

# Utjecaj dodatka koncentrata proteina riže na kvalitetu kruha bez glutena

---

**Mendeš, Marija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:109:989362>

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

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

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

**Marija Mendeš**

**UTJECAJ DODATAKA KONCENTRATA PROTEINA RIŽE NA KVALITETU  
KRUHA BEZ GLUTENA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, siječanj, 2024.

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 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.

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

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

**Pomoć pri izradi:** *Ana Šušak*, dipl. ing., viši stručni suradnik

### Utjecaj dodataka koncentrata proteina riže na kvalitetu kruha bez glutena

*Marija Mendeš*, 0113146854

#### Sažetak:

Proizvodi bez glutena, uključujući i kruh se sve više proizvode i stavljaju na tržište u različitim oblicima. Takvi proizvodi su jedini izvor hrane osobama koje su oboljele od celijakije ili drugih sličnih bolesti. Osim toga smatraju se i zdravijim pa ih konzumiraju i osobe koje nisu osjetljive na gluten. Kako bi se nadomjestila visokoelastična svojstva glutena dodaju se hidrokoloide, enzimi, proteini i drugi dodaci s takvim karakteristikama. Proteini utječu na oblikovanje i senzorske karakteristike, naročito boju. U ovom radu se ispitivao utjecaj koncentrata proteina riže u različitim omjerima u kruhu bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba. Povećanjem koncentracije proteina, smanjuje se specifični volumen i omjer širini i visine kruha, elastičnost i kohezivnost, tijesto je postajalo sve čvršće te je oblikovanje bilo teže, a boja tamnija. Pored toga, dodatak rižinog proteina je povećao broj šupljina i poroznost.

**Ključne riječi:** kruh bez glutena, rižin protein, rižino brašno, kukuruzni škrob

**Rad sadrži:** 43 stranica  
26 slika  
1 tablica  
0 priloga  
27 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** Hrvatski

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

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

**Datum obrane:** 12. siječnja 2024.

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 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:** Ana Šušak, Mag. Ing., higher research associate

### The influence of the addition of rice protein concentrates on the quality of gluten-free bread.

*Marija Mendeš*, 0113146854

**Summary:** Gluten-free products, including bread, are increasingly being produced and marketed in various forms. Such products are the only source of nutrition for people suffering from coeliac disease or similar conditions. They are also considered healthier, leading even those not gluten-sensitive also consume them. To compensate for the viscoelastic properties of gluten, hydrocolloids, enzymes, proteins, and other additives with similar properties are added. Proteins influence the shaping and sensory properties, especially the colour. In this study, the influence of rice protein concentrates in different ratios in gluten-free bread made from rice flour and maize starch was investigated. As the rice protein concentration increased, the specific volume and width-to-height ratio of the bread, elasticity and cohesiveness decrease, the dough became harder and more difficult to shape and the colour darker. The addition of rice protein increased the number of cavities and porosity.

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

**Thesis contains:** 43 pages  
26 figures  
1 table  
0 supplements  
27 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, PhD, full prof.                  | stand-in             |

**Defense date:** January 12, 2024

**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. PROIZVODI BEZ GLUTENA .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Gluten u pekarskim proizvodima.....	4
2.1.2. Uklanjanje glutena.....	5
<b>2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA BEZ GLUTENA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM.....</b>	<b>13</b>
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. ZADATAK.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. MATERIJALI .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. METODE .....</b>	<b>16</b>
3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena .....	16
3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava .....	18
3.3.3. Određivanje poroznost bezglutenskog kruha računalnom analizom slike .....	19
3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena .....	19
3.3.5. Statistička obrada dobivenih rezultata.....	20
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA KRUHA BEZ GLUTENA .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. REZULTATI POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3. REZULTATI SENZORKE Ocjene KRUHA BEZ GLUTENA .....</b>	<b>30</b>
<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>34</b>
<b>6. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>38</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>40</b>

## **1. UVOD**

Kruh je jedna od osnovnih prehrambenih namirnica koja se svakodnevno konzumira diljem svijeta. Dobiva se pečenjem tijesta, a tijesto sadrži brašno, vodu, sol i kvasac (Mondal i Datta, 2008). U proizvodnji kruha se uglavnom koristi pšenično brašno, iako se kruh proizvodi i od drugih vrsta žitarica. Rižino i kukuruzno brašno su najprikladnije vrste za proizvodnju bezglutenskih proizvoda zbog svojih jedinstvenih svojstava kao što su bljutav okus, bijela boja, visoka probavljivost i hipoalergena svojstva (Phongthai i sur., 2016).

