzorka bilo iz vrste dvorednog ječma dok je 8 uzoraka bilo višeredno. Sedam uzoraka je prema vremenu sjetve svrstano u jari, a 20 uzoraka u ozimi ječam.

U **Tablici 1** prikazani su pojedinačni rezultati određivanja fizikalno-kemijskih svojstava različitih sorti ječma standardnim metodama. Udio proteina kretao se u rasponu 9,5 – 14,8% uz prosječnu vrijednost 10,9%. Prosječna apsolutna masa (masa 1000 zrna) iznosila je 42,0 g (minimalno 26,7 g do maksimalno 49,6 g) što je u skladu s istraživanjima drugih istraživača (Aprodu i Banu, 2017; Punia i Sandhu, 2015). Srednja vrijednost za hektolitarsku masu bila je 65 kg/hl što je nešto veća vrijednost od one koju su u svom istraživanju dobili Punia i Sandhu (2015). Prosječan udio zrna I. klase iznosio je 92,1%. Staklavost je bila u vrlo širokom rasponu, od 4 do 66%, s prosječnom vrijednošću od 38,2%.

Na **Slici 5** prikazana je usporedba jarih i ozimih sorti ječma s obzirom na razlike u fizikalno-kemijskim svojstvima. Utvrđena je statistički značajna razlika ( $p < 0,05$ ) samo u pogledu udjela proteina. Jari ječam je prosječno imao veće udjele proteina (12,1%) od ozimih sorti (10,5%), što je u skladu s rezultatima istraživanja Pržulja i sur., 1998. Sorte dvorednog ječma imale su prosječno 11,2% proteina što je bilo statistički značajno više ( $p < 0,05$ ) od višerednih sorti (10,1%) što nije u skladu s očekivanjima da dvoredni ječam, čija je namjena uglavnom za pivarstvo, ima manji sadržaj proteina u šestorednih sorti ječma koje se koriste kao stočna hrana (**Slika 6**).

U **Tablici 2** prikazani su pojedinačni rezultati određivanja vanjskih geometrijskih značajki zrna ječma primjenom računalne analize slike pomoću programa *ImageJ*. Prosječna vrijednost površine zrna (polovica zrna položena na skener) bila je 23,4 mm<sup>2</sup>, a kretala se u rasponu od 19,5 do 26,7 mm<sup>2</sup>. Prosječni opseg iznosio je 26,1 mm (od 23,5 do 28,6 mm). Duljina zrna (maksimalni Feretov promjer) kretala se od 8,0 do 11,0 mm, a širina (minimalni Feretov promjer) od 3,4 do 4,1 mm. Hamdani i sur. (2014) su u svom istraživanju dobili su nešto veće prosječne vrijednosti za širinu zrna (4,33 mm). Zaokruženost zrna ječma iznosila je od minimalnih 0,33 do maksimalnih 0,47 s prosječnom vrijednošću 0,40 što ukazuje na izduženi

oblik zrna. Dobivene vrijednosti zaokruženosti nešto su manje od onih koje su u svom istraživanju dobili Gürsoy i Güzel (2010).

Na **Slici 7** prikazana je usporedba jarih i ozimih sorti ječma s obzirom na razlike u geometrijskim parametrima. Ozimi ječam imao je statistički značajno veću površinu ( $24,1 \text{ mm}^2$ ), opseg ( $26,6 \text{ mm}$ ) i maksimalni Feretov promjer ( $9,6 \text{ mm}$ ) u odnosu na ozime sorte ječma ( $21,7 \text{ mm}^2$ ,  $24,7 \text{ mm}$  i  $8,6 \text{ mm}$ ). Također, višeredni ječam imao je značajno veće vrijednosti za površinu ( $25,0 \text{ mm}^2$ ), opseg ( $27,9 \text{ mm}$ ) i maksimalni Feretov promjer ( $10,4 \text{ mm}$ ) u odnosu na dvoredne sorte ječma ( $22,8 \text{ mm}^2$ ,  $25,3 \text{ mm}$  i  $8,9 \text{ mm}$ ) (**Slika 8**).

Rezultati računalne analize slike presjeka zrna ječma prikazani su u **Tablici 3**. Prosječna vrijednost površine presjeka zrna bila je  $8,7 \text{ mm}^2$ , a kretala se u rasponu od  $7,2$  do  $9,7 \text{ mm}^2$ . Prosječni opseg iznosio je  $13,7 \text{ mm}$  (od  $12,7$  do  $15,7 \text{ mm}$ ). Maksimalni Feretov promjer kretalo se u rasponu od  $3,6$  do  $4,1 \text{ mm}$ , a minimalni Feretov promjer od  $2,7$  do  $3,2 \text{ mm}$ . Zaokruženost zrna ječma iznosila je od minimalnih  $0,33$  do maksimalnih  $0,47$  s prosječnom vrijednošću  $0,40$ . Prosječna vrijednost sive nijanse selektiranog područja presjeka zrna kretala se u rasponu od  $157,8$  do  $186,4$ . Nije bilo statistički značajne razlike između sorti ječma s obzirom na vrstu i vrijeme sjetve (**Slike 9 i 10**).

U **Tablici 4** prikazana je korelacijska matrica Pearsonovih koeficijenata korelacije ( $r$ ) između vanjskih geometrijskih značajki zrna određenih primjenom računalne analize slike i rezultata ispitivanja fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma standardnim metodama. Udio proteina bio je u negativnoj statistički značajnoj korelaciji ( $p < 0,05$ ) s opsegom ( $r = -0,389$ ) i duljinom zrna ( $r = -0,494$ ) te u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa zaokruženosti ( $r = 0,539$ ). Apsolutna masa značajno je korelirala s površinom ( $r=0,570$ ) i širinom zrna ( $r=0,813$ ). Značajnu korelaciju površine zrna ječma i apsolutne mase u svom istraživanju utvrdili su i Sýkorová i sur. (2009). Hektolitarska masa bila je u negativnoj statistički značajnoj korelaciji s opsegom ( $r = -0,531$ ) i duljinom zrna ( $r = -0,643$ ) te u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa širinom ( $r = 0,681$ ) i zaokruženošću zrna ( $r = 0,835$ ), što je logično s obzirom na činjenicu da se okruglija i kompaktnija zrna bolje međusobno „slažu“ prilikom nasipavanja. Udio zrna I. klase značajno je korelirao s površinom ( $r=0,466$ ) i širinom zrna ( $r=0,711$ ), a staklavost zrna sa širinom ( $r = 0,505$ ) i zaokruženošću zrna ( $r = 0,449$ ).

Korelacijska matrica rezultata određivanja geometrijskih značajki presjeka zrna i fizikalno-kemijskih svojstava zrna ječma prikazana je u **Tablici 5**. Udio proteina nije bio u korelaciji s niti

jednim geometrijskim parametrom presjeka zrna. Apsolutna masa značajno je korelirala s površinom ( $r=0,920$ ), duljinom ( $r=0,849$ ) i širinom zrna ( $r=0,887$ ) što su mnogo jače korelacije nego kad se apsolutna masa uspoređuje s vanjskim geometrijskim značajkama zrna. Hektolitarska masa bila je u statistički značajnoj korelaciji s površinom ( $r=0,624$ ), maksimalnim ( $r = 0,576$ ) i minimalnim Feretovim promjerom zrna ( $r = 0,497$ ), kao i u negativnoj korelaciji s prosječnom vrijednošću sive boje ( $r = -0,539$ ). Slično kao i hektolitarska masa, udio zrna I. klase značajno je korelirao s površinom ( $r=0,780$ ), maksimalnim ( $r = 0,732$ ) i minimalnim Feretovim promjerom zrna ( $r = 0,748$ ). Staklavost je bila u statistički značajnoj korelaciji s površinom ( $r=0,436$ ), maksimalnim Feretovim promjerom zrna ( $r = 0,400$ ), kao i u negativnoj korelaciji s prosječnom vrijednošću sive boje ( $r = -0,876$ ). Veće vrijednosti prosječne vrijednosti sive boje ukazuju na brašnast izgled presjeka zrna, odnosno na bijelu boju presjeka. Budući da brašnasta zrna imaju mekšu strukturu od tvrdih zrna za pretpostaviti je da se povećanjem udjela staklastih zrna povećava i hektolitarska masa što je vjerojatan uzrok korelacije između staklavosti i površine te maksimalnog Feretovog promjera presjeka zrna.

U **Tablicama 6-14** i na **Slikama 11-19** prikazani su rezultati višestruka postupna regresijska analize izrade modela predviđanja pojedinih fizikalno-kemijskih svojstava zrna upotrebom geometrijskih značajki cijelog zrna i presjeka zrna dobivenih računalnom analizom slike. Nezavisne varijable u regresijskoj analizi bile su površina, opseg, Feretov promjer (maksimalni i minimalni) i zaokruženost zrna i presjeka zrna ječma te prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna. Zavisne varijable bila su pojedina fizikalno-kemijska svojstva ječma (udio proteina, apsolutna i hektolitarska masa, udio zrna I. klase i staklavost zrna).

Zaokruženost cijelog zrna bila je značajan prediktor udjela proteina ( $F = 10,226$ ,  $p = 0,004$ ), a dobiveni model objašnjava 26,2% varijance ( $\bar{R}^2 = 0,262$ ). Vrijednost Durbin-Watsonovog testa ( $DW$ ) iznosila je 1,763 što ukazuje na izostanak autokorelacije odstupanja regresijske analize i potvrđuje uspješnost modela (**Tablica 6**). Ovu ovisnost udjela proteina o sferičnosti zrna ječma utvrdili su i García del Moral i sur. (1998) u svom istraživanju koje se bavilo predviđanjem kvalitete slađenja ječma pomoću parametara geometrijskih značajki zrna i kemijskog sastava zrna ječma. Kao značajniji prediktori apsolutne mase ječma pokazali su se duljina ( $\beta = 0,417$ ,  $p = 0,005$ ) i širina zrna ( $\beta = 0,229$ ,  $p = 0,046$ ) te zaokruženost ( $\beta = 0,520$ ,  $p = 0,044$ ), a modelom se može objasniti 83,2% ukupne varijance ( $F = 44,028$ ,  $\bar{R}^2 = 0,832$ ,  $p < 0,0001$ ,  $DW = 1,878$ ) (**Tablica 7**). Površina ( $\beta = -0,657$ ,  $p = 0,018$ ), duljina ( $\beta = 1,835$ ,  $p = 0,002$ ) i



zaokruženost ( $\beta = 2,139$ ,  $p < 0,0001$ ) zrna bili su značajni prediktori hektolitarske mase ječma ( $F = 65,68$ ,  $\bar{R}^2 = 0,798$ ,  $p < 0,0001$ ,  $DW = 1,875$ ) (**Tablica 8**). Hektolitarsku masu snižavaju velika duguljasta zrna, a povećavaju ju kompaktna ovalna zrna. Kao značajniji prediktori udjela I. klase ječma pokazali su se duljina ( $\beta = 1,843$ ,  $p = 0,004$ ) i zaokruženost ( $\beta = 1,860$ ,  $p = 0,016$ ) zrna, a modelom se može objasniti 68,4% ukupne varijance ( $F = 19,777$ ,  $\bar{R}^2 = 0,684$ ,  $p < 0,0001$ ,  $DW = 2,131$ ) (**Tablica 9**). Jedini značajni prediktor staklavosti bila je širina zrna ( $F = 8,538$ ,  $\bar{R}^2 = 0,225$ ,  $p = 0,007$ ). Vrijednost Durbin-Watsonovog testa  $DW = 1,380$  bila je ispod granične vrijednosti od 1,5 što ukazuje na određeni stupanj autokorelacije odstupanja ovog modela (**Tablica 10**).

Niti jedan parametar geometrijskih značajki presjeka zrna nije bio značajan prediktor udjela proteina ječma. Značajan prediktor apsolutne mase ječma bila je samo površina presjeka zrna, a dobivenim modelom može se objasniti 84,1% ukupne varijance ( $F = 135,551$ ,  $\bar{R}^2 = 0,841$ ,  $p < 0,0001$ ). Vrijednost Durbin-Watsonovog testa i u ovom slučaju je bila ispod granične vrijednosti od 1,5 ( $DW = 1,436$ ) (**Tablica 11**). Površina presjeka zrna ( $\beta = 0,499$ ,  $p = 0,003$ ) i prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna ( $\beta = -0,370$ ,  $p = 0,022$ ) bili su značajni prediktori hektolitarske mase ječma ( $F = 12,547$ ,  $\bar{R}^2 = 0,470$ ,  $p = 0,0002$ ). Ovi rezultati ukazuju na činjenicu da hektolitarsku masu povećavaju kompaktna, ovalna i staklasta zrna. Vrijednost Durbin-Watsonovog testa bila je samo  $DW = 0,818$  što ukazuje na nekonzistentnost modela te ocjena ovog modela nije zadovoljavajuća ) (**Tablica 12**). Kao i kod prediktivnog modela za apsolutnu masu, jedini značajan prediktor udjela I. klase zrna ječma bila je samo površina presjeka zrna ( $F = 38,856$ ,  $\bar{R}^2 = 0,593$ ,  $p < 0,0001$ ,  $DW = 1,757$ ) (**Tablica 13**). Prosječna vrijednost sive boje presjeka zrna bila je značajan prediktor staklavosti ( $F = 82,439$ ,  $p < 0,0001$ ), a dobiveni model objašnjava 75,8% varijance ( $\bar{R}^2 = 0,758$ ). Vrijednost Durbin-Watsonovog testa ( $DW$ ) iznosila je 1,597 što ukazuje na izostanak autokorelacije odstupanja regresijske analize i potvrđuje uspješnost modela (**Tablica 14**).

## **6. ZAKLJUČCI**

Na temelju provedenih ispitivanja 27 uzorka sorti zrna jarog i ozimog ječma i provedene korelacijske i regresijske analize može se zaključiti da se primjenom računalne analize slike u određivanju geometrijskih značajki zrna i njegovog presjeka, vrlo dobro mogu predvidjeti pojedina fizikalno-kemijska svojstva ječma.

Zaokruženost (sferičnost) cjelovitog zrna je značajan prediktor udjela proteina, a površina presjeka zrna prediktor apsolutne mase ječma. Za predviđanje hektolitarske mase ječma uspješno se mogu koristiti površina, duljina i zaokruženost cijelog zrna, a prediktori udjela I. klase ječma duljina i zaokruženost cijelog zrna te površina presjeka zrna. Staklavost se uspješno može predvidjeti računalnom analizom slike presjeka zrna i određivanjem prosječne sive boje.

## **7. LITERATURA**

- Andersson i sur.: Breast-feeding and cognitive development: a meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition* 51(3):594–600, 1999.
- Aprodu, I, Banu, I: Milling, functional and thermo-mechanical properties of wheat, rye, triticale, barley and oat. *Journal of Cereal Science* 7: 42–48, 2017.
- Arendt EK., Zannini, E: *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. UK: Woodhead Publishing, 2013.
- Baryeh E: Physical properties of Bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering* 47(4):321–326, 2001.
- Bhatty RS, Rosnagel BG: Zero amylose lines of hull-less barley. *Cereal Chemistry* 74:693–699, 1997.
- Brooker, DB, Bakker-Arkema, FW, Hall, CW: *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Springer, New York, 1992.
- Chatterjee SR, Abrol YP: Protein quality evaluation of popped barley grains. *Journal of Food Science and Technology* 4:247–250, 1977.
- Choct M: Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International* 55(12) 1360–1366, 1997.
- Choi SW, Lee SK, Kim EO, Oh JH, Yoon KS, Parris N, Hicks KB, Moreau RA: Antioxidant and antimelanogenic activities of polyamine conjugates from corn bran and related hydroxycinnamic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(10):3920–3925, 2007.
- Collins T: ImageJ for microscopy. *BioTechniques* 43:15, 2018.
- Davies RM: Some physical properties of groundnut grains. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 1(2):10–13, 2009.
- Delcour J, Hosney R: *Principles of Cereal Science and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 2010.
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT: Dietary fiber in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology* 49(3):255–266, 2018.
- Finnie C, Svensson B: Barley seed proteomics from spots to structures. *Journal of Proteomics* 72:315–324, 2009.
- Fleury, MD, Edney MJ, Campbell L.D, Crow G.H: Total, water-soluble and acid-soluble arabinoxylans in western Canadian barleys. *Canadian Journal of Plant Science* 77(2):191–196, 1997.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): *Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets*. FAO, 2018.

- Gagro M: *Ratarstvo obiteljskoga gospodarstva. Žitarice i zrnate mahunarke*. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb, 1997.
- Garcia del Moral L, Sopena A, Montoya J, Polo P, Voltas J, Codesal P, Ramos, J, Molina-Cano J: Image Analysis of Grain and Chemical Composition of the Barley Plant as Predictors of Malting Quality in Mediterranean Environments. *Cereal Chemistry* 75:755-761, 1998.
- Gürsoy, S, Güzel, E: Determination of physical properties of some agricultural grains. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 2(5):492-498, 2010.
- Hamdani, A, Rather, SA, Shah, A, Gani, A, Wani, SM., Masoodi, FA., Gani, A.: Physical properties of barley and oats cultivars grown in high altitude Himalayan regions of India. *Journal of Food Measurement and Characterization* 8(4):296-304, 2014.
- Henry R.J: Pentosan and (1 → 3),(1 → 4)- $\beta$ -glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye. *Journal of Cereal Science* 6(3):253-258, 1987.
- Hibik A: Primjena mikroskopije i računalne analize slike u ispitivanju kvalitete tiska. *Završni rad*. Filozofski fakultet, Osijek, 2019.
- Holtekjølen AK, Uhlen A, Brathen ES, Sahlstrøm S, Knutsen S: Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of diferent origin. *Food Chemistry* 94(3):348-358, 2006.
- Hough J.S: *The Biotechnology of Malting and Brewing*. Cambridge Studies in Biotechnology: Cambridge University Press, 1985.
- Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2021.
- Jonassen IB, Ingversen J, Brandt A: Synthesis of SP II albumin,  $\beta$ -amylase and chymotrypsin inhibitor CI-1 on polysomes from the endoplasmic reticulum of barley endosperm. *Carlsberg Research Communications* 46:175-181, 1981.
- Kachru R., Gupta R., Alam, A: *Physico-Chemical Constituents and Engineering Properties of Food Crops*. 1st ed. Jodhpur, India: Scientifc Publishers 1994.
- Kaluđerski G, Filipović N: *Metode ispitivanja kvalitete žita, brašna i gotovih proizvoda*. Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad, 1998.
- Kerckhoffs DA, Brouns F, Hornstra G, Mensink RP: Efects on the human serum lipoprotein profle of  $\beta$ -glucan, soy protein and isofavones, plant sterols and stanols, garlic and tocotrienols. *The Journal of Nutrition* 132(9):2494-2505, 2002.
- Kirkman MA, Shewry PR, Mifflin BJ: The efect of nitrogen nutrition on the lysine content and protein composition of barley seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33(2):115-127, 1982.
- Koceva Komlenić D, Jukić, M: Osnove tehnologije žitarica. *Interna skripta*, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek,

- 2019.[http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski\\_studij/Osnove\\_tehnologije\\_zitarica/3\\_OT%C5%BD\\_ostale\\_zitarice\\_19\\_20.pdf](http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski_studij/Osnove_tehnologije_zitarica/3_OT%C5%BD_ostale_zitarice_19_20.pdf) [12.6.2021.]
- Koceva Komlenić D, Jukić, M: Tehnologija prerade sirovina biljnog podrijetla I. *Interna skripta*, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2019. [http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski\\_studij/Tehnologija\\_prerade\\_sirovina\\_biljnog\\_podrijetla\\_I/zitarice/1\\_TPSBP\\_uvod\\_17\\_18.pdf](http://studenti.ptfos.hr/Preddiplomski_studij/Tehnologija_prerade_sirovina_biljnog_podrijetla_I/zitarice/1_TPSBP_uvod_17_18.pdf) [15.6.2021.]
- Kunze W: *Technology Brewing and Malting*. Berlin: VLB, 39–112, 2010.
- Minakshi P, Sneha P, Sushant S, Shardul J: Grain Detection Using Image Processing. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9(3):55-57, 2018.
- Mohsenin NN: *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1980.
- Morrison WR: *Cereal starch granule development and composition*. Proceedings-Phytochemical Society of Europe. New York: Oxford University Press Inc., 35:175–175, 1993.
- Morrison WR: Wheat lipid composition. *Cereal Chemistry* 55:548–558, 1978.
- Narodne novine: Pravilnik o mjeriteljskim i tehničkim zahtjevima za hektolitarske vage kojima se mjeri hektolitarska masa poljoprivrednih vrsta. NN 18/2017.
- Newman CW, El-Negoumy AM, Eslick RF: Replacing soy protein in swine diets with high-protein barley and amino acids. *Journal of Animal Science* 46:161–166, 1978.
- Newman CW, McGuire CF: Nutritional quality of barley. *American Society of Agronomy* 403–456, 1985.
- Newman CW, Newman RK: A brief history of barley foods. *Cereal Foods World* 51(1):4–7, 2006.
- Newman RK, Newman CW: *Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products*. John Wiley & Sons, 2008.
- Nielsen MM, Hansen A: Rapid high-performance liquid chromatography determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *Cereal Chemistry* 85:248–251, 2008.
- Osborne T.B: *The Vegetable Proteins*. Longmans Green and Co., New York, 1924.
- Peterson DM: Barley tocols – Effects of milling, malting, and mashing. *Cereal Chemistry* 71:42–44, 1994.
- Price PB, Parsons, JG: Lipids of seven cereal grains. *Journal of the American Oil Chemists Society* 52:490–493, 1975.
- Pržulj, N, Dragović, S, Malešević, M, Momcilovic, V, Mladenov, N: Comparative performance of winter and spring malting barleys in semiarid growing conditions. *Euphytica* 101:377-382, 1998.

- Punia S, Sandhu, KS: Functional and antioxidant properties of different milling fractions of Indian barley cultivars. *Carpathian Journal of Food Science and Technology* 7(4):19–27, 2015.
- Punia S: *Barley: Properties, functionality and applications*. CRC Press, 2020.
- Raboy V: *Biochemistry and genetics of phytic acid synthesis*. Wiley-Liss, New York, 1990.
- Shahin M, Symons S: Seed sizing from images of non-singulated grain samples. *Canadian biosystems engineering* 47:349-355, 2005.
- Stanca AM & Gianinetti A, Rizza, F, Terzi, V: *Barley: An overview of a versatile cereal grain with many food and feed uses*. Encyclopedia of Food Grains. 2nd ed. Elsevier, Oxford, 2016.
- Sun DF, Gong X: *Barley germplasm and utilization. Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*. Springer, Berlin/Heidelberg, 2009.
- Sýkorová A, Šárka E, Bubník Z, Schejbal M, Dostálek, P: Size Distribution of Barley Kernels. *Czech Journal of Food Sciences* 27:249-258, 2018.
- Ullrich SE: *Genetics and breeding of barley feed quality*. Haworth Press, Binghamton, NY, 2002.
- Velikanović V: Klasifikacija zrna ozime pšenice određivanjem geometrijskih značajki zrna računalnom analizom slike. *Diplomski rad*. Prehrambeno tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2018.
- Ward JL, Poutanen K, Gebruers K, Piironen V, Lampi AM, Nyström L, Andersson AA, Aman P, Boros D, Rakszegi M, Bedo Z, Shewry PR: The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: Concept, results, and prospects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56:9699–9709, 2008.
- Welch RW: Genotypic variation in oil and protein in barley grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 29:953–958, 1978.
- Yalcin E, Çelik S, Ibanoglu E: Foaming properties of barley protein isolates and hydrolysates. *European Food Research and Technology* 226:967–974, 2008.
- Zhou M: *Barley production and consumption*. Zhejiang University Press, Springer, Hangzhou, Berlin/Heidelberg, 2010.
- Zimmer R, Košutić S, Zimmer D: *Poljoprivredna tehnika u ratarstvu*. Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 2009.
- Zohary D, Hopf M: *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe and the Nile Valley*. 3rd ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000.
- Živković M: Agrotehnika uzgoja ječma. *Završni rad*. Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 2015.