

# Utjecaj dodatka proteina bjelanjka jajeta na kvalitetu kruha bez glutena

---

Vrebac, Anđela

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:042937>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



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

**Anđela Vrebac**

**UTJECAJ DODATKA PROTEINA BJELANJKA JAJETA NA KVALITETU  
KRUHA BEZ GLUTENA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2023.

## 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 18, 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 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.

**Mentor:** *prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić*

**Komentor:** *izv. prof. dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić*

**Pomoć pri izradi:** *dr. sc. Gordana Šelo i Ana Šušak, dipl. ing., viša stručna suradnica*

### UTJECAJ DODATKA PROTEINA BJELANJKA JAJETA NA KVALITETU KRUHA BEZ GLUTENA

*Anđela Vrebac, 0113147589*

**Sažetak:** U ovom diplomskom istraživanju analiziran je utjecaj različitih udjela proteina bjelanjka jajeta na svojstva bezglutenskog kruha od rižinog brašna i kukuruznog škroba. Ispitivane su tri koncentracije bjelanjka jajeta (5%, 10% i 15%) u odnosu na ukupnu masu brašna i škroba. Za potrebe istraživanja, provedena su probna pečenja u laboratorijskim uvjetima, a kvalitativna svojstva kruha bez glutena ispitana su kroz analizu udjela vode, omjera visine i širine, specifičnog volumena, teksturalnog profila, i poroznosti uzoraka analizirani računalnom analizom slike. Rezultati istraživanja ukazuju na pozitivan utjecaj dodatka bjelanjka jajeta na svojstva bezglutenskog kruha, uključujući povećanje specifičnog volumena, promjene u omjeru visine i širine, promjene u boji, teksturi i senzorskoj prihvatljivosti. Dodatak bjelanjka jajeta poboljšava kvalitetu kruha bez glutena te doprinosi njegovoj senzorskoj prihvatljivosti. Ovi rezultati imaju potencijalnu primjenu u razvoju bezglutenskih proizvoda visoke kvalitete s poboljšanim nutritivnim svojstvima.

**Ključne riječi:** Kruh bez glutena, rižino brašno, kukuruzni škrob, protein bjelanjka jajeta

**Rad sadrži:** 48 stranica  
28 slika  
1 tablica  
0 priloga  
42 literaturne reference

**Jezik izvornika:** Hrvatski

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

- |   |               |
|---|---------------|
| 1. prof. dr. sc. Mirela Planinić            | predsjednik   |
| 2. prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić  | član-mentor   |
| 3. izv. prof. dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić | član-komentor |
| 4. prof. dr. sc. Ana Bucić-Kojić            | zamjena člana |

**Datum obrane:** 29. rujna 2023.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 18, 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 18, 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 22, 2023

**Mentor:** Daliborka Koceva Komlenić, PhD, full prof.

**Co-supervisor:** Jasmina Lukinac Čačić, PhD, associate prof.

**Technical assistance:** Gordana Šelo, PhD and Ana Sušak, B.Sc, higher research associate

### THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF ALBUMEN PROTEINS ON THE QUALITY OF GLUTEN-FREE BREAD

*Anđela Vrebač, 0113147589*

**Summary:** This master's research examined the influence of different proportions of egg white protein on the properties of gluten-free bread made from rice flour and cornstarch. Three concentrations of egg white protein (5%, 10%, and 15%) were investigated relative to the total mass of flour and starch. For the purposes of the study, trial baking was conducted under laboratory conditions, and the qualitative characteristics of gluten-free bread were assessed through the analysis of water content, height-to-width ratio, specific volume, textural profile, and porosity using computer image analysis. The research results indicate a positive impact of egg white protein addition on the properties of gluten-free bread, including increased specific volume, changes in height-to-width ratio, alterations in colour, texture, and sensory acceptability. The addition of egg white protein enhances the quality of gluten-free bread and contributes to its sensory acceptability. These findings have potential applications in the development of high-quality gluten-free products with improved nutritional properties.

**Key words:** gluten-free bread, rice flour, corn starch, albumen protein

**Thesis contains:** 48 pages  
28 figures  
1 table  
0 supplements  
42 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. Mirela Planinić, PhD, full prof.            | chair person         |
| 2. Daliborka Koceva Komlenić PhD, full prof.   | member-supervisor    |
| 3. Jasmina Lukinac Čačić, PhD, associate prof. | member-co-supervisor |
| 4. Ana Bucić-Kojić, PhD, full prof.            | stand-in             |

**Defense date:** Spetember 29, 2023

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

## Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Glavne sirovine .....	4
2.1.2. Dodatne i pomoćne sirovine.....	9
2.1.3. Protein bjelanjka jajeta.....	12
<b>2.2. CELIJAKIJA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. PROCJENA IZGLEDA SREDINE KRUHA RAČUNALNOM ANALIZOM SLIKE .....</b>	<b>15</b>
2.3.1. Uvod u računalni vid i analizu slike.....	15
2.3.2. Postupak digitalne obrade i analize slike.....	16
2.3.3. Segmentacija slike .....	16
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1. ZADATAK.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. MATERIJAL .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3. METODE .....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena .....	19
3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava bezglutenskog kruha.....	21
3.3.3. Računalna analiza slike poroznosti bezglutenskog kruha.....	21
3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava bezglutenskog kruha .....	22
<b>4. REZULTATI.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA BEZGLUTENSKOG KRUHA.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2. REZULTATI POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3. REZULTATI SENZORKE Ocjene KRUHA BEZ GLUTENA .....</b>	<b>33</b>
<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>37</b>
<b>6. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>41</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>43</b>

## Popis oznaka, kratica i simbola

HPMC	Hidroksipropil metilceluloza
GI	Glikemijski indeks
RAS	Računalna analiza slike (eng. Digital Image Analysis, DIA)

## **1. UVOD**

Kruh, kao ključni dio prehrane u mnogim kulturama, proizvodi se od različitih vrsta žitarica kao što su pšenica, ječam, raž, zob te drugi. Ključni sastojak u ovom tradicionalnom brašnu je gluten, a njegova uloga u proizvodnji kruha je iznimno važna. Gluten igra ključnu ulogu u oblikovanju karakteristične teksture, konzistencije i elastičnosti tijesta (Ronnie i sur., 2021). Unatoč korisnom utjecaju glutena u procesu pečenja, važno je naglasiti i potencijalno negativne učinke glutena na pojedince s poremećajima povezanim s konzumacijom glutena, uključujući celijakiju, necelijakičnu osjetljivost na gluten i alergije na pšenicu (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019).

Celijakija, kao autoimuna bolest, karakterizira osjetljivost na gluten, protein prisutan u žitaricama poput pšenice, ječma, raži i zobi. To je jedna od najčešćih kroničnih bolesti koja zahvaća djecu i odrasle, pogađajući otprilike 1% europske populacije. Konzumacija glutena kod osoba s celijakijom može rezultirati oštećenjem sluznice tankog crijeva, što dovodi do probavnih problema, problema s apsorpcijom hranjivih tvari i općih zdravstvenih tegoba. Bezglutenska prehrana postaje obavezna za osobe s celijakijom kako bi se izbjegli simptomi i komplikacije bolesti (Dolinšek i sur., 2021).

Bezglutenski kruh, iako nužan za osobe s celijakijom, često pokazuje smanjenu tehnološku, senzorsku i nutritivnu kvalitetu u usporedbi s kruhom koji sadrži gluten. Stoga je potrebno unaprijediti proces proizvodnje kako bi se nadomjestila funkcionalnost glutena i postigla željena tekstura i konzistencija bezglutenskog kruha (Ziobro i sur., 2016). Poboljšanje kvalitete i nutritivnih svojstava može se postići dodatkom različitih aditiva i upotrebom gotovih smjesa, međutim, u ovom istraživanju poseban fokus stavljen je na protein bjelanjka jajeta.

Protein bjelanjka jajeta ima sposobnost stvaranja elastične mreže unutar tijesta, simulirajući ulogu glutena u klasičnim pekarskim proizvodima. Dodatak ovog proteina pozitivno utječe na rast tijesta tijekom pečenja, povećava volumen kruha i pruža mekanu i sočnu sredinu (Phongthai i sur., 2016).

Cilj ovog istraživanja je dublje razumjeti kako udio proteina bjelanjka jajeta utječe na kvalitetu i strukturu bezglutenskog kruha. Njegovi rezultati doprinijet će razvoju boljih i nutritivno vrijednih bezglutenskih proizvoda koji će zadovoljiti potrebe osoba s celijakijom i druge potrošače koji traže alternativu tradicionalnom kruhu.



## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA

Proizvodnja kruha i drugih pekarskih proizvoda zahtijeva pažljivu pripremu sirovina i primjenu specifičnih tehnoloških postupaka. Ovi postupci uključuju kombinaciju različitih sastojaka, poput vode, pekarskog kvasca ili drugih sredstava za fermentaciju, soli i širok spektar dodatnih sastojaka koji značajno utječu na poboljšanje kvalitete, senzorskih svojstava i nutritivne vrijednosti kruha.

Temeljne sirovine za proizvodnju kruha su brašno i voda. Uz ove osnovne sastojke, dodaju se kvasac i sol, a često se koriste i različiti aditivi i pomoćne tvari kako bi se postigla željena tekstura i kvaliteta kruha.

Proizvodnja bezglutenskog kruha zahtijeva poseban pristup u odabiru sirovina. Glavne sirovine za bezglutenski kruh uključuju razne vrste brašna koja ne sadrže gluten i škrobne komponente. Ovaj poseban sastav sirovina omogućuje proizvodnju kruha koji je prikladan za osobe koje moraju izbjegavati gluten u prehrani.

### 2.1.1. Glavne sirovine

Gluten, protein s dvije osnovne frakcije - gliadin i glutenin, igra ključnu ulogu u formiranju viskoznosti i rastezljivosti tijesta, te čvrstoće i elastičnosti kruha. Upotreba glutenskog brašna donosi poželjna tehnološka, senzorska i nutritivna svojstva kruha (Hüttner i Arendt 2010). Međutim, izazov u proizvodnji bezglutenskih proizvoda leži u zamjeni tih tehnoloških karakteristika glutena drugim sastojcima.

Za izradu bezglutenskih pekarskih proizvoda koriste se brašna dobivena iz bezglutenskih žitarica, poput riže, kukuruza i prosa. Danas se koriste dvije glavne vrste riže: *Oryza sativa* iz Azije i *Oryza glaberrima* iz Afrike, kao i razne vrste prosa i podvrste *Zea mays*. Pseudožitarice, poput heljde, amaranta i kvinoje, također se koriste u proizvodnji bezglutenskih proizvoda. Ove pseudožitarice obogate su nutritivnim sastojcima i doprinose poboljšanju teksture i okusa (Houben i sur., 2012).

Danas se za proizvodnju bezglutenskih pekarskih proizvoda najčešće upotrebljava rižino brašno. Riža (*Oryza sativa*) je jedna od najzastupljenijih žitarica u ljudskoj prehrani te prehranjuje dvije trećine svjetske populacije. Uzgajaju se dvije vrste riže: *Oryza sativa* i *Oryza glaberrima*, a postoje oko 22 divlje vrste. Raznolikost doprinosa riže prehrani diljem svijeta

odražava se kroz različite načine njezine obrade. Iako se uglavnom preferira riža bijelog zrna, posljednjih desetljeća na tržištu se sve više pojavljuju proizvodi koji uključuju rižu kao sastojak (Arendt i Dal Bello 2008). Rižino brašno, koje se najčešće koristi u proizvodnji bezglutenskih proizvoda, sadrži lako probavljive ugljikohidrate i ima neutralan okus, ali niska funkcionalna svojstva proteina i nizak udio prolamina čine ga nepogodnim za formiranje viskoelastičnog tijesta potrebnog za zadržavanje ugljičnog dioksida tijekom fermentacije tijesta. To rezultira manjim specifičnim volumenom kruha (Conte i sur., 2019). Riža se može uzgajati u raznim uvjetima, ali najbolje uspijeva u toploj i vlažnoj klimi. Zrna riže mogu biti različite veličine i svojstava, stoga se dijele na duga, kratka, srednja, ljepljiva, neljepljiva. Također zrna riže mogu biti različite boje poput crne, crvene i smeđe, te mirisa. Riža je bogata složenim ugljikohidratima, ne sadrži kolesterol te je značajan izvor bjelančevina, minerala i vitamina. Zrna riže predstavljaju velik izvor vitamina B, a najzastupljeniji minerali su željezo, fosfor, kalij i magnezij. Tijekom procesa mljevenja zrna dolazi do promijene kemijskog sastava. Uklanjanjem vanjskih slojeva mekinja dolazi do gubitka velikog postotka proteina, masti, vlakana, minerala i vitamina (Arendt i Dal Bello 2008). Zrna riže bogata su esencijalnim aminokiselinama poput leucina, arganina, glutaminske i asparaginske kiseline, alanina, fenilalanina, valina te serina, a siromašna esencijalnom aminokiselinom lizin. Udio proteina u riži smanjuje se od površine prema središtu zrna. U aleuronskom sloju i klici nalaze se lipidi. Lipidi pridonose prehranbenim, senzorskim i funkcionalnim svojstvima tvoreći komplekse s lancima amiloze. Lipidi riže klasificiraju se kao škrobni ili neškrobni lipidi (Arendt i Dal Bello 2008).

Iduće najčešće korišteno brašno za proizvodnju bezglutenskih proizvoda je kukuruzno brašno. Kukuruz (*Zea mays*) je treća najvažnija žitarica na svijetu koja se koristi u prehrani ljudi i stoke te osigurava gotovo pola ukupnih kalorija i ukupnu potrebu za proteinima u zemljama u razvoju (Žilić i sur., 2010). Za proizvodnju bezglutenskog kruha upotrebljavaju se vrste bijelog kukuruza, dok su žute sorte kukuruza prikladnije za proizvodnju tjestenine radi specifične žute boje i arome (Conte i sur., 2019). Mljevenjem cjelovitih žitarica kukuruza nastaje sirovo kukuruzno brašno koje karakterizira brzo propadanje zbog djelovanja enzimske aktivnosti radi prisutnih lipidnih komponenata u brašnu. Moguće je deaktivirati enzime kukuruznog brašna od cjelovitog zrna uporabom izravne topline s ciljem produljenja roka trajanja proizvoda. Tretiranje zrna visokom temperaturom ima različite pozitivne učinke, uključujući poboljšanje

funkcionalnih svojstava, tolerancije obrade, te poboljšanje svojstva tijesta i okusa (Žilić i sur., 2010). Proteini iz zrna kukuruza mogu se podijeliti ovisno o topljivosti u različitim otapalima, a dijele se na albumine topljivi u vodi, globuline topljive u soli, zeine topljive u alkoholu te gluteline topljive u alkalijama. Skladišni proteini zrna kukuruza su zein i glutelin. U zrnu kukuruza nalazi se veliki broj antioksidativnih spojeva, neki od njih su karotenoidi, tokoferoli i fenoli koji imaju značajnu ulogu u ljudskoj i životinjskoj prehrani. Karotenoidi su spojevi topljivi u mastima. U kukuruzu se u najvećoj mjeri nalaze sljedeća četiri karotenoidna spoja:  $\beta$ -karoten, zeaksantin,  $\beta$ -kriptoksantin, te lutein. Cjelovite žitarice kukuruza su bogat izvor vitamina E, posebno tokotrienola. Vitamin E je općeniti izraz koji se koristi kao zajednički naziv za skupinu od osam antioksidansa topljivih u mastima s dvije različite strukture: tokoferola ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - i  $\delta$ -tokoferol) i tokotrienola ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - i  $\delta$ -tokotrienol). Najčešći oblik vitamina E u zrnu kukuruza je gama tokoferol. Vitamin E djeluje kao antioksidans unutar stanica, štiteći višestruko nezasićene masne kiseline u staničnim membranama od oksidativnih oštećenja zahvaljujući svojoj sposobnosti neutralizacije slobodnih radikala. Najčešći fenolni spojevi prisutni u cjelovitim žitaricama uključuju fenolne kiseline i flavonoide. Flavonoidi su odgovorni za boju omotača zrna kukuruza. Vjeruje se da ovi spojevi djeluju kao neutralizatori slobodnih radikala, vezujući metalne katalizatore ili sprečavajući nastanak singletnog kisika. Unos slobodnih radikala i produkata oksidacije predstavlja rizik za mogućnost razvoj raka i kardiovaskularnih bolesti. Dijetetski fenoli, zbog svojih antioksidativnih svojstava, mogu imati zdravstvene benefite (Žilić i sur., 2010). Kukuruzno brašno je efikasno sredstvo u izradi proizvoda bez glutena, no za postizanje odgovarajuće teksture i obradivosti, obično se dodaju gume poput ksantana kako bi se stvorila potrebna mrežasta struktura tijekom pripreme tijesta (Šarić 2016).

Tijekom proizvodnje bezglutenskih proizvoda kao izvor proteina dodaju se pseudožitarice, poput amaranta, brašna od žutog graška, slanutka i leće, brašna od psiljuma, brašna od kvinoje, brašna od oljuštene heljde i lisnatog heljdinog brašna koja su često korištena u pekarskoj industriji za proizvodnju proizvoda bez glutena zbog sposobnosti povećanja volumena tijesta, elastičnosti te rok trajanja. Osim toga pseudožitarice povećavaju udio esencijalnih aminokiselina, masnih kiselina, vlakana te udio minerala i pepela, također pospješuju svojstva pečenja bezglutenskih pekarskih proizvoda. Nažalost, mnogi pekarski proizvodi bez glutena često su siromašniji sadržajem vitamina B, željeza i vlakana od pekarskih

proizvoda koji sadrže gluten. Heljdino brašno ima veliku nutritivnu vrijednost te pozitivne učinke na zdravlje ljudi. Istraživanjem je pokazano kako kombinacija 0,5% hidroksipropilmetilceluloze i 40% oljuštenog heljdinog brašna pozitivno utječe na povećanje visine kruha i specifični volumen te također utječe na smanjenje tvrdoće bezglutenskog kruha (Sungur 2018). Kvinoja pripada porodici Chenopodiaceae i rodu *Chenopodium*, u kojem, zbog prisutnosti gorkih saponina čiji sadržaj može varirati do oko 2%, mogu se prepoznati slatke i gorke vrste. Amarant pripada porodici Amaranthaceae i rodu *Amaranthus*, koji se sastoji od oko 60 različitih vrsta. Među njima, *A. caudatus*, *A. cruentus* i *A. hypochondriacus* su tri glavne vrste koje se često koriste u prehrambene svrhe (Conte i sur., 2019). Uporabom kvinojinog bijelog brašna nastaju bezglutenski pekarski proizvodi boljih tehnoloških specifikacija, većeg volumena i homogenog sastava u usporedbi s bezglutenskim pekarskim proizvodima dobivenih od rižinog i kukuruznog brašna. Brašna od kvinoje, amaranta i heljde imaju široku uporabu u osmišljavanju recepture novih bezglutenskih proizvoda zbog izrazito nutritivnih sastojaka kao što je veliki udio proteina, vlakana i minerala te pozitivnog učinka na zdravlje ljudi (Sungur 2018). Kvinoja i amarant pokazuju svojstva smanjenja razine šećera u krvi, odnosno hipoglikemijske učinke te se preporučuju kao alternativa uobičajenim sastojcima u izradi pečenih proizvoda s niskim glikemijskim indeksom (GI) (Matos i Rosell 2015).

Osim raznovrsnih brašna za proizvodnju pekarskih proizvoda bez glutena koriste se i različite vrste škroba. Uloga dodavanja škroba u bezglutenske proizvode je zamjena glutena. Škrob i škrobni derivati, poput kemijski modificiranih, otpornih škrobova, maltodekstrina te drugih, imaju sposobnost želiranja koja je značajna za proizvodnju proizvoda bez glutena. Osim toga, škrob ima pozitivan utjecaj na volumen i mekoću kruha (Sungur 2018). Kruh bez glutena koji sadrži škrob obično ima svijetli izgled te ga potrošači percipiraju kao visoko prečišćen proizvod sa smanjenim sadržajem vlakana i minerala (Ziobro i sur., 2016).

Zbog loših tehnoloških svojstava koja pokazuju bezglutenska brašna poput rižinog i kukuruznog brašna, potrebno ih je pomiješati sa različitim škrobovima kao što su: kukuruzni, škrob tapioke, krumpirov, kasavin, škrob od sirka, prosa ili sa bezglutenskim pšeničnim škrobom za postizanje boljih tehnoloških svojstava. Ovi škrobovi značajno utječu na senzorska svojstva bezglutenskih proizvoda. Utječu na morfologiju proizvoda, sposobnost želatiniranja, viskoznost, specifični volumen, tvrdoću, elastičnost i svojstva krušnih mrvica. Dodatkom 20-30% krumpirovog škroba rižinom brašnu poboljšava se viskoznost, homogenost plina u

tijestu, boja i ukupna senzorska prihvatljivost te uzrokuje odgađanje retrogradacije škroba. Kasavin škrob pozitivno utječe na zadržavanje mjehurića zraka u tijestu te na elastičnost i viskoznost tijesta dajući kruh sa boljim karakteristikama mrva. Visoka razina brzo probavljivog škroba iz kukuruza i/ili riže u bezglutenskim pekarskim proizvodima uzrokuje povećanje GI te kao rezultat dolazi do povećanja razine glukoze i inzulina u krvi. Kako bi se ovaj problem ispravio upotrebljava se sporo probavljivi i rezistentni škrob. Djelomičnom zamjenom kukuruznog škroba sa rezistentnim škrobom kukuruza i tapioke rezultiralo je povećanjem stabilnosti skladištenja, te elastičnom teksturom, mekom sredinom kruha te povećanjem ukupnih sadržaja dijetalnih vlakana. Na ovaj način uspješno se zamjenjuju tehnološka svojstva glutena, te je nastali bezglutenski proizvod dobiven kombinacijom rezistentnog škroba tapioke i kukuruza poboljšanih nutritivnih svojstava (Toth i sur., 2020).

Različite vrste riže utječu na udio amiloze i amilopektina u rižinom škrobu čiji omjer uvjetuje različita fizikalna svojstva i funkcionalnost zrna riže. Amiloza je linearni polimer u kojem su glukozne jedinice povezane  $\alpha$ -1,4 glikozidnom vezom. U strukturi amiloze postoje rijetka mjesta grananja, stoga amiloza zadržava svojstva linearnog polimera i uvija se u strukturu dvostruke uzvojnice. Amilopektin izuzetno je razgranati polimer u kojem su glukozne jedinice, osim  $\alpha$ -1,4-vezama u strukturi ravnog lanca, na mjestima grananja povezane  $\alpha$ -1,6 glikozidnim vezama (Šubarić i sur., 2012). No, smatra se kako je amiloza pokazatelj kvalitete kuhanja. Rižin škrob bez amiloze naziva se voštani ili ljepljivi škrob. Rižin škrob radi hipoalergenih svojstava pronašao je svoju primjenu u široj prehrambene industrije te u proizvodnji hrane za alergične pacijente (Arendt i Dal Bello 2008).

Onyango i sur. (2011) proveli su istraživanje koje je pokazalo da botaničko podrijetlo i količina škroba utječu na reološka svojstva tijesta od sorguma te na kvalitetu sredine sorgumskog kruha. Kvaliteta kruha povećavala se proporcionalno prisutnoj količini škroba. Kruh od sorguma u kombinaciji s kasavom i kruh od sorguma u kombinaciji s rižom pokazali su bolja svojstva sredine u usporedbi s kruhom od sorguma u kombinaciji s kukuruzom ili sorguma u kombinaciji s krumpirom. Promjene u kohezivnosti i elastičnosti bile su bolji pokazatelji starenja pohranjenih kruhova od sorguma od promjena u tvrdoći, elastičnosti ili žilavosti.

Za proizvodnju svih pekarskih proizvoda nužno je koristiti vodu koja odgovara svim zahtjevima Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Izraz "voda za piće" obuhvaća svaku vodu u njezinom prirodnom stanju ili nakon obrade koja je namijenjena za konzumaciju, kuhanje,

pripremu hrane ili druge svakodnevne kućanske svrhe. To uključuje vodu bez obzira na njezino izvorište i neovisno o tome je li dostupna putem javnih vodovoda, u cisternama, bocama ili drugim spremnicima. Ovaj izraz također obuhvaća svu vodu koju subjekti u prehrambenoj industriji koriste za proizvodnju, preradu, konzerviranje ili prodaju proizvoda i tvari namijenjenih ljudskoj konzumaciji (MDSS, 2008.) Za postizanje željene konzistencija tijesta i boljeg ponašanja tijekom miješanja faza, tijesta bez glutena zahtijevaju veće količine vode od tijesta koja sadrže gluten (Conte i sur., 2019). U procesu pripreme tijesta, škrob može apsorbirati do 45% vode u odnosu na svoju vlastitu težinu (Horstmann i sur., 2017). Istraživanje je pokazalo da pekarski proizvodi bez glutena od kukuruza zahtijevaju najveću količinu vode (120%), a najmanje (80%) potrebno je za proizvode od rižinog brašna (Conte i sur., 2019).

### 2.1.2. Dodatne i pomoćne sirovine

Tijekom proizvodnje pšeničnih, ali i bezglutenskih pekarskih proizvoda dodaje se širok spektar pomoćnih i dodatnih sirovina. Najčešće su to kvasac, sol i šećer. Pekarski kvasac (*Saccharomyces cerevisiae*) ima važnu ulogu u procesu pekarstva. Kvasci u tijestu provode alkoholnu fermentaciju šećera iz brašna, te dolazi do nastajanja alkohola i ugljičnog dioksida, što rezultira dizanjem tijesta. Ovaj proces fermentacije povećava elastičnost tijesta, što pozitivno utječe na njegova reološka svojstva. Također, alkohol i nusproizvodi alkoholne fermentacije imaju povoljan utjecaj na organoleptičke karakteristike, poput okusa i boje pekarskih proizvoda. Na tržištu se pekarski kvasac obično može pronaći u tri osnovna oblika: tekućem, svježem te suhom aktivnom obliku kvasca. Iako je svjež kvasac trenutno najčešće korišten u pekarskoj industriji, primjećuje se rast potražnje za suhim aktivnim kvascem (Čiča i sur., 2015). Najpogodniji temperaturni raspon za razvoj kvasaca je između 26 i 28°C, dok procesu fermentacije pogoduju više temperature oko 30°C. No ekstremno visoke i niske temperature nisu pogodni uvjeti za rast i razvoj kvasaca. Enzimi iz kvasca poput maltaze, invertaze i zimaze djeluju na razgradnju ugljikohidrata tijekom fermentacije. Kvasac je ključan za proizvodnju visokokvalitetnog kruha s velikim volumenom i poroznom strukturom. Početno, brašno sadrži malu količinu fermentabilnih šećera koje kvasac koristi za rast i razmnožavanje. Kasnije, putem amilolitičkog procesa, osigurava se dovoljna količina fermentabilnih šećera kako bi se zadovoljile potrebe kvasca. Kvasac prestaje fermentirati kada potroši sav dostupan šećer.

Glavni razlog dodavanja kuhinjske soli u proizvodnji pekarskih proizvoda je poboljšanje njihovog okusa. Međutim, osim što utječe na okus, kuhinjska sol ima i važnu ulogu u tehnologiji proizvodnje. Ona doprinosi razvoju glutena, utječe na reološka svojstva tijesta, regulira brzinu fermentacije i djeluje kao konzervans. Količina dodane kuhinjske soli u pekarskim proizvodima u Hrvatskoj iznosi između 2% i 2,5%. Dodana sol povećava čvrstoću, rastezljivost i elastičnost glutena u tijestu, što rezultira smanjenom ljepljivošću tijesta. Također, sol smanjuje potrebnu količinu vode kako bi se postigla određena konzistencija tijesta te produljuje vrijeme fermentacije tako što smanjuje aktivnost kvasaca (Lasić i sur., 2020).

U svrhu poboljšanja tehnoloških i senzorskih svojstava bezglutenskih prehrambenih proizvoda koriste se aditivi. Neki od primjenjivanih aditiva su enzimi, sintetički antioksidansi i konzervansi. Najčešće korišteni aditivi u prehrambenoj industriji su hidrokoloidi (Anton i Artfield 2008).

Hidrokoloidi su polisaharidne hidrofilne molekule, velike molekularne mase i različitog kemijskog sastava. Često se koriste u recepturama za proizvodnju bezglutenskih proizvoda kako bi imitirali određena reološka svojstva glutena, koji je uobičajeni sastojak u konvencionalnom tijestu za pečenje. Osim što simuliraju te reološke karakteristike, hidrokoloidi igraju ključnu ulogu u poboljšanju ukupnih svojstava tijesta u bezglutenskim receptima. Oni pomažu u održavanju svježine, produžuju trajnost i usporavaju retrogradaciju škroba, čime se poboljšava tekstura, izgled i stabilnost pečenog kruha ili drugih bezglutenskih proizvoda. Uz to, hidrokoloidi doprinose boljoj konzistenciji i oblikovanju kruha. Osim toga, dodatak hidrokoloida rezultirao je boljim nastajanjem i zadržavanjem plinova tijekom fermentacije. Primjena hidrokoloida u bezglutenskim proizvodima zavisi od njihovih koloidnih karakteristika, uključujući sposobnost zadržavanja vode, viskoznosti, brzine hidratacije i osjetljivost na temperaturu tokom procesa hidratacije. Važno je napomenuti da se većini hidrokoloida viskoznost smanjuje kako temperatura raste. Najčešće korišteni hidrokoloidi za proizvodnju bezglutenskih prehrambenih proizvoda su: karboksimetil celuloza (CMC), ksantan guma (XG), psilijum, guar guma (GG), hidroksipropil metilceluloza (HPMC), pektin, želatina,  $\beta$ -glukan, agar te drugi (Culetu i sur., 2021).

Ksantan guma formira viskoznu, pseudoplastičnu otopinu koja je otporna na promjene temperature, pH vrijednosti ili koncentracije soli. Ksantan je hidrokolid koji ne stvara želiranu



strukturu, ali može formirati gel kada se kombinira s drugim sastojcima poput agar-agar-a, karagenana tipa kapa ili konjak glukomanana. Postoje različite vrste ksantanskih guma koje se razlikuju po veličini čestica, viskoznosti, brzini hidratacije, pseudoplastičnosti i drugim svojstvima. U istraživanju proizvodnje bezglutenskih proizvoda, u kojem je jedan od hidrokoloida bio ksantan, utvrđeno je da se kvaliteta kruha smanjuje kada je koncentracija hidrokoloida veća od 1%. Ovo istraživanje je dokazalo sposobnost formiranja matrice s fragmentima škroba koji su slični glutenu u tijestu. Ta matrica uključuje rižino brašno, proteine jaja i mlijeka, ksantan i HPMC (Arendt i Dal Bello 2008). Istraživanja su potvrdila da se primjenom ksantan gume u bezglutenskim prehrambenim proizvodima može postići smanjenje tvrdoće i povećanje elastičnosti. Ksantan guma, zbog svojih karakteristika, ne samo da unaprjeđuje kvalitetu tijesta i teksture u bezglutenskim proizvodima, već također pozitivno utječe na boju pečenog kruha, pridonoseći cjelokupnom vizualnom i senzornom doživljaju proizvoda (Herawati 2019).

Guar guma se izdvaja iz endosperma sjemenki mahunarki i obično sadrži otprilike 75-85% polisaharida, 5-6% proteina, 8-14% vlage i druge komponente. Primjetno je da guar guma, pri određenim koncentracijama, ima sposobnost stvaranja najveće viskoznosti među svim hidrokoloidima. Ovaj viskozitet može se dodatno pojačati miješanjem s ksantan gumom. U kontekstu bezglutenskog kruha, ispitano je kako guar guma djeluje kao sastojak koji zadržava vodu, ali je zaključeno da je manje učinkovita u usporedbi s drugim galaktomananima (Arendt i Dal Bello 2008). Hidroksipropilmetilceluloze (HPMC) su topljive u hladnoj vodi i moguće ih je reverzibilno pretvoriti u gel stanje pod utjecajem temperature. To znači da se njihove otopine pretvaraju u gel na višim temperaturama, dok se hlađenjem gelovi ponovno pretvaraju u otopine. Osim toga, otopine HPMC-a pokazuju pseudoplastična reološka svojstva i mogu se koristiti za stvaranje tankih filmova (Arendt i Dal Bello 2008). Istraživanjima je utvrđeno da HPMC u bezglutenskom kruhu potiče međusobno povezivanje škrobnih granula, mijenjajući njihovu pokretljivost. Ovaj učinak može rezultirati promjenom strukture stanica unutar kruha, omogućujući sustavu da zadrži veću količinu vode. Danas je dostupan širok spektar različitih hidrokoloida u prehrambenoj industriji, no ksantanska guma i hidroksipropilmetilceluloza najučinkovitije oponašaju karakteristika glutena, pa su stoga najčešće korišteni u proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena. Njihova sposobnost stvaranja sličnih reoloških svojstava kao

gluten čini ih ključnim sastojcima u proizvodnji bezglutenskih proizvoda (Anton i Artfield 2008).

Inovativni pristup za unaprjeđenje svojstava bezglutenskog kruha temelji se na korištenju topivih dijetalnih vlakana, a prah ljuski psilijuma izdvaja se kao prirodni izvor takvih vlakana. Ova vrsta dijetalnih vlakana donosi značajna poboljšanja u senzorskim svojstvima kruha, njegovoj nutritivnoj vrijednosti te produljuje rok trajanja. Prah ljuski psilijuma dobiva se ekstrakcijom iz ljuske sjemena *Plantago ovata*. U receptima za bezglutenske pekarske proizvode, psilijum se uspješno koristi zbog svoje sposobnosti zadržavanja vlage, povećanja viskoznosti tijesta, očuvanja plinova tijekom pečenja te povećanja volumena, a istovremeno smanjuje gubitak svježine tijekom skladištenja. Krajnji bezglutenski proizvod karakteriziraju poboljšane senzorske i nutritivne osobine, obogaćenost vlaknima te produljen rok trajanja (Fratelli i sur., 2021). Osim što izuzetno pozitivno djeluje na senzorska i nutritivna svojstva bezglutenskih proizvoda, pozitivno djeluje na zdravlje ljudi zbog toga što je bioaktivno topljivo vlakno. Psilijum djeluje na povećanje sadržaja vlakana u pečenom proizvodu, ublažavanje gastrointestinalnih i dijabetičkih simptoma, kontrolu kolesterola i produljenje osjećaja zasićenosti (Filipčev i sur., 2021).

### 2.1.3. Protein bjelanjka jajeta

S obzirom na to da sirovine za proizvodnju bezglutenskih proizvoda obično imaju nisku koncentraciju proteina, a ponekad ih uopće nemaju, postavlja se izazov kako nadomjestiti ovaj nedostatak proteina u receptima za bezglutenski kruh. Proteini značajno poboljšavaju kvaliteta gotovog proizvoda, ne samo u pogledu teksture i konzistencije nego i nutritivno. Dodavanjem proteina u recepturu bezglutenskih proizvoda ispravlja se deficit aminokiselina, te ima pozitivan utjecaj na formiranje strukture i teksture tijesta, boju i senzorska svojstva proizvoda te utječe na njegovo prihvaćanje među potrošačima. Proteine je moguće dodavati na različite načine, kao komponente bezglutenskih brašna (npr. rižino brašno) ili u obliku koncentrata i izolata. Kombiniranjem proteina s drugim dodacima poput polisaharidnih hidrokoloida ili enzima postiže se željena konzistencija i tekstura bezglutenskog kruha, pružajući zadovoljavajuće senzorske karakteristike proizvoda (Ziobro i sur., 2016).

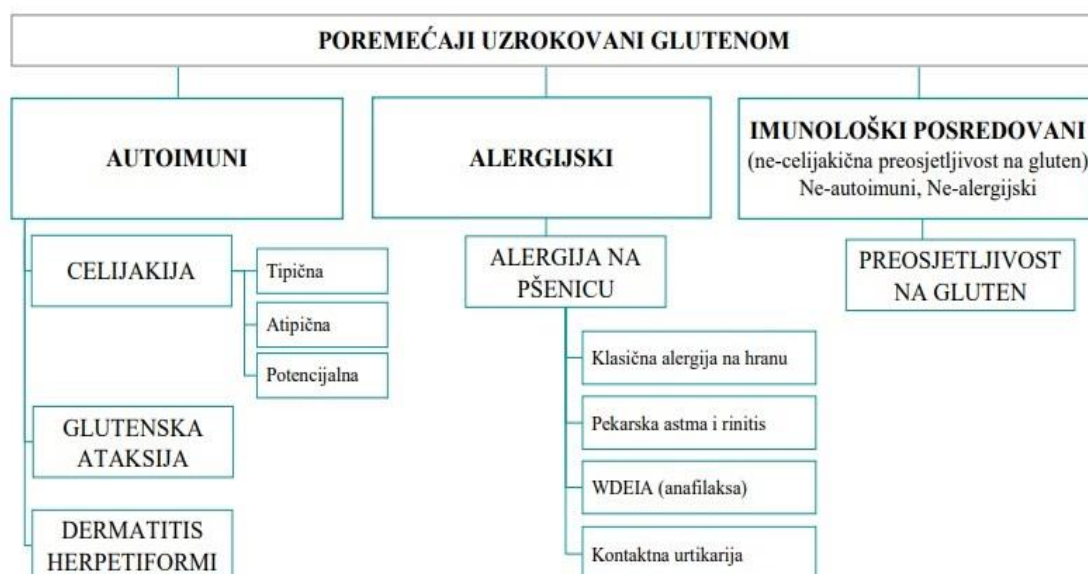
U ovom diplomskom radu u recepturu za proizvodnju bezglutenskog kruha dodan je protein bjelanjka jajeta. To je često korišten protein u proizvodnji pekarskih proizvoda, no treba uzeti

u obzir alergena svojstva ovog proteina (Phongthai i sur., 2016). To je proteinska komponenta koja se prirodno nalazi u bjelanjku jajeta. Ovaj protein često se koristi u prehrambenoj industriji kao dodatak hrani i pekarskim proizvodima kako bi poboljšao njihova svojstva teksture i konzistencije. Albumin ima sposobnost stvaranja mreže koja zadržava plin i omogućava kruhu da naraste, čineći ga mekšim i pahuljastijim (Ziobro i sur., 2016).

Istraživanja su pokazala da protein bjelanjka jajeta može međusobno povezati škrobne granule, stvarajući viskozne otopine i proteinsku strukturu koja podsjeća na film sličan pšeničnom glutenu. Ovu formiranu strukturu može dodatno poboljšati upotrebom transglutaminaze, enzima koji ubrzava umrežavanje proteina (Arendt i Dal Bello 2008). Također, neka istraživanja su pokazala da veće koncentracije proteina bjelanjka jajeta mogu prevladati nepoželjne interakcije s enzimom HPMC ili drugim tvarima (Stantiall i Serventi 2018). Istraživanje je također ukazalo na različite učinke dodavanja različitih vrsta proteina na reološka svojstva i volumen kruha. Proteini koji su korišteni u istraživanju uključivali su albumin, kolagen, grašak, lupinu i soju. Kruhovi s dodatkom proteina soje i graška imali su manji volumen u usporedbi s kontrolnim uzorkom, dok su kruhovi s dodatkom proteina bjelanjka jajeta bili veći od kontrolnog uzorka. Također, dodatak proteina u bezglutenske kruhove rezultirao je promjenama u strukturi sredine i tamnijoj boji korice kruha (Ziobro i sur., 2016).

### **2.2. CELIJAKIJA**

Gluten je protein prisutan u pšenici, raži, ječmu i zobi, a sastoji se od glutenina i glijadina. Ovi proteini mogu izazvati različite zdravstvene probleme, uključujući autoimune, alergijske i neautoimune - nealergijske bolesti. Kao što je prikazano na Slici 1 autoimuni poremećaji su celijakija, herpetiformni dermatitis i glutenska ataksija, dok je alergija na gluten posljedica preosjetljivosti imunološkog sustava. S druge strane, necelijakična preosjetljivost na gluten nije ni alergijski ni autoimuni poremećaj (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019). Celijakija je kronična bolest tankog crijeva koja se javlja kao posljedica izloženosti glutenu, prisutnom u žitaricama. Ova bolest karakterizira oštećenje resičastih struktura na sluznici tankog crijeva te smanjena sposobnost apsorpcije hranjivih tvari, minerala i vitamina. Osim toga, osobe s celijakijom su podložnije drugim autoimunim bolestima, a također imaju veći rizik od razvoja malignih bolesti probavnog sustava (Barbarić 2008).



**Slika 1** Podjela poremećaja uzrokovanih glutenom (Phač Bogadi 2019)

Simptomi i znakovi celijakije mogu biti različiti, a bolest može biti prisutna i bez pojave simptoma. Iako su crijevni simptomi jedan od prvih pokazatelja ove bolesti, prisutni su tek kod polovine oboljelih. Neki od simptoma celijakije su: povećana potreba za hranjivim tvarima, proljev, zatvor, povraćanje, bol u trbuhu, gubitak tjelesne mase, afte, oštećenje zubne cakline, artritis, dermatitis te ostalo. Celijakija se dijagnosticira provedbom raznih testova poput krvnih pretraga i biopsijom crijeva. To je bolest koja ima gensku predispoziciju te otprilike jedan od deset članova unutar obitelji boluje od celijakije. Osim genske sklonosti rizičnu skupinu za oboljenje od celijakije čine pacijenti koji boluju od nekih drugih autoimunih bolesti kao što su: šećerna bolest tipa 1, autoimune bolesti štitnjače i jetre. Drugu rizičnu skupinu predstavljaju osobe sa manjkom imunoglobulina A (IgA). Osobe koje pate od određenih genetskih nepravilnosti, uključujući Downov, Turnerov ili Williamsov sindrom, također pokazuju veću sklonost prema razvoju celijakije. Nakon što je postavljena dijagnoza celijakije, nužno je odmah preći na bezglutensku prehranu i izbjegavati čak i najmanje tragove glutena. Uklanjanjem glutena iz prehrane, imunološki sustav više nema poticaj za reakciju i simptomi obično nestaju. Važno je napomenuti da prestanak simptoma ne znači da je celijakija potpuno izliječena. Ova često dijagnosticirana kronična bolest, koja može utjecati na ljude svih dobnih skupina, zahvaća 1% europske populacije. Otkrivanje ove bolesti i pravodobno prepoznavanje njenih simptoma ključno je za bolje upravljanje i kvalitetu života pacijenata (Dolinšek i sur., 2021).

### 2.3. PROCJENA IZGLEDA SREDINE KRUHA RAČUNALNOM ANALIZOM SLIKE

Struktura sredine kruha, poznata kao poroznost, tradicionalno se analizira na temelju iskustva pekara koji procjenjuju gustoću i ujednačenost šupljina na presjeku sredine kruha. Ova procjena obuhvaća vizualno opažene karakteristike koje se odnose na veličinu, oblik, ujednačenost i debljinu pora unutar sredine kruha (Rogers i sur., 1995; Pylar 1988). Ove karakteristike, na makroskopskoj razini, predstavljaju čvrste i tekuće faze unutar sredine kruha (Scanlon i Aghal 2001). Tekuća faza, koja se također naziva šupljinama (porama), može se podijeliti u tri glavne kategorije: zatvorene, slijepa i prohodna šupljina, koje obuhvaćaju promjere od nekoliko mikrona do nekoliko tisuća mikrona (Datta i sur., 2007). U posljednjim godinama, računalna analiza slike (RAS) postala je koristan kvantitativni alat za procjenu izgleda sredine kruha. U praksi, RAS se koristi za kvantificiranje različitih karakteristika sredine kruha, uključujući veličinu šupljine, distribuciju veličine šupljina, broj šupljina po jedinici površine (poroznost), debljinu stijenke šupljine, udio praznina i faktor oblika šupljine (Calderón-Domínguez i sur., 2008; Rosales-Juárez i sur., 2008; Gonzales-Barron i Butler, 2006; Lagrain i sur., 2006; Takano i sur., 2002). Također se koristi za procjenu volumena proizvoda. Važno je napomenuti da ne postoji standardizirana metoda za evaluaciju ovih karakteristika, a razlike u metodologijama, kao što su razlučivost skeniranja i raspon šupljina korištenih za procjenu karakteristika, mogu rezultirati različitim podacima za slične vrste kruha, što otežava usporedbu informacija između različitih izvještaja.

#### 2.3.1. Uvod u računalni vid i analizu slike

Računalni vid predstavlja interdisciplinarno područje koje se bavi automatiziranim procesima izdvajanja, analize i razumijevanja informacija iz pojedinačnih slika ili nizova slika. Ovo područje uključuje razvoj teoretskih osnova i algoritama koji omogućuju automatsko vizualno razumijevanje. Svrha mu je stvaranje znanstvenih i tehnoloških rješenja za prikupljanje informacija iz različitih vrsta slika, uključujući slike, video materijale te medicinske uređaje. Ovo područje spaja znanstvenu disciplinu s tehnološkom primjenom kako bi se izgradili sustavi računalnog vida. Osim toga, računalni vid igra ključnu ulogu u prepoznavanju objekata, praćenju događaja te rekonstrukciji slika, čime se povezuje s područjima umjetne inteligencije, fotografije i optike.

### 2.3.2. Postupak digitalne obrade i analize slike

Digitalna slika je dvodimenzionalna diskretna funkcija  $f(x,y)$  koja je digitalizirana i u prostornim koordinatama i u veličini vrijednosti obilježja. Digitalna slika se promatra kao 2-D matrica čiji indeksi retka i stupca identificiraju malo kvadratno područje slike koje se naziva piksel.

Postupak digitalne obrade slike podrazumijeva niz numeričkih operacija s ciljem postizanja željenih rezultata te prethodi analizi slike. Sama digitalna analiza slike ima za cilj izdvajanje bitnih informacija iz slike radi dobivanja opisa. Ova analiza provodi se na ulaznoj slici, dok se izlazni parametri ili značajke izdvajaju iz analizirane slike. Postupak digitalne obrade i analize slike sastoji se od nekoliko ključnih koraka:

- Digitalizacija: Slika se dobiva od senzora i može biti u obliku 2D, 3D ili niza slika različitih formata (npr. JPEG, TIFF).
- Pretprocesiranje: Ovaj korak uključuje ispravke grešaka u snimanju slike te evaluaciju kvalitete slike. Također, priprema sliku za segmentaciju.
- Segmentacija: Segmentacija podrazumijeva razdvajanje objekata od interesa od pozadine na slici. Pikseli se klasificiraju kao dio objekta ili pozadine.
- Postprocesiranje: Nakon segmentacije, postprocesiranje se koristi za poboljšanje rezultata i razdvajanje objekata koji su se možda spojili tijekom segmentacije.
- Izdvajanje Značajki: Izdvajanje značajki slike odnosi se na ekstrakciju karakterističnih informacija iz slike, kao što su linije, rubovi, teksture ili oblici. Ove značajke koriste se za daljnju analizu i prepoznavanje objekata.

### 2.3.3. Segmentacija slike

Segmentacija slike je prvi korak analize slike koji ima za cilj ili opis slike ili klasifikaciju. Stotine tehnika segmentacije prisutne su u literaturi. Međutim, ne postoji niti jedna metoda koja se može smatrati dobrom za sve slike, niti su sve metode jednako dobre za određenu vrstu slike. Neke od najčešćih metoda segmentacije:

- **Određivanje praga:** Metoda određivanja praga temelji se na postavljanju određene vrijednosti praga kako bi se odvojili pikseli objekta od pozadine. Ovaj prag određuje se analizom histograma slike i usporedbom vrijednosti piksela s pragom. Općenito,

razdjelna vrijednost se nalazi u očitj granici koja je vidljiva poput duboke doline na histogramu frekvencija. Međutim, problemi nastaju kada granica nije tako očita ili kada je histogram unimodalan. Točna vrijednost razdjelne vrijednosti ima značajan učinak na položaj granice, a time i na ukupnu veličinu ekstrahiranih objekata. Zbog osjetljivosti naknadnih mjerenja na vrijednost razdjelne vrijednosti, potrebna je optimalna ili barem dosljedna metoda za određivanje razdjelne vrijednosti.

- **Pronalaženje rubova:** Segmentacija bazirana na rubovima fokusira se na detekciju rubova na slici, koji označavaju promjene u nijansama, bojama ili teksturi. Ovaj pristup koristi gradijent funkciju kako bi pronašao rubove.
- **Segmentacija bazirana na regijama:** Ova metoda ima za cilj identificirati regije sličnih značajki na slici. Ovdje se ne traže rubovi, već se regije direktno određuju, što je korisno za slike s velikim količinama šuma.

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**



### 3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je provesti detaljno istraživanje kako bi se analizirao utjecaj različitih udjela proteina bjelanjka jajeta na karakteristike bezglutenskog kruha koji se izrađuje od rižinog brašna i kukuruznog škroba. Specifično, razmatrane su tri koncentracije proteina bjelanjka jajeta: 5%, 10% i 15% u odnosu na ukupnu masu brašna i škroba.

### 3.2. MATERIJAL

Za proizvodnju bezglutenskog kruha u ovom istraživanju korišteno je rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska), kukuruzni škrob Gustin (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka), koncentrat proteina bjelanjka jajeta (GymBeam GmbH, Berlin, Njemačka), ksantan guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK), instant suhi pekarski kvasac (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka), suncokretovo ulje, sol, šećer i voda.

### 3.3. METODE

#### 3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena

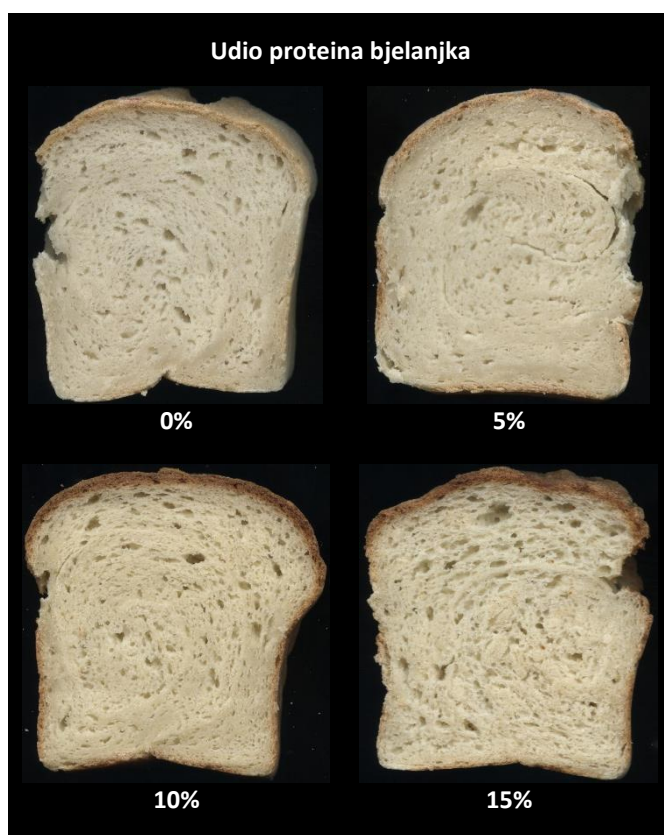
Za pripremu tijesta korištene su sirovine navedene u **Tablici 1**, a miješanje je provedeno tijekom 8 minuta u mjesilici. Prve 2 minute miješanja provedene su na nižoj brzini, dok su preostale 6 minute izvedene na većoj brzini.

Nakon zamjesa tijesto se dijeli na dva dijela, okruglo oblikuje, a nakon toga stanjuje valjkom za tijesto do debljine 6-8 mm te se rolanjem formiraju dvije vekne. Te vekne su zatim postavljene u kalupe za pečenje i stavljene u fermentacijsku komoru na 45 minuta. Nakon završene fermentacije, uzorci su pečeni 45 minuta u pećnici.

Početno pečenje provedeno je 3 minute na temperaturi od 200 °C, nakon čega su uzorci nastavljeni peći još 42 minute na 175°C. Nakon pečenja, uzorci su hladjeni najmanje 1 sat prije nego što su podvrgnuti dodatnim analizama.

**Tablica 1** Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (PBJ)

SASTOJCI (G)	0% PBJ	5% PBJ	10% PBJ	15%PBJ
RIŽINO BRAŠNO	360	342	324	306
KUKURUZNI ŠKROB	40	38	36	34
PROTEIN BJELANJKA JAJETA	0	20	40	60
KSANTAN GUMA			16	
SUHI KVASAC			12	
ULJE			20	
ŠEĆER			12	
SOL			8	
VODA			320	

**Slika 2** Izgled uzoraka kruha bez glutena s različitim udjelima proteina bjelanjka jajeta

### 3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava bezglutenskog kruha

#### Određivanje teksture i volumena bezglutenskog kruha

Za određivanje teksturalnog profila (TPA) bezglutenskog kruha, korišten je analizator teksture TA.XT2i (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK), a dobiveni podaci obrađeni su pomoću softvera Texture Exponent 32 (verzija 3.0.5.0.). Iz svakog uzorka kruha precizno su izrezane četiri šnite debljine 25 mm, koje su podvrgnute dvostrukoj kompresiji koristeći aluminijski cilindrični nastavak P/36R promjera 36 mm. Brzina mjerenja bila je postavljena na 1 mm/s, dubina prodiranja iznosila je 40% (10 mm), dok je vrijeme zadržavanja između dvije kompresije bilo 5 s. Iz dobivenih krivulja izračunate su sljedeće karakteristike: čvrstoća (N), adhezivnost (Ns), elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju (N) i koeficijent otpornosti.

Specifični volumen (izražen u  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) određen je primjenom metode laserske topografije, koristeći uređaj Volscan Profiler (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK) prema uputama proizvođača. Osim vrijednosti specifičnog volumena, uređaj je mjerio i dimenzije uzoraka izražene kao h/d omjer.

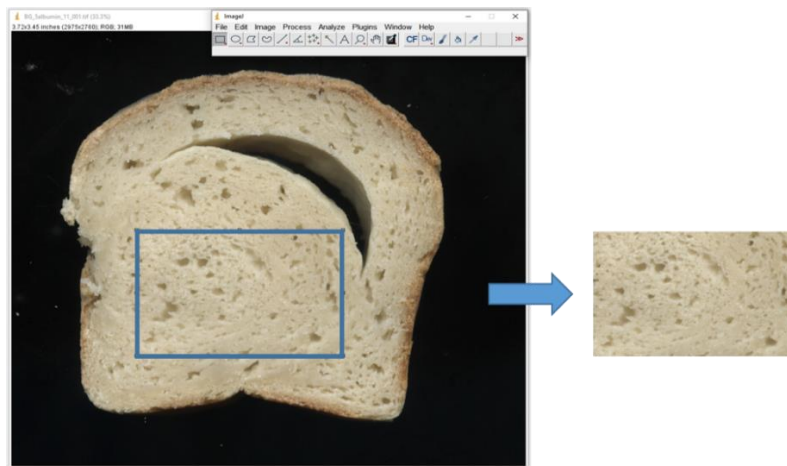
#### Kolorimetrijsko određivanje boje

Boja presjeka kruha (**Slika 2**) kvantificirana je u CIELab sustavu korištenjem kolorimetra CR-400 (Konica Minolta, Japan).  $L^*$  vrijednost odražava svjetlinu i varira u rasponu od 0 (crna) do 100 (bijela),  $a^*$  vrijednost označava nijansu između zelene i crvene boje (-128 do 127), dok  $b^*$  vrijednost označava nijansu između plave i žute boje (-128 do 127).

### 3.3.3. Računalna analiza slike poroznosti bezglutenskog kruha

Prije nego što je izvedena računalna analiza sredine bezglutenskog kruha, izvedena je fizička priprema uzoraka. Petnaest vekni kruha je presječno poprečno je presječno poprečno kako bi se dobile šnite debljine 2,5 centimetara. U svrhu analize strukture sredine bezglutenskog kruha po dvije središnje šnite svakog kruha su obostrano skenirane (**Slika 3**) pomoću skenera Epson Perfection V500 Photo (Epson Corporation, Bethesda, Maryland, SAD) koristeći program EPSON Scan Utility v3.7.7.0. Slike su skenirane u punoj rezoluciji od 1200 piksela po inču i zabilježene u 24-bitnom RGB formatu, a zatim pohranjene u TIFF formatu na računalu. Za daljnju analizu svakog uzorka, slike su podvrgnute odabiru reprezentativne površine

dimenzija 1,5x1,0 inča. Računalna analiza slike izvedena je pomoću programa ImageJ v1.53g (National Institutes of Health, Bethesda, MD, SAD). Za segmentaciju šupljina na slikama korišten je Default algoritam, primijenjen prema metodologiji Gonzales-Barronu i Butler (2006). Rezultat analize unutarnje strukture kruha obuhvatio je prikupljanje sljedećih podataka: ukupan broj šupljina, prosječna površina koju zauzimaju šupljine (poznata kao poroznost) i prosječna veličina šupljina. Ti podaci su korišteni za usporedbu različitih uzoraka s različitim udjelima proteina bjelanjka (0, 5, 10 i 15%).



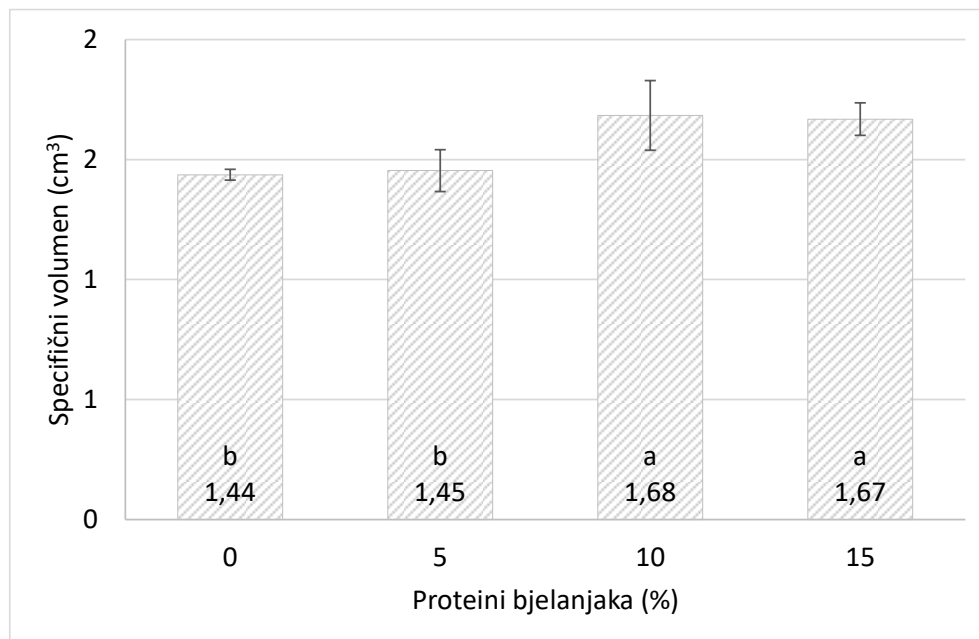
**Slika 3** Odabir reprezentativne površine sredine kruha (1,5x1.0 inč)

### 3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava bezglutenskog kruha

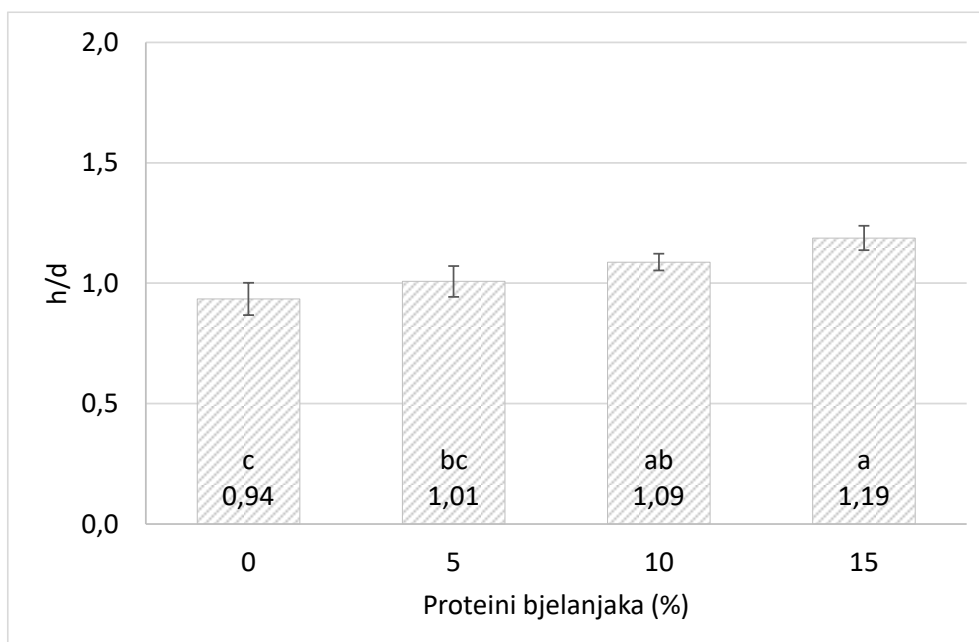
Senzorsku analizu uzoraka kruha bez glutena s dodatkom proteina bjelanjka jajeta proveo je panel ocjenjivača sastavljen od pet članova studenata i djelatnika Katedre za tehnologije prerade žitarica Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek. Svi članovi panela imali su prijašnje iskustvo u senzorskoj analizi te nisu imali zdravstvenih problema koji bi mogli imati utjecaj na senzorsku procjenu, kao što su anozmija ili daltonizam. Prije početka ocjenjivanja, panelistima su pružene informacije o istraživanju i uzorcima koji će biti testirani. Senzorska analiza provedena je korištenjem hedonističke skale koja se sastoji od 9 stupnjeva. Provedeno je ocjenjivanje vanjskog izgleda, izgleda sredine, teksture, mirisa, okusa i ukupnog dojma ocjenama od 1 do 9 koje su bile: naročito visoko poželjno (9), vrlo poželjno (8), umjereno poželjno (7), nezatno poželjno (6), neutralno (5), nezatno nepoželjno (4), umjereno nepoželjno (3), vrlo nepoželjno (2), naročito nepoželjno (1). Sveukupna senzorska ocjena dobivena je kao prosječna vrijednost prethodno navedenih senzorskih svojstava.

## **4. REZULTATI**

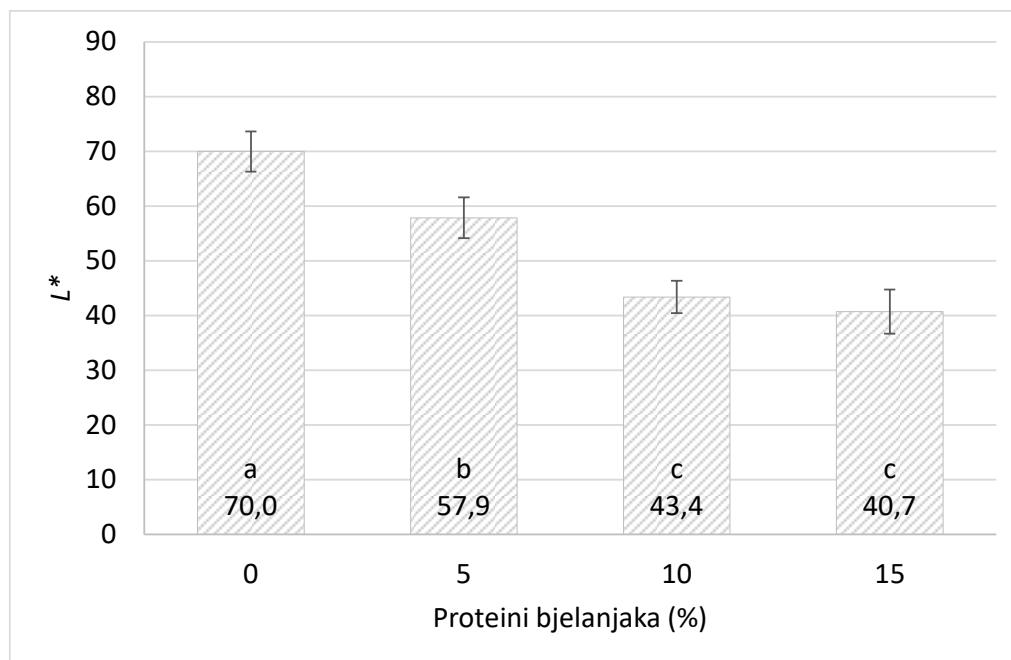
#### 4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA BEZGLUTENSKOG KRUHA



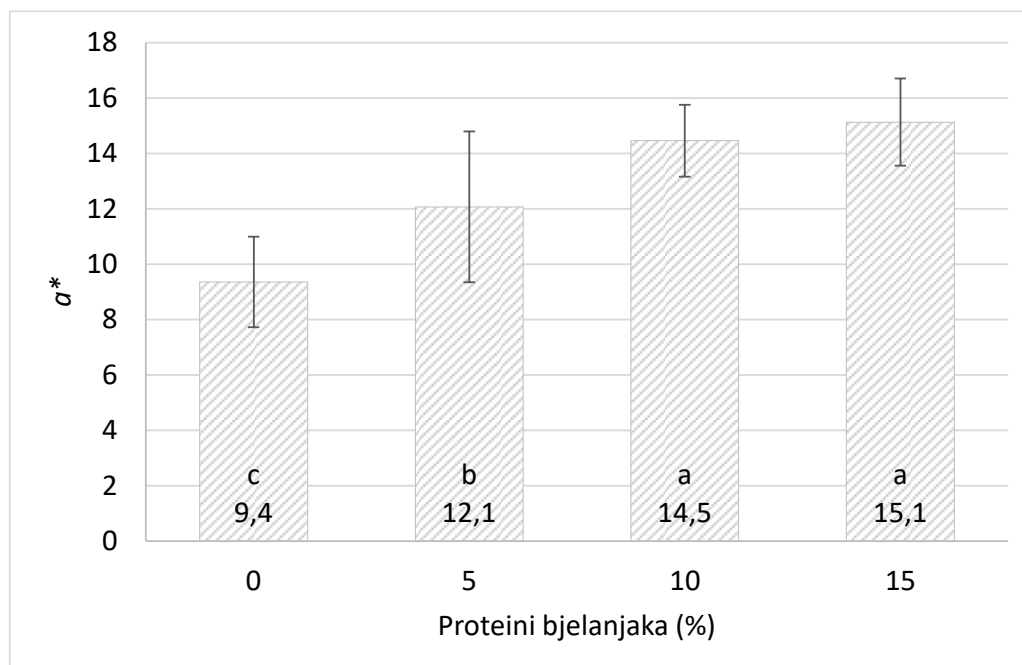
**Slika 4** Analiza specifičnog volumena bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



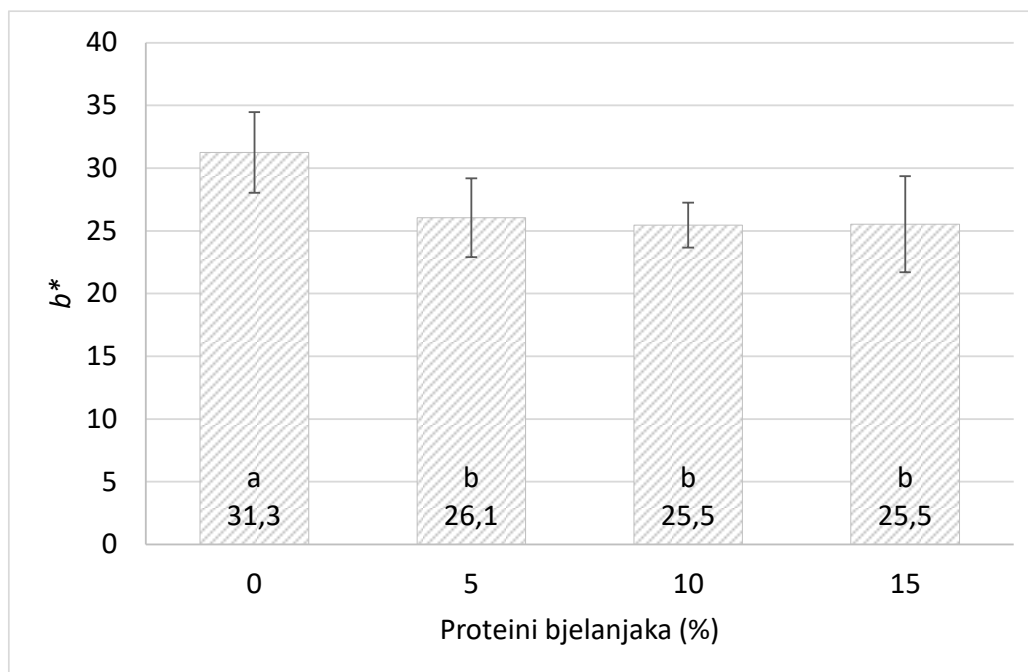
**Slika 5** Analiza h/d omjera bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



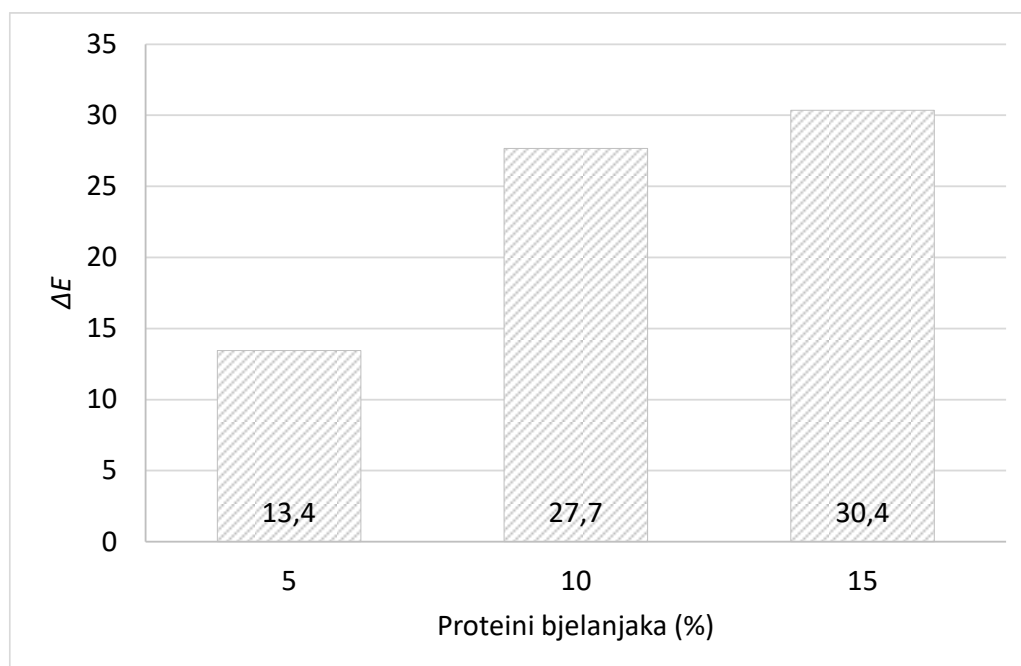
**Slika 6** Analiza svjetline površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



**Slika 7** Analiza kromatske komponente zeleno-crvene boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

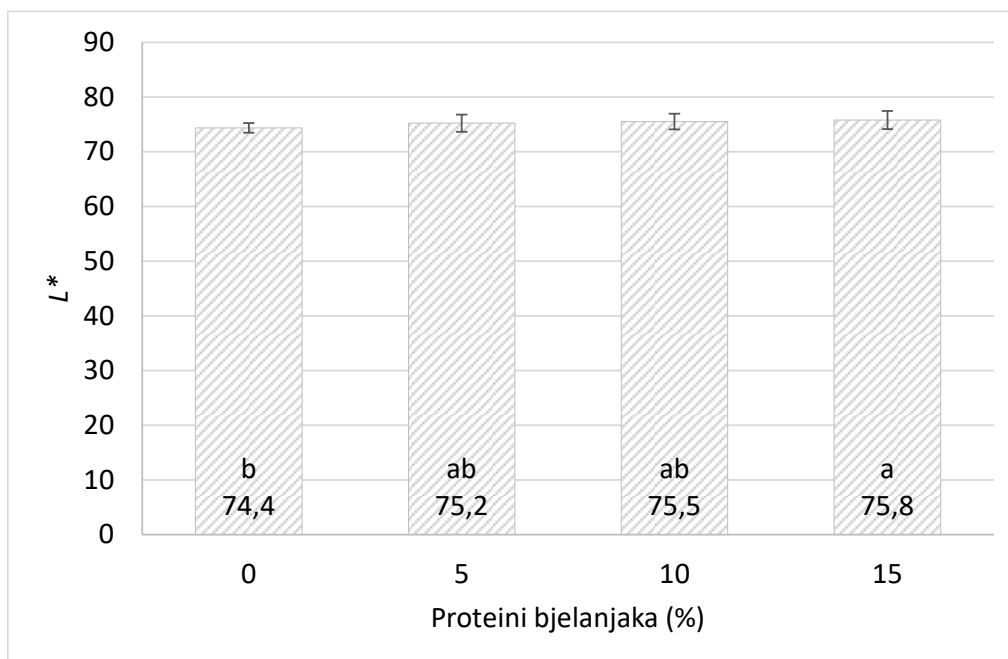


**Slika 8** Analiza kromatske komponente plavo-žute boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)

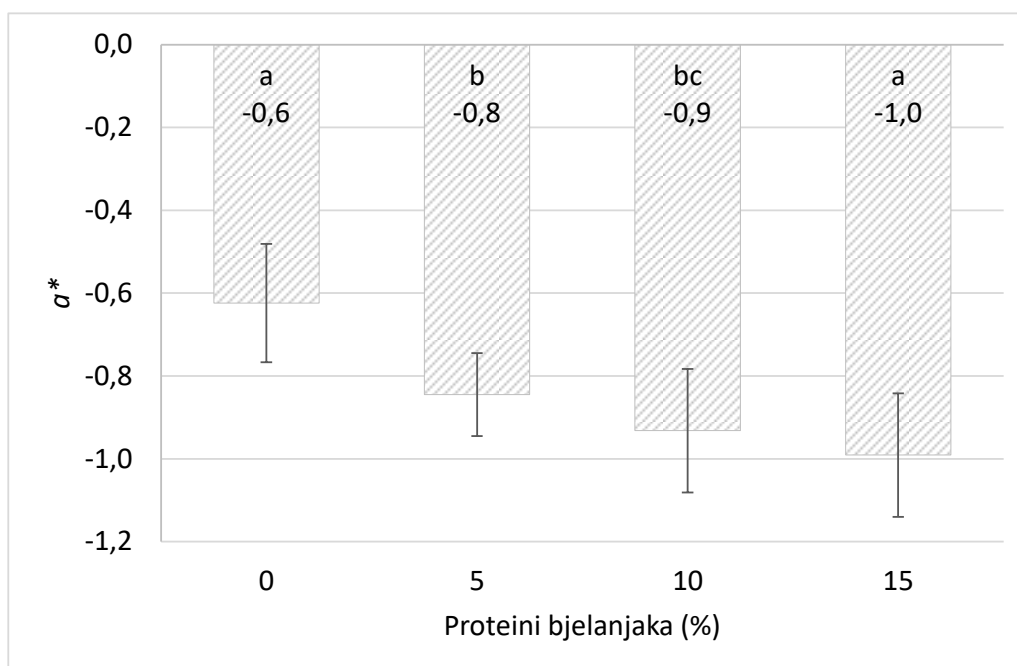


**Slika 9** Analiza ukupne promjene boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka jajeta

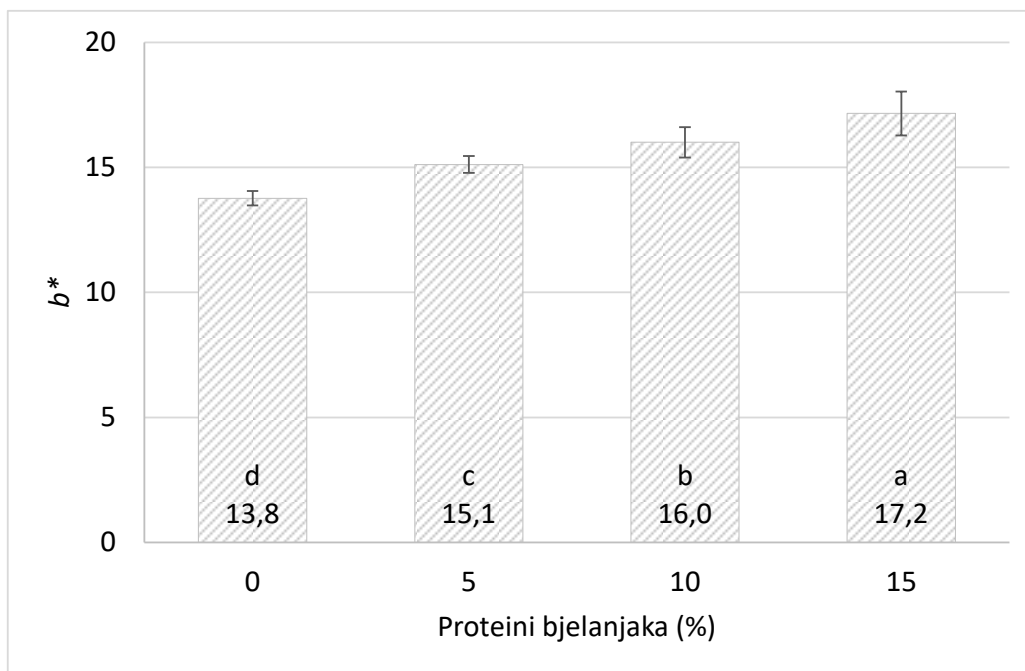




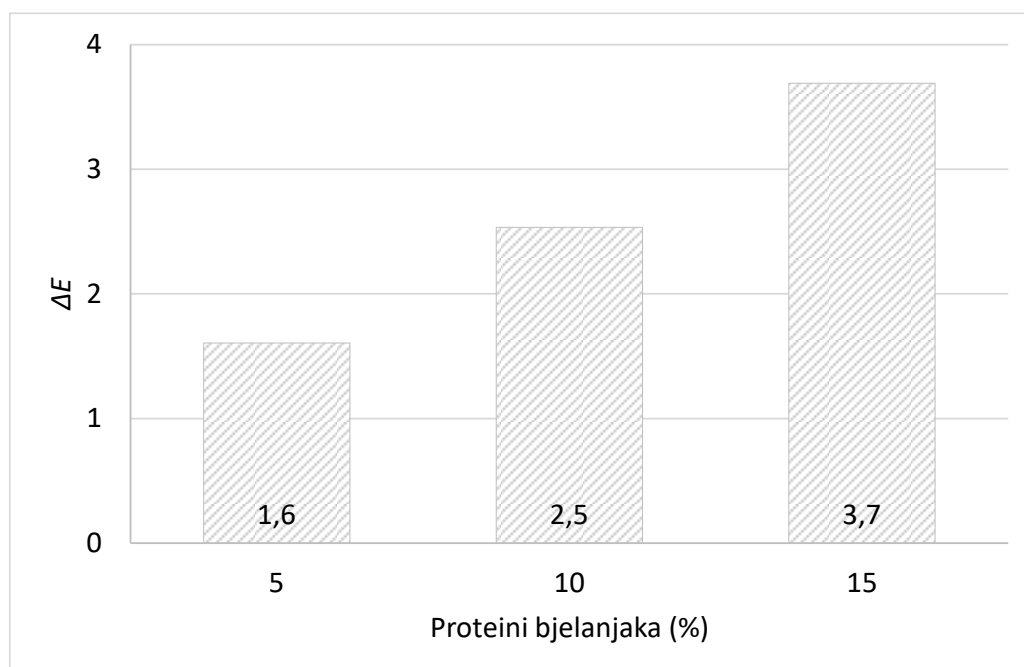
**Slika 10** Analiza svjetline sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



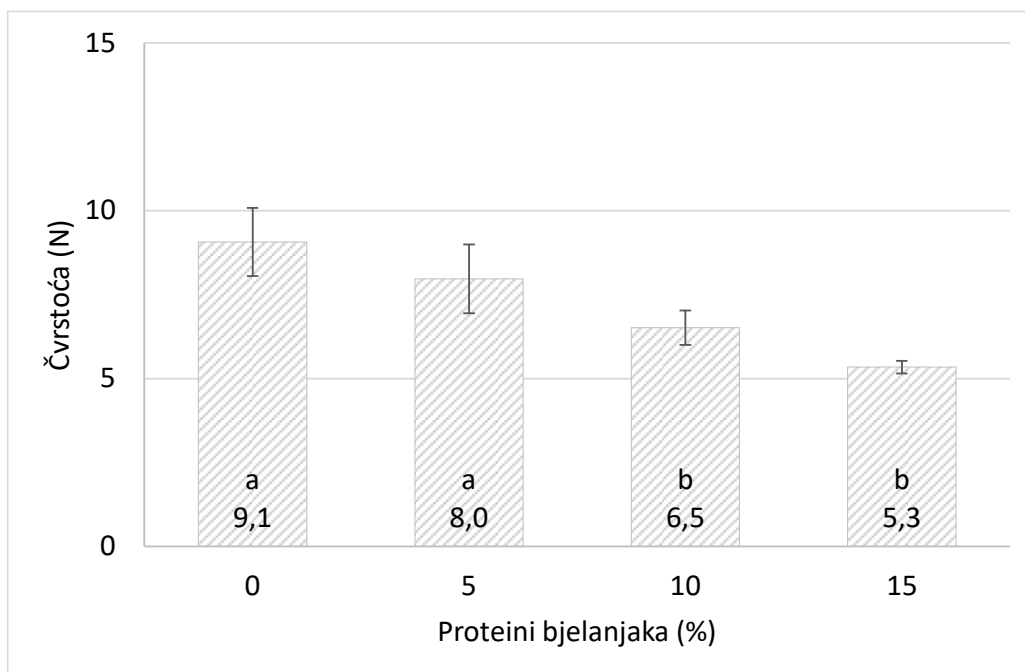
**Slika 11** Analiza kromatske komponente zeleno-plave boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



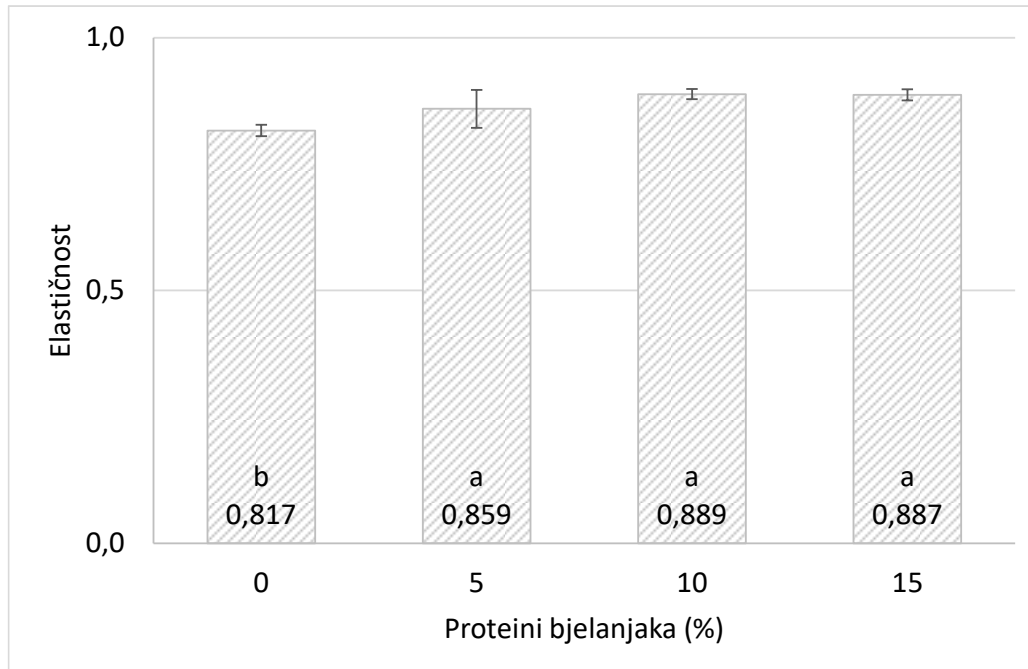
**Slika 12** Analiza kromatske komponente plavo-žute boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukeyevom HSD testu)



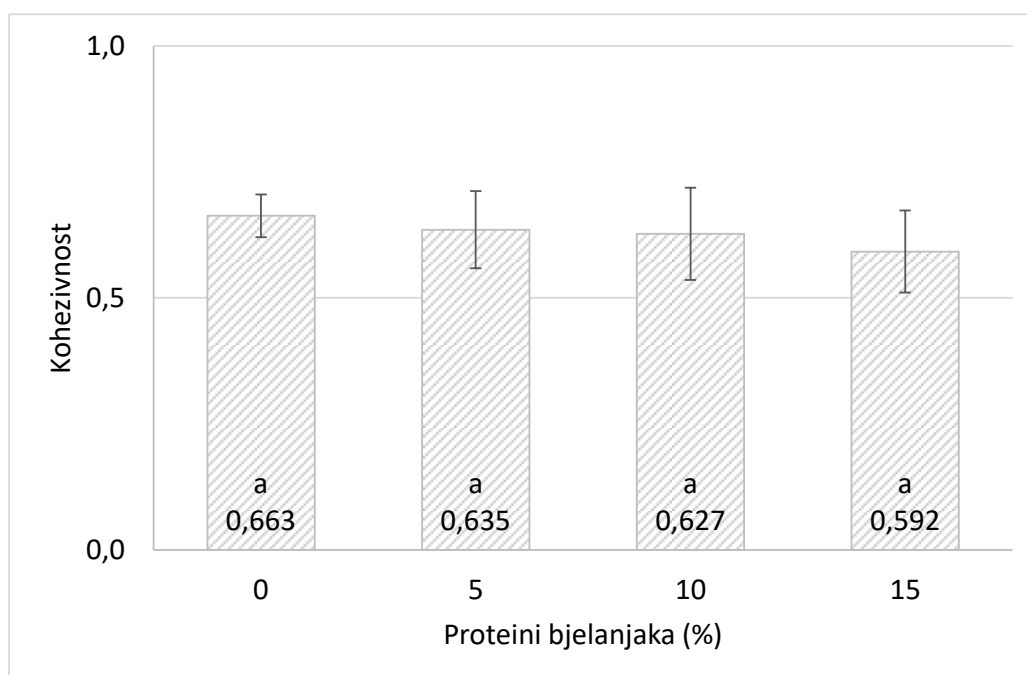
**Slika 13** Analiza ukupne promjene boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta



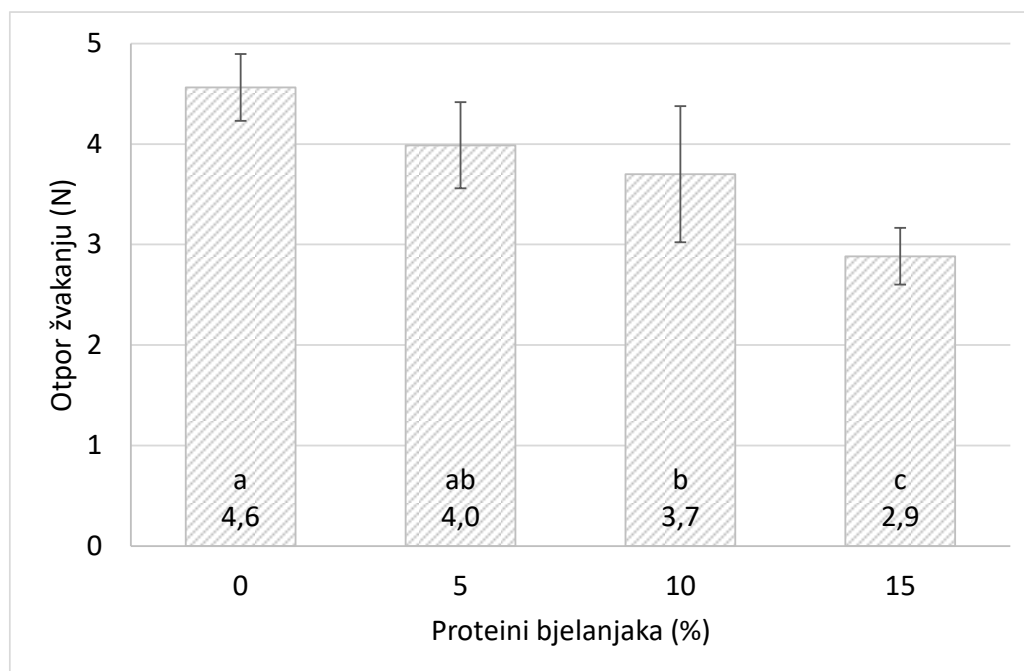
**Slika 14** Rezultati čvrstoće bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



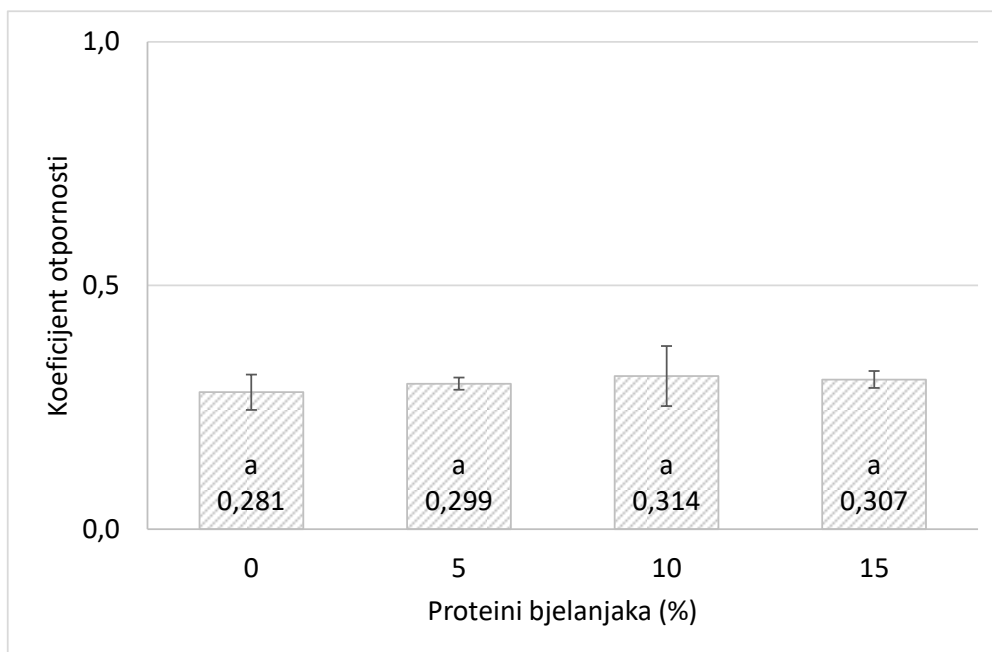
**Slika 15** Rezultati elastičnosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



**Slika 16** Rezultati kohezivnosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

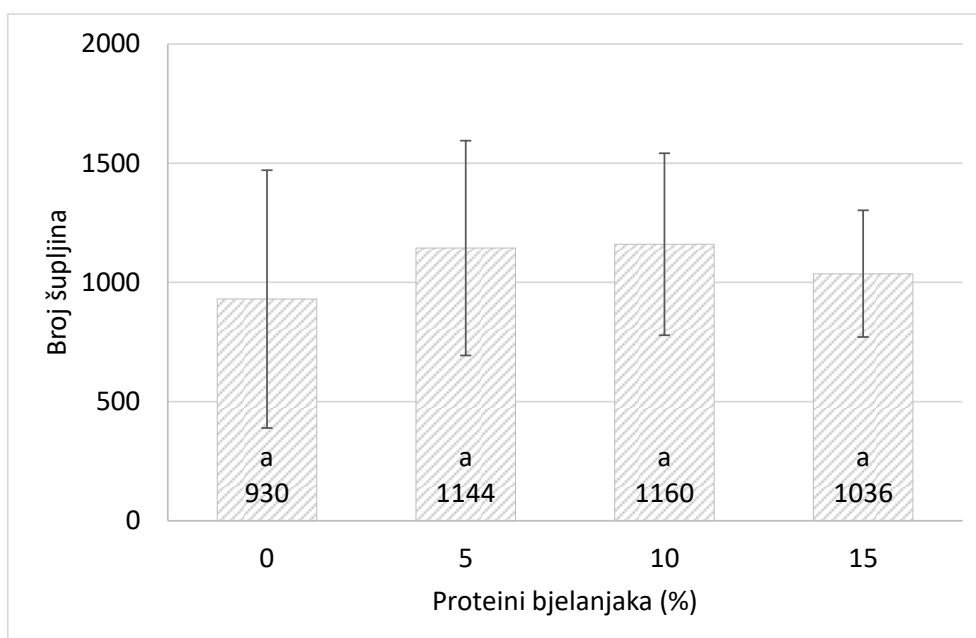


**Slika 17** Rezultati otpora žvakanja bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

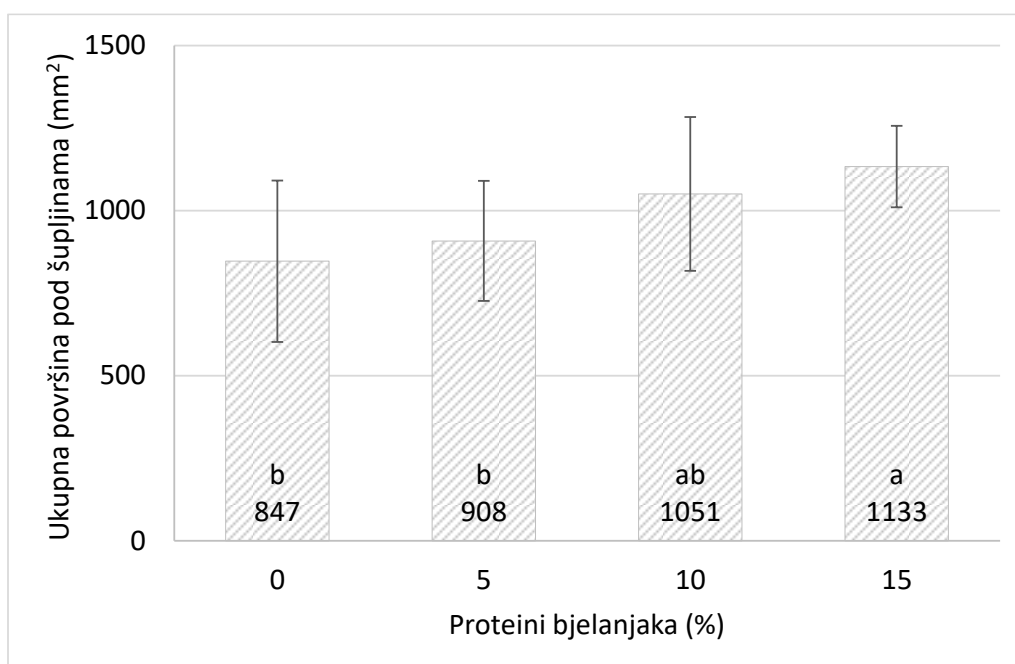


**Slika 18** Rezultati koeficijenta otpornosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

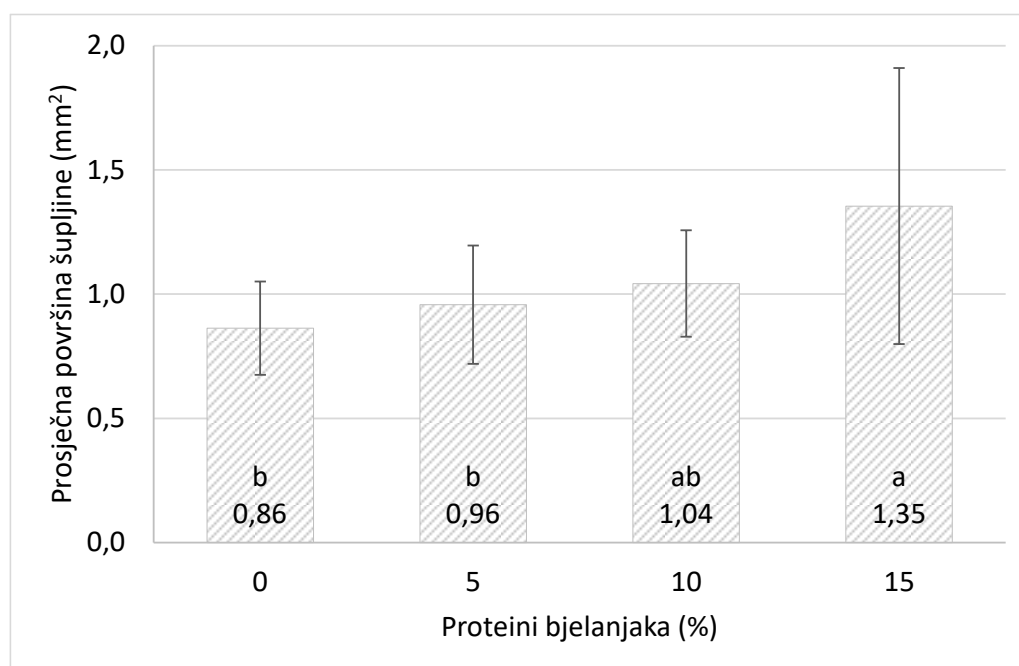
#### 4.2. REZULTATI POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA



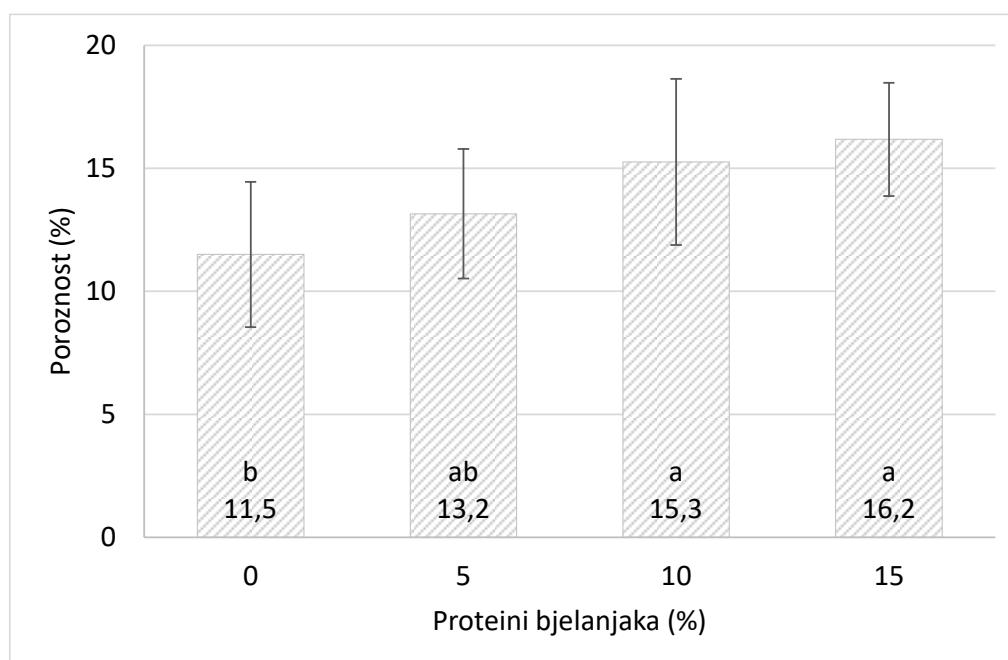
**Slika 19** Broj šupljina određen računalnom analizom slike bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



**Slika 20** Rezultati ukupne površine pod šupljinama bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

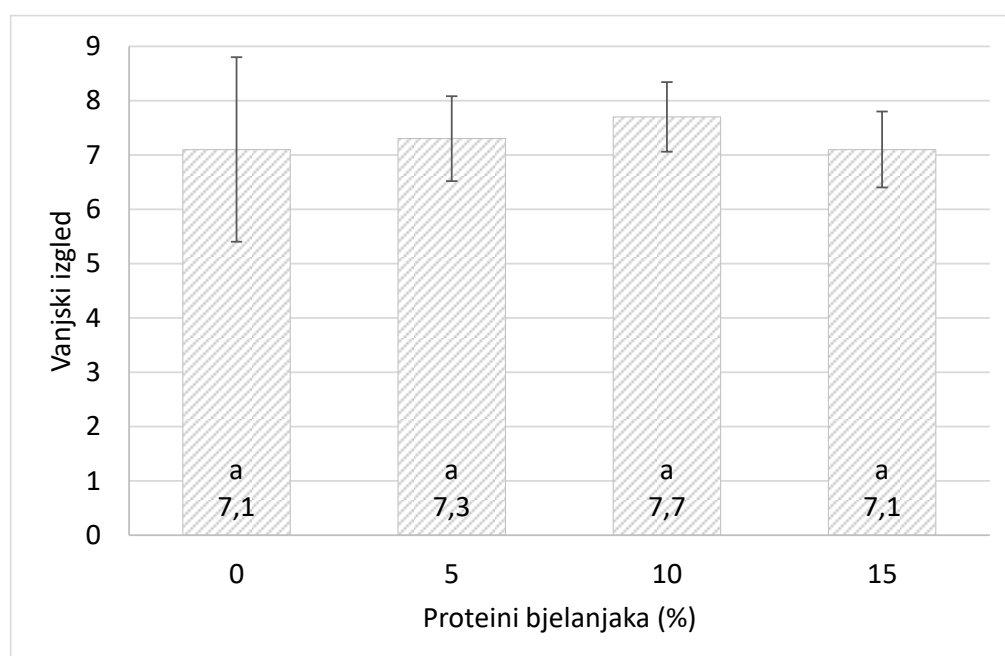


**Slika 21** Rezultati prosječne površine šupljine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

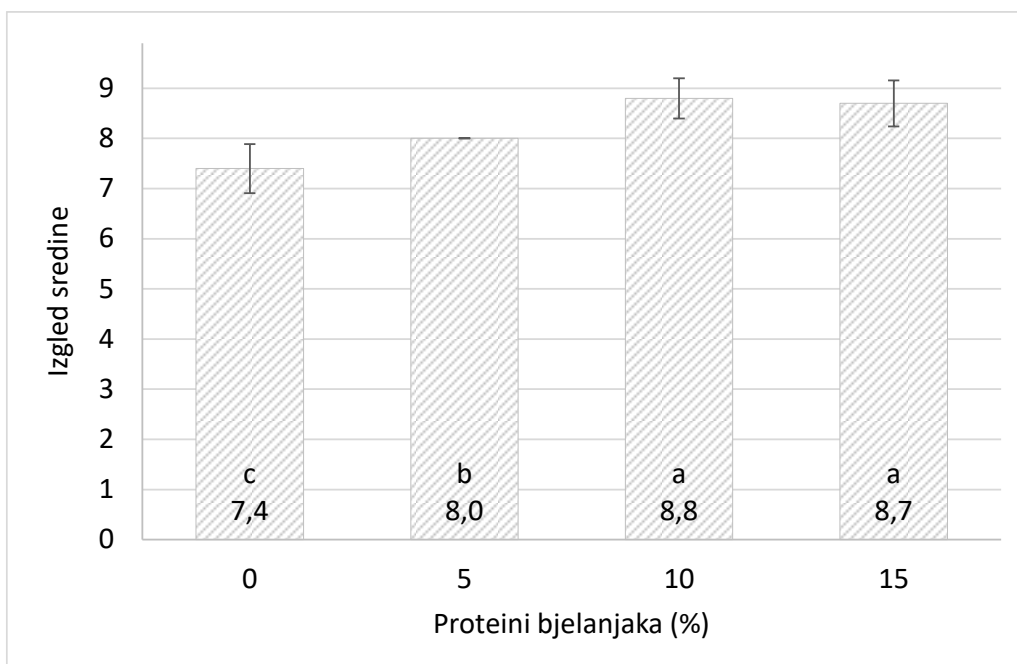


**Slika 22** Rezultati poroznosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

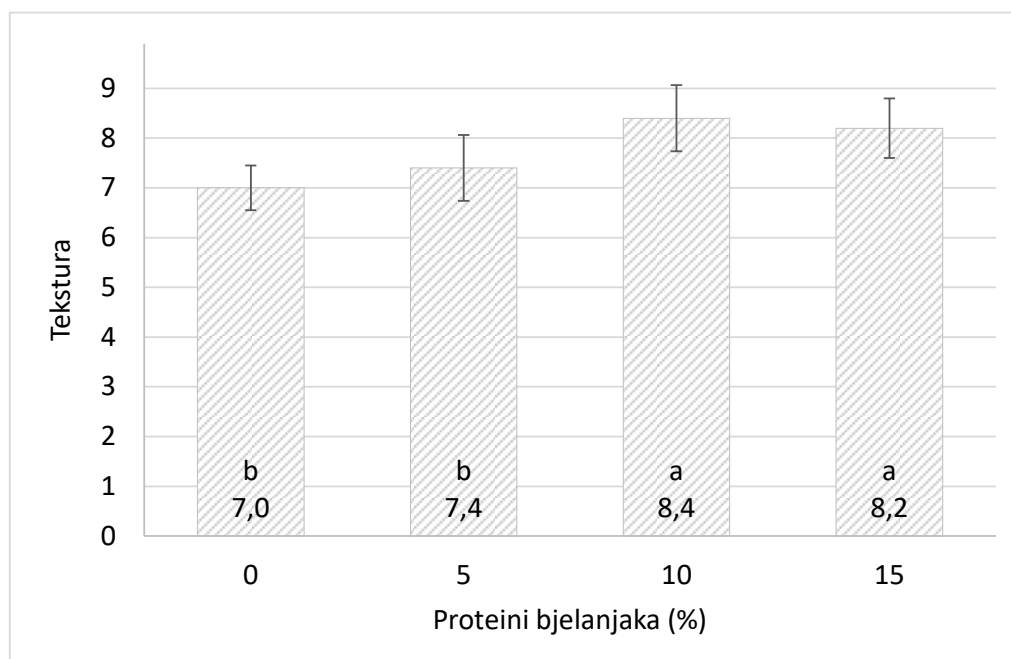
### 4.3. REZULTATI SENZORKE OCJENE KRUHA BEZ GLUTENA



**Slika 23** Rezultati senzorske ocjene vanjskog izgleda bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

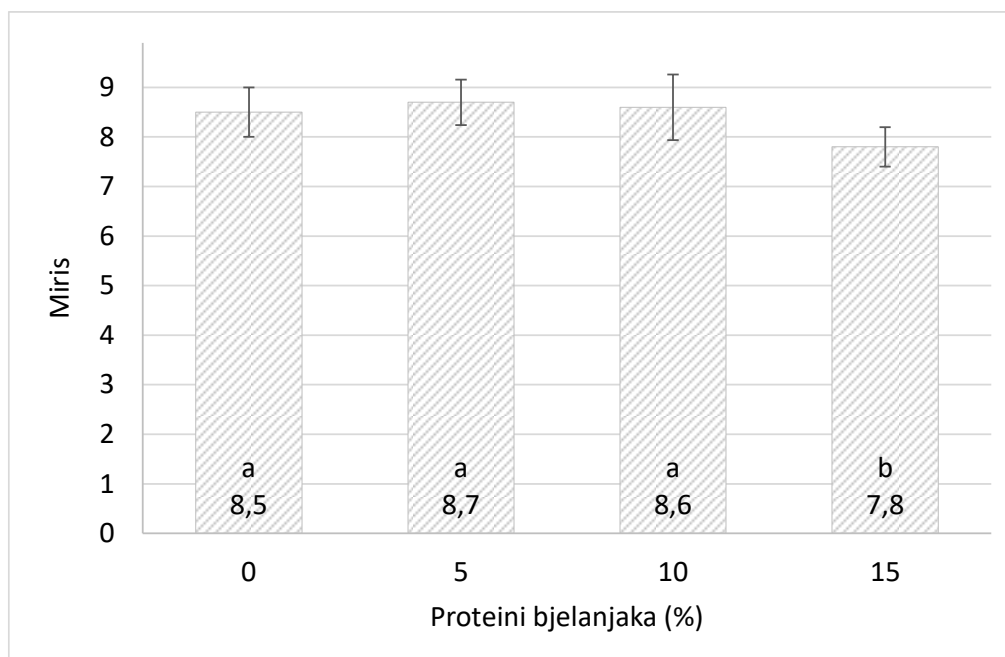


**Slika 24** Rezultati senzorske ocjene izgleda sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

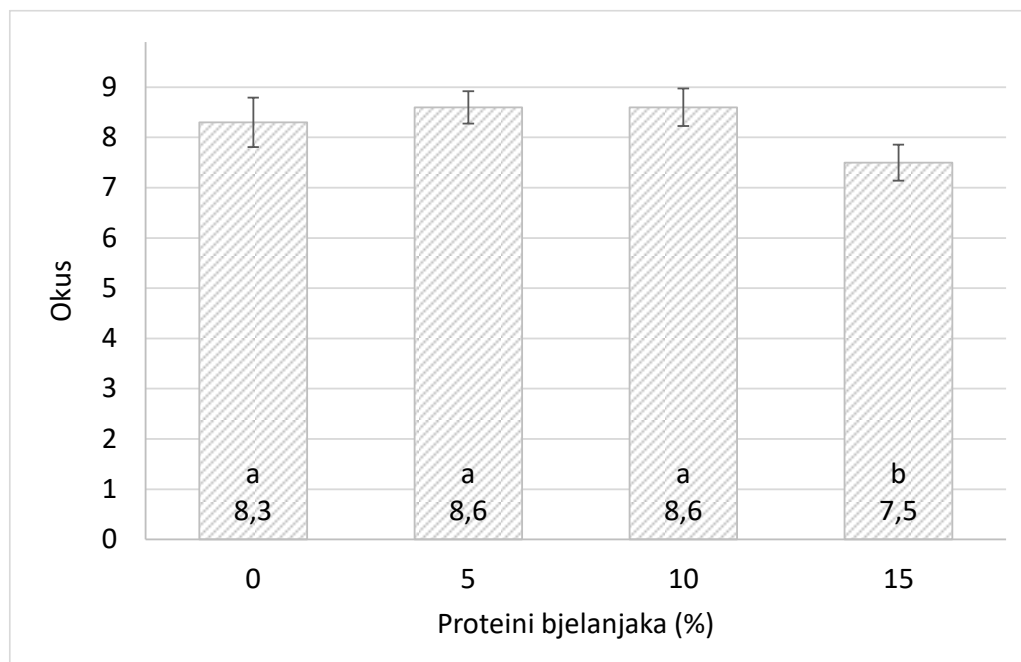


**Slika 25** Rezultati senzorske ocjene teksture bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjaka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

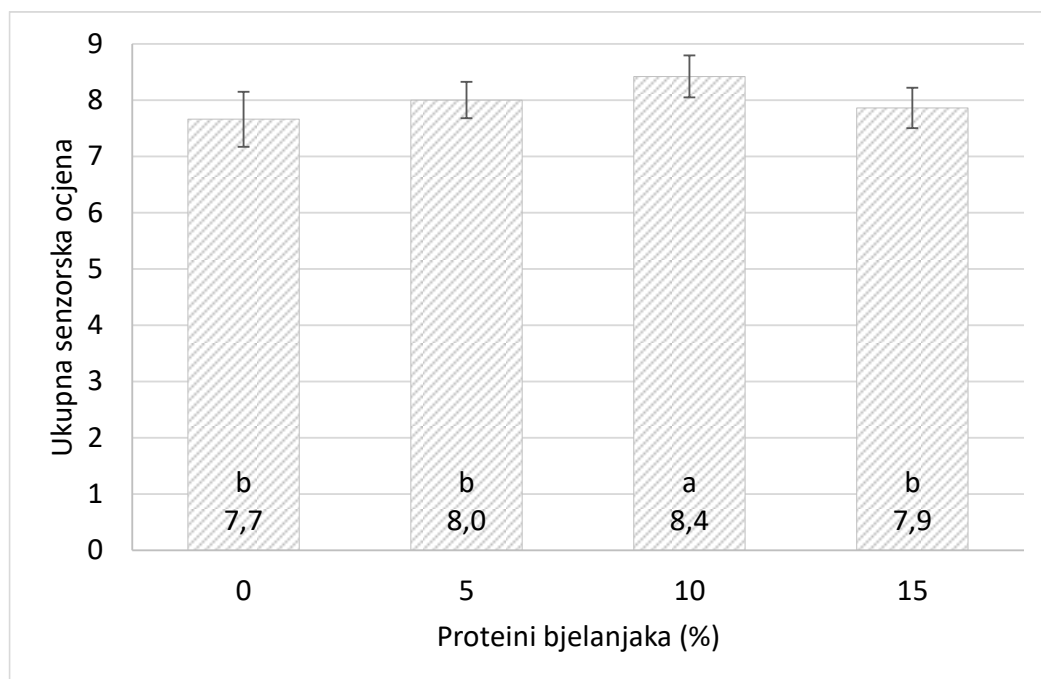




**Slika 26** Rezultati senzorske ocjene mirisa bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



**Slika 27** Rezultati senzorske ocjene okusa bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)



**Slika 28** Rezultati ukupne senzorske ocjene bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka (prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu)

## **5. RASPRAVA**

Cilj ovog diplomskog istraživanja bio je analizirati utjecaj različitih udjela proteina iz bjelanjka jajeta na karakteristike bezglutenskog kruha proizvedenog od rižinog brašna i kukuruznog škroba. Konkretno, proučavane su tri koncentracije bjelanjka jajeta: 5%, 10% i 15%. Za pripremu uzoraka bezglutenskog kruha korištene su sirovine navedene u **Tablici 1**.

Iz rezultata analize specifičnog volumena bezglutenskog kruha s dodatkom bjelanjka jajeta prikazanih na **Slici 4**, utvrđeno je da je povećanjem udjela dodatka proteina bjelanjka došlo do porasta specifičnog volumena od 1,44 cm<sup>3</sup> (za kontrolni uzorak) do 1,67 cm<sup>3</sup> (za uzorke s 15% dodatka proteina bjelanjka jajeta) (Monteiro i sur, m 2021). Slične rezultate dobili su i Ziobro i sur. (2015), koju su zaključili da kruh proizveden s upotrebom sojinog proteina i kolagena imao je manji volumen, dok je dodatak albumina uzrokovao njegov porast u usporedbi s kontrolom.

Iz rezultata analize omjera visine i širine (h/d) bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta prikazanih na **Slici 5** utvrđeno je da je povećanjem udjela dodatka proteina bjelanjka jajeta došlo do statistički značajnih razlika između analiziranih uzoraka. Veći udio dodatka proteina bjelanjka jajeta povećavao je h/omjer. Najveće vrijednosti h/d omjera od 1,19 zabilježene su kod uzoraka s 15% dodatka proteina bjelanjka jajeta, dok su najmanje vrijednosti zabilježene kod kontrolnog uzorka, 0,94.

Iz rezultata prikazanih na **Slikama 6-9** utvrđeno je da je protein bjelanjka jajeta utjecao na gotovo sve CIELab parametre boje površine kruha bez glutena, kao i na ukupnu promjenu boje. Vrijednosti svjetline površine kretale su se u rasponu od 40,7 (za uzorke s 15% proteina bjelanjka jajeta) do 70,0 (za kontrolni uzorak). Porast udjela proteina bjelanjka jajeta uzrokovao je smanjenje svjetline površine kruha, odnosno smanjenje L\* vrijednosti, pri čemu su najtamniji uzorci bili oni sa 15% dodatka proteina bjelanjka jajeta (L\*=40,7). Osim toga, utvrđeno je povećanje kromatske komponente zeleno-crvene boje (a\*) i smanjenje kromatske komponente plavo-žute boje (b\*), u odnosu na kontrolni uzorak.

Rezultati prikazani na **Slikama 10-12** ukazuju da je protein bjelanjka jajeta utjecao na gotovo sve CIELab parametre boje sredine kruha bez glutena, kao i na ukupnu promjenu boje. Svjetlina sredine kruha kretala se u rasponu od 74,4 (za kontrolni uzorak) do 75,8 (za uzorke s 15% proteina bjelanjka jajeta). Porast udjela proteina bjelanjka jajeta uzrokovao je povećanje svjetline površine kruha, odnosno smanjenje L\* vrijednosti, pri čemu su najtamniji uzorci bili oni sa 0% proteina bjelanjka jajeta, tj. kontrolni uzorci (L\*=74,4). Osim toga, utvrđeno je smanjenje kromatske komponente zeleno-crvene boje (a\*) i povećanje kromatske

komponente plavo-žute boje ( $b^*$ ), u odnosu na kontrolni uzorak. Rezultati ukupne promjene boje sredine kruha (**Slika 13**) ukazuju na to da povećanje udjela dodatka proteina bjelanjka jajeta utječe na sve veće razlike u boji sredine kruha u odnosu na kontrolni uzorak. Vrijednosti ukupne promjene boje sredine kruha kretale su se u rasponu od 1,6 (za uzorke s 5% proteina bjelanjka jajeta) do 3,7 (za uzorke s 15% proteina bjelanjka jajeta).

Na **Slikama 14-18** prikazani su rezultati analize teksturalnog profila kruha bez glutena. Utvrđeno je da se čvrstoća kruha smanjuje porastom udjela proteina bjelanjka jajeta, pri čemu su uzorci s 15% bjelanjka jajeta imali najmanju čvrstoću (5,3 N). U radu Ziobro i sur., (2013) utvrđeno je da dodatak proteina bezglutenskom kruhu značajno smanjuje čvrstoću kruha. Porast udjela proteina bjelanjka jajeta rezultirao je povećanjem elastičnosti, dok je kohezivnost kruha bez glutena opadala. Otpor žvakanju bio je direktno proporcionalan čvrstoći i elastičnosti kruha, a obrnuto proporcionalan kohezivnosti, pri čemu su uzorci s 15% bjelanjka jajeta imali najmanji otpor žvakanju (2,9 N). Promjene udjela proteina bjelanjka jajeta u recepturi nisu utjecale na koeficijent otpornosti kruha bez glutena. Dobiveni rezultati analize teksture bezglutenskog kruha s dodatkom proteina bjelanjka jajeta su u skladu s nalazima iz relevantnih istraživanja (Storck i sur., 2013).

Broj šupljina (**Slika 19**) bio je najveći u uzorku koji je sadržavao 10% bjelanjka jajeta (1160), a najmanji kod kontrolnog uzorka (930). Međutim, nije utvrđena statistički značajna razlika u utjecaju udjela bjelanjka jajeta na broj šupljina bezglutenskog kruha. Ukupna površina pod šupljinama ( $\text{mm}^2$ ) rasla je povećanjem udjela bjelanjka jajeta u uzorcima bezglutenskog kruha (**Slika 20**). Najveća ukupna površina pod šupljinama zabilježena je kod uzorka kruha bez glutena s dodatkom 15% bjelanjka jajeta (1133  $\text{mm}^2$ ), a najmanja kod kontrolnog uzorka (847). Prosječna površina šupljina (**Slika 21**) kod uzorka bezglutenskog kruha rasla je povećanjem udjela bjelanjka jajeta, pri čemu su uzorci s 15% bjelanjka jajeta imali prosječnu površinu od 1,35  $\text{mm}^2$ . Rezultati poroznosti bezglutenskog kruha s dodatkom bjelanjka jajeta prikazani su na **Slici 22** i kretali su se u rasponu od 11,5% (za kontrolni uzorak) do 16,2% (za uzorke s 15% bjelanjka jajeta). Dobiveni rezultati utjecaja dodatka proteina bjelanjka jajeta na izgled strukture sredine kruha bez glutena u skladu su s postojećom literaturom. Utjecaj dodatka proteina na poroznost bezglutenskog kruha istraživali su Ziobro i sur. (2015), te su utvrdili da dodatak proteina povećava poroznost.

Na **Slikama 23-28** prikazane su ocjene senzorskog dojma kruha bez glutena s dodatkom bjelanjka jajeta. Uzorci s dodatkom 10% bjelanjka jajeta dobili su najbolje ocjene za vanjski izgled (7,7), izgled sredine (8,8), teksturu (8,4), okus (8,6) i ukupan senzorski dojam (8,4). Prema dobivenim rezultatima senzorskog ocjenjivanja gotovih proizvoda u istraživanju Torbice i sur. (2010), koji se temeljio na bezglutenskom kruhu formuliranom s rižinim i heljdinim brašnom, zaključeno je da je svih šest ispitanih kombinacija bezglutenskog kruha senzorski prihvatljivo. Nadalje, primijećeno je da je povećanje količine heljdinog brašna (HBF) u testiranim smjesama rezultiralo smanjenjem ocjena za okus i aromu, dok je povećanje udjela HBF-a od 10% na 20% značajno poboljšalo senzorske karakteristike okusa, zbog intenziteta aromatičnog okusa karakterističnog za HBF.

## **6. ZAKLJUČCI**

Iz ovog diplomskog istraživanja možemo zaključiti da dodatak bjelanjka jajeta bezglutenskom kruhu od rižinog brašna i kukuruznog škroba rezultira sljedećim promjenama:

- Povećanje specifičnog volumena: Povećanjem udjela bjelanjka jajeta došlo je do znatnog povećanja specifičnog volumena kruha. To se može pripisati proteinskim svojstvima bjelanjka jajeta koja doprinose boljem zadržavanju plinova tijekom pečenja, što rezultira povećanim volumenom kruha.
- Promjene u omjeru visine i širine: Dodatak bjelanjka jajeta uzrokovao je povećanje omjera visine i širine kruha, što sugerira da je kruh postao viši i manje kompaktan. Ovo se može povezati s poboljšanom teksturom i strukturom kruha.
- Promjene u boji: Bjelanjak jajeta utjecao je na boju kako površine tako i sredine kruha. Svjetlina površine smanjila se s povećanjem udjela bjelanjka jajeta, dok su se kromatske komponente promijenile, rezultirajući tamnijom bojom. Slične promjene primijećene su i u sredini kruha.
- Promjene u teksturi: Dodatak bjelanjka jajeta smanjio je čvrstoću kruha, povećao elastičnost te smanjio kohezivnost. Otpor žvakanju bio je niži u uzorcima s većim udjelom bjelanjka jajeta. Analiza strukture sredine kruha pokazala je da je dodatak bjelanjka jajeta povećao broj šupljina i poroznost.
- Senzorska prihvatljivost: Svi uzorci bezglutenskog kruha s dodatkom bjelanjka jajeta bili su senzorski prihvatljivi. Uzorci s 10% bjelanjka jajeta dobili su najbolje ocjene za vanjski izgled, izgled sredine, teksturu, okus i ukupan senzorski dojam.

Ovi rezultati ukazuju da dodatak bjelanjka jajeta poboljšava volumen, teksturu i senzorski dojam bezglutenskog kruha, a promjene u boji i strukturi kruha rezultat su interakcija bjelanjka jajeta s ostalim sastojcima u recepturi. Sve ove promjene doprinose boljoj kvaliteti i senzorskoj prihvatljivosti bezglutenskog kruha proizvedenog od rižinog brašna i kukuruznog škroba.



## **7. LITERATURA**

- Anton AA, Artfield SD: Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 59, 11-23, 2008.
- Arendt EK, Dal Bello: *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, Science Direct, Ireland, 2008.
- Barbarić I: Celijakija – pregled i predviđanja, *Medicina Fluminensis*, 44(3-4): 229-234, 2008.
- Calderón-Domínguez G, Chanona-Pérez J, Ramos-Cruz AL, López-Lara AI., Tlapale-Valdivia AD, Gutiérrez-López GF: Fractal and image analysis of Mexican sweet bread bubble distribution; influence of fermentation and mixing time. U Campbell GM, Scanlon M, Pyle L, Niranjana K (urednik), *Bubbles in food 2: Novelty, health and luxury* (pp. 73 – 81). St.Paul: American Association of Cereal Chemists, 2008.
- Conte P, Fadda C, Drabińska N, Krupa-Kozak U: Technological and Nutritional Challenges, and Novelty in Gluten-Free Breadmaking, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 69 (1): 5–21., 2019.
- Culetu A, Duta DE, Papageorgiou M, Varzakas T: The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Indeks, *Foods* 10 (12): 3121., 2021.
- Čiča Hanousek K, Stanzer D, Markov K, Frece J, Mrvčić J: Mikrobiološka kvaliteta komercijalnog pekarskog kvasca na hrvatskom tržištu, *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 10(3-4), 2015.
- Datta AK, Sahin S, Sumnu G, Keskin S O: Porousmedia characterization of breads baked using novel heating methods. *Journal of Food Engineering*, 79, 106 – 116, 2007.
- Dolinšek J, Dolinšek J, Rižnik P, Krenčnik T, Klemenak M, Kocuvan Mijatov MA, Ornik S, i sur.: Vodič za život s celijakijom. *CeliVita-Život s celijakijom*, Zagreb 2021.
- Filipčev B, Pojić M, Šimurina O, Mišan A, Mandić A: Psyllium as an Improver in Gluten-Free Breads: Effect on Volume, Crumb Texture, Moisture Binding and Staling Kinetics, *Science Direct*, 2021.
- Fratelli C, Santos FG, Muniz DG, Habu S, Braga ARC, Capriles VD: Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread. *Foods* 10(5):954, 2021.
- Gonzales-Barron U, Butler F: A comparison of seventhresholding techniques with the k-means clustering algo-rithm for measurement of bread-crumbs features by digitalimage analysis. *Journal of Food Engineering*, 74 (2), 268 – 278, 2006.
- Herawati, H: Hydrocolloids to The Effects of Gluten Free Bakery Products, *Journal of Physics: Conference Series* 1295 (1): 012052, 2019.
- Horstmann SW, Lynch KM, Arendt EK: Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products, *Foods* 6 (4): 29, 2017.
- Houben A, Höchstötter A, Becker T.: Possibilities to Increase the Quality in Gluten-Free Bread Production, *European Food Research and Technology* 235 (2): 195–208, 2012.
- Hüttner EK, Arendt EK: Recent advances in gluten-free baking and the current status of oats, *Trends in Food Science & Technology* 21 (6): 303–12, 2010.
- Lagrain B, Boeckx L, Wilderjans E, Delcour JA, Lauriks W: Non-contact ultrasound characterization of bread crumb: application of the Biot-Allard model. *Food Research International*, 39 , 1067 – 1075, 2006.

- Lasić D, Vujnović F, Kuharić Ž, Prskalo I, Benić M, Vasiljev V.: Analiza sadržaja soli u kruhu i pecivu nakon primjene novoga nacionalnog pravilnika o žitaricama i proizvodima od žitarica, *Journal of Applied Health Sciences* 6 (1): 117–27, 2020.
- Matos ME, Rosell CM: Understanding Gluten-Free Dough for Reaching Breads with Physical Quality and Nutritional Balance, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (4): 653–61, 2015.
- MDSS, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi RH: Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, *Narodne novine* 46/07, 2008.
- Monteiro JS, Farage P, Zandonadi RP, Botelho RBA, de Oliveira L, de L, Raposo A, Araújo WMC: A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods*, 10(3), 614, 2021.
- Onyango C, Mutungi C, Unbehend G, Lindhauer MG: Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch, *LWT - Food Science and Technology, Innovative baking technologies: new starches, functional bread and cereal products*, 44 (3): 681–86, 2011.
- Phongthai S, D'Amico S, Schoenlechner R, Rawdkuen S: Comparative Study of Rice Bran Protein Concentrate and Egg Albumin on Gluten-Free Bread Properties, *Journal of Cereal Science* 72 (11): 38–45, 2016.
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: Gluten-related disorders, *Medicina Fluminensis* 55 (1): 53–58, 2019.
- Puhač Bogadi N: Upravljanje rizikom od glutena u prehrambenoj industriji, disertacija, *Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb*, 2019.
- Pylar EJ: *Baking science and technology*. Kansas: Sosland, 1988.
- Rogers DE, Day DD, Olewnik MC: Development of an objective crumb grain measurements. *Cereal Foods World*, 40:498 – 501, 1995.
- Ronnie ME, Zainol MK, Mamat H: A Review on the Recent Applications of Gluten-Free Flour, Functional Ingredients and Novel Technologies Approach in the Development of Gluten-Free Bakeryproducts, *Food Research* 5 (5): 43–54, 2021.
- Rosales-Juárez M, González-Mendoza B, López-Guel EC, Lozano-Bautista, F, Chanona-Pérez JJ, Gutiérrez-López G i sur.: Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. *Food and Bioprocess Technology*, 2(1), 152 – 160, 2008.
- Scanlon MG, Aghal MC: Bread properties and crumbstructure. *Food Research International*, 34, 841 – 864, 2001.
- Stantiall SE, Serventi L: Nutritional and Sensory Challenges of Gluten-Free Bakery Products, *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 69 (4): 427–36, 2018.
- Storck CR, da Rosa Zavareze E, Gularte MA, Elias MC, Rosell CM, Guerra Dias AR: Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 346–354, 2013.
- Sungur B: Different Formulations in Gluten-Free Bread Production, *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences* 2 (3): 114–18, 2018.

- Šarić B: Iskorišćenje tropa borovnice i maline u formulaciji bezglutenskog keksa sa dodatkom vrednošću, disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 2016.
- Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: Modificiranje škroba radi proširenja primjene, Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi, izd. 1. (11): 247–58, 2012.
- Takano H, Naito S, Ishida N, Koizumi K, Kano H: Fermentation process and grain structure of baked breads from frozen doughs. *Journal of Food Science*, 67(2), 2725 – 2733, 2002.
- Torbica A, Hadnađev M, Dapčević T: Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6-7), 626–632, 2010.
- Toth M, Vatai G, Koris A: Gluten-Free Bread from Ingredients and Nutrition Point of View, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, studeni, 634, 2020.
- Ziobro R, Juszcak L, Witczak M, Korus J: Non-Gluten Proteins as Structure Forming Agents in Gluten Free Bread, *Journal of Food Science and Technology* 53 (1): 571–80, 2016.
- Ziobro R, Juszcak L, Witczak M, Korus J: Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 571–580, 2015.
- Ziobro R, Witczak T, Juszcak L, Korus J: Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocoll.*32(2):213–220, 2013.
- Žilić S, Hadži-Tašković Šukalović V, Milašinović M, Ignjatović-Mićić D, Maksimović M, Semenčenko V: Effect of Micronisation on the Composition and Properties of the Flour from White, Yellow and Red Maize, *Food Technology and Biotechnology* 48 (2): 198–206, 2010.