Brašno sadrži gluten koji nastaje spajanjem glijadina i glutenina i u najvećoj količini se nalazi u pšenici, raži, ječmu i zobi (Tarabella i Francescato, 2019). Ovaj protein je viskoelastičan i ima važnu ulogu u stvaranju strukture kruha. Gluten ima i negativno svojstvo uzrokovanja alergijske ili autoimune reakcije kod osoba koje su osjetljive na gluten, pa ga se u tim slučajevima nastoji ukloniti iz brašna koja se koriste za proizvodnju bezglutenskih pekarskih proizvoda. Postoji nekoliko vrsta bolesti koje su povezane s glutenom, a to su celijakija, alergija na pšenicu i necelijakijaska osjetljivost na gluten (Ronie i sur., 2021). Celijakija je autoimuna bolest koja je doživotna, a može se dijagnosticirati u bilo kojoj dobi života. Ukoliko osobe koje su osjetljive na gluten unesu ovaj protein u svoj organizam dolazi do oštećenja crijevne sluznice i smanjenja apsorpcije svih nutrijenata, što uzrokuje niz drugih bolesti (Tarabella i Francescato, 2019). Jedini učinkoviti način uklanjanja navedenih simptoma je trajno i doživotno izbjegavanje konzumacije proizvoda koji sadrže gluten.

Zbog sve većeg porasta broja osoba koje su osjetljive na gluten raste proizvodnja, a i prerada proizvoda koji ne sadrže gluten. Takvi pekarski proizvodi zbog nedostatka glutena imaju manji volumen, lošiju teksturu i aromu. U svrhu poboljšanja njihovih svojstava dodaju se različite vrste brašna i škroba ili se mijenjaju procesni parametri tijekom pečenja i fermentacije (Sungur, 2018).

Zadatak ovog diplomskog rada je bio ispitati utjecaj različitih udjela koncentrata proteina riže na kvalitetu kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba.

## **2. TEORIJSKI DIO**



### 2.1. PROIZVODI BEZ GLUTENA

Proizvodi bez glutena su svi proizvodi koji u svom sastavu nemaju gluten, a proizvode se kako bi zadovoljili potrebe onih ljudi koji ne podnose gluten ni proizvode s njegovim sadržajem (Tarabella i Francescato, 2019). Europska unija je 2013. godine donijela uredbu kojom je regulirano označavanje proizvoda bez glutena kako bi potrošači bili adekvatno informirani o navedenoj hrani. Hrana ili lijekovi koji sadrže oznaku „bez glutena“ u svom sastavu ne smiju imati više od 20 ppm glutena (El Khoury i sur., 2018).

Danas su dostupne različite vrste proizvoda bez glutena, naročito kruh i njemu srodni pekarski proizvodi. Takvi pekarski proizvodi imaju niži sadržaj proteina, vlakana i minerala te povišeni glikemijski indeks (Stantiall i Serventi, 2017). Za proizvodnju bezglutenskih proizvoda se upotrebljavaju žitarice i pseudožitarice kao što su riža, kukuruz, proso i amarant (El Khoury, 2018) koje uglavnom imaju mali udio proteina (Wójcik i sur., 2021). Proizvodi bez glutena se znatno razlikuju od pekarskih proizvoda proizvedenih od pšeničnog brašna koji sadrži gluten. Zbog nedostatka glutena, tijesto ne može zadržati zrak i CO<sub>2</sub> koji su nastali fermentacijom kvasca tijekom miješanja i pečenja. Posljedica toga je stvaranje kruha manjeg volumena i lošije kvalitete i teksture. Mrvice takvog kruha su također lošije kvalitete, blijede su te zadržavaju naknadni okus koji je nepoželjan. S nutricionističkog gledišta kruh bez glutena ima manji udio proteina, folata, željeza i dijetalnih vlakana (Toth i sur., 2020). Jedan od najzahtjevnijih zadataka u razvoju proizvoda bez glutena je osigurati odgovarajuću kvalitetu, zadržati zadovoljavajuća nutritivna svojstva i omogućiti okus koji je prihvatljiv potrošačima (Ronie i sur., 2021).

#### 2.1.1. Gluten u pekarskim proizvodima

Gluten je bjelančevina koja se nalazi u zrnima pšenice, ječma, raži te srodnih žitarica kao što su pir, dvozrni pir, pšenoraž, jednozrna pšenica, kamut i durum pšenica (Dolinšek i sur., 2022). Gluten je glavni skladišni protein pšenice i čini 80-85 % ukupnih proteina ove žitarice (Arendt i Dal Bello, 2008).

Njegova struktura se razvija nakon dodavanja vode u procesu zamjesa tijesta i njegovim pečenjem (Stantiall i Serventi, 2017).

Gluten čine dvije funkcionalne skupine, monomerni glijadini i polimerni glutenini. Glijadin je zadužen za održavanje viskoznih svojstava i rastezljivosti tijesta, dok glutenin osigurava elastičnost i jakost tijesta. Udjeli frakcija u brašnu znatno utječu na fizikalna svojstva konačnog proizvoda, što znači da je tijesto čvršće ukoliko sadrži veći udio glutenina (Arendt i Dal Bello, 2008).

Mehanička energija koja se dovodi tijekom miješanja pozitivno utječe na proces hidratacije prolamina tj. glijadina i glutenina i potiče njihove konformacijske promjene. Na taj način se stvaraju nekovalentne, kovalentne i vodikove veze koje stvaraju proteinsku mrežu nazvanu gluten. Gluten ima sposobnost zadržavanja plinova koji nastaju tijekom fermentacije, djelujući tako na volumen, teksturu i samu mekoću kruha. Zbog svih svojih svojstava, gluten posjeduje važna tehnološka svojstva kojima je vrlo teško pronaći odgovarajuću zamjenu pri proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena (Monteiro i sur., 2021)

### 2.1.2. Uklanjanje glutena

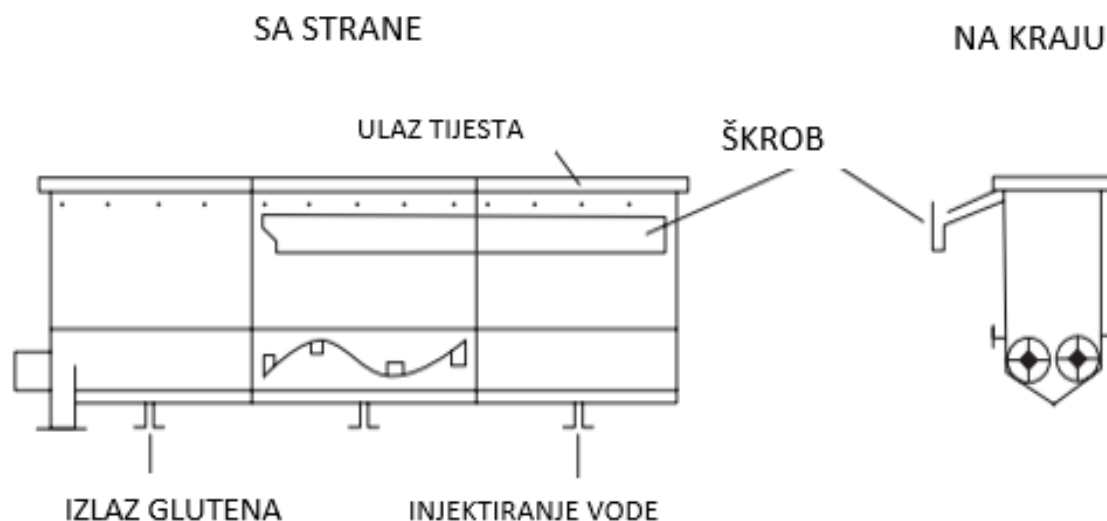
Razvijen je niz postupaka za učinkovito uklanjanje glutena, no danas nisu svi u upotrebi zbog dobivanja proizvoda lošije kvalitete, problema s otpadnim vodama i visokih operativnih troškova. Jedan od primjera je tzv. „Martinov“ proces ispiranja koji je prikazan na **slici 1**.

Postupak započinje u kontinuiranim miješalicama formiranjem glatkog, elastičnog i vrlo kohezivnog tijesta. Sljedeća faza je ispiranje koji se odvija u Martinovoj perilici. Cilj ove faze je oslobađanje škroba iz glutena bez raspršivanja ili njegovog lomljenja (Tarabella i Fracescato, 2019).

Martinova perilica se sastoji se od dubokog i uskog plovila s rotorima na kojima se nalaze lopatice. Oslobođeni škrob se skuplja i pere vodom koja je ubrizgana s dna perilice. Gluten je na kraju cijelog procesa mokr i izlazi iz perilice s minimalnim sadržajem proteina od 75 % suhe tvari. Za provođenje ovog postupka je potrebna relativno velika količina vode koja može negativno utjecati na obnavljanje škroba i učinkovito rukovanje.

Osim gore navedenog postupka u industriji se provodi još jedan postupak ispiranja. Prvi korak je stvaranje tijesta koje je nastalo miješanjem vode i brašna koji su dodani u istim udjelima.

Da bi gluten izdržao snažno ispiranje, tijesto se formira mehanički. Zatim se tijesto ispiri vodom, koja se dodaje sve dok razina proteina u glutenu ne bude najmanje 75 % suhe tvari (Tarabella i Francescato, 2019).



**Slika 1** Martinov proces ispiranja glutena (Tarabella i Francescato, 2019).

### 2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA BEZ GLUTENA

Pekarski proizvodi, uključujući i kruh se proizvode od mlinskih proizvoda primjenom odgovarajućih tehnoloških postupaka uz dodatak vode, soli, pekarskog kvasca i mnogih drugih sastojaka kako bi se poboljšala senzorna i nutritivna svojstva konačnog proizvoda. Kruh bez glutena zahtijeva upotrebu brašna žitarica koja ne sadrže gluten kao što su riža, kukuruz, amarant, kvinoja ili heljda. U odgovarajuću količinu brašna se dodaje voda, koja otapa druge sastojke, omogućuje hidrataciju proteina i ugljikohidrata, a dovodi do smanjene viskoznosti i povećane rastezljivosti tijesta (Arendt i Dal Bello, 2008). Sol utječe na boju, poboljšanje okusa i jačanje glutena dok se pekarski kvasac koristi za rahljenje i dizanje tijesta (Mondal i Datta, 2008).

Proizvodnja kruha bez glutena se razlikuje od proizvodnje standardnog pšeničnog kruha. Kruhu bez glutena je potrebno kraće vrijeme za miješanje, fermentaciju i samo pečenje zbog njegove vodenije strukture (Arendt i Dal Bello, 2008).

Škrob, hidrokoloide, proteini, a ponekad enzimi i emulgatori se uglavnom koriste kao zamjena za gluten tijekom proizvodnje kruha bez glutena zbog njihove sposobnosti oponašanja viskoelastičnih svojstava koja su karakteristična za glutensku mrežu (El Khoury i sur., 2018; Fratelli i sur., 2021). Navedeni sastojci se koriste u različitim kombinacijama s ciljem poboljšanja reoloških svojstava proizvoda (El Khoury i sur., 2018).

Riža je žitarica koja se u najvećoj mjeri uzgaja u jugoistočnoj Aziji i ubire se zajedno s pljevicom (ljuskom). Nakon ubiranja se prvo uklanja pljevica, kako bi se dobila smeđa riža. Zatim se još uklanjaju ovojnica (posije) i klica za dobivanje karakterističnog bijelog rižinog zrna (Gallagher, 2009). Na temelju veličine zrna riža se može podijeliti na dugu (duža od 6,6 mm), srednju (između 5,5 i 6,6) ili kratku koja je kraća od 5,5 mm (Arendt i Dal Bello, 2008). Riža ima relativno nizak sadržaj proteina što znači da nema ni viskoelastična svojstva poput pšeničnog brašna. Jedan dio znanstvenika je provođenjem istraživanja zaključio da proteini riže inhibiraju bubrenje granula rižinog škroba, dok drugi tvrde da proteini riže nakon kuhanja imaju sposobnost formiranja gušće strukture, te da djeluju manje negativno na čvrstoću i ujednačenost škroba. Osim toga utvrđeno je i da sorta riže uveliko utječe na svojstva brašna, a od onih koje imaju nizak sadržaj amiloze i kojima se potrebna niža temperatura želatinizacije se proizvode kruhovi s najboljim svojstvima (Gallagher, 2009).

Rižino brašno se obično dobiva mljevenjem bijelih, poliranih zrna, no ponekad se i smeđa zrna koriste za proizvodnju brašna. Brašno od smeđe riže sadrži veliku količinu vitamina i vlakana, koji su uglavnom smješteni u vanjskim dijelovima zrna. Ovi spojevi daju poseban okus, boju i teksturu gotovim, pečenim proizvodima, ali takvo brašno ima vrlo kratak rok trajanja (Arendt i Dal Bello, 2008). Rok trajanja je kratak zbog prisutnosti aktivne lipaze i mogućnosti odvijanja procesa lipolize (Gallagher, 2009). Rižino brašno je jedno od najprikladnijih brašna žitarica za proizvodnju proizvoda bez glutena zbog hipoalergenih svojstava, bljutavog okusa, bijele boje, probavljivosti i vrlo lake dostupnosti (Sungur, 2018). Usprkos mnogim prednostima, brašno ove žitarice sadrži proteine koji imaju relativno loša funkcionalna svojstva, te tijekom prerade

hrane ne daju uvijek poželjna svojstva. Proteini su netopljivi u vodi zbog hidrofobnosti, pa ne mogu formirati viskoelastično tijesto koje je neophodno za zadržavanje plina koji nastaje tijekom fermentacije koja se odvija pomoću kvasca. Tijekom miješanja rižinog brašna s vodom se ne stvara proteinska mreža zbog niskog sadržaja prolamina. Posljedica toga je stvaranje proizvoda malog specifičnog volumena. Struktura kruha se sastoji od vrlo kompaktnih mrvica i nije mekana i otvorena kao kod kruha od pšenice (He i Hosoney, 1991).

Kukuruz je druga najraširenija žitarica koja se uzgaja diljem svijeta. Zbog visoke produktivnosti, kukuruz predstavlja najekonomičniju žitaricu za proizvodnju. Kukuruz ima najveća zrna od svih žitarica. Spljoštenog su oblika, a prosječna težina zrna se kreće od 250 do 300 mg. Glavni dijelovi zrna kukuruza su perikarp, endosperm i klica. Endosperm je glavni dio, a sastoji se od rožnatog (tvrdog) i brašnatog (mekog) endosperma. Zrna kukuruza imaju visok stupanj varijabilnosti i podijeljena su u pet osnovnih tipova, a to su dent, flint, flour, sweet i po. Unutar svake vrste zrna, boja može varirati od žute, bijele, crvene do plave (Arendt i Dal Bello, 2008). Dominantni proteini su prolamini koji se u kukuruzu nazivaju zeini. Zein karakteriziraju pojedina svojstva pšeničnog glutena i može formirati viskoelastične niti pri višim temperaturama (Arendt i Dal Bello, 2008). Kukuruz se vrlo često koristi i zbog svoje prirodne žute boje koja potječe od  $\beta$ -karotena, luteina i zeaksantina (Afitah i Rathawati, 2017). Kukuruzno brašno se proizvodi zbog dobrih nutritivnih svojstava i okusa, a nastaje procesom mljevenja zrna. Tijekom mljevenja nastalo brašno vrlo brzo propada zbog enzimske aktivnosti. Kako bi se provela deaktivacija enzima i dobilo odgovarajuće stabilno brašno, potrebno je tretirati ga izravnim dodiranjem s odgovarajućim izvorom topline. Posljedica toplinskog tretmana su modificirana funkcionalna svojstva brašna kao što su dobra obrada, poboljšana svojstva tijesta i poboljšan okus (Žilić i sur., 2010).

Kukuruzno brašno sadrži visoke razine mnogih važnih vitamina i minerala, uključujući kalij, fosfor, cink, kalcij, željezo, tiamin, niacin, vitamin B6 i folat (Sabanis i Tzia, 2009).

Amarant, kvinoja i heljda su pseudožitarice koje posjeduju karakteristike koje su pogodne za proizvodnju proizvoda bez glutena. Ove žitarice i brašno su izvrstan izvor vlakana, minerala, polifenolnih spojeva i vitamina. Pseudožitarice pridonose većoj hranjivosti konačnog proizvoda a utječu i na stvaranje znatno mekše strukture i stvaranja većeg volumena kruha

(Toth i sur., 2020). Amarant i kvinoja se najviše uzgajaju u Latinskoj Americi, no zbog njihove visoke nutritivne vrijednosti se njihov uzgoj proširuje i na druge zemlje. Heljda se uzgaja u srednjoj i istočnoj Europi, a njezino izvorno podrijetlo je Azija. Sjemenke amaranta imaju oblik leće i promjera su oko 1 mm. Amarant sadrži najveći udio proteina, a sastoji se od 40 % albumina, 20 % globulina, 25-35 % glutelina i samo 2-3 % prolina. U klici i ovojnici sjemenke nalazi se 65 % ukupnih proteina, dok se preostalih 35 % nalazi u endospermu koji je bogat škrobom. Svi pseudožiti proteini su lako topljivi pa se stoga mogu koristiti tijekom proizvodnje funkcionalne hrane. Ovisno o vrsti meljave dobiva se brašno koje se može koristiti u proizvodnji kruha ili nekih drugih prehrambenih proizvoda kao što su juhe, krekeri, palačinke, tjestenina, žitarice za doručak, keksi i sl. (Arendt i Dal Bello, 2008).

Brašno kvinoje ne sadrži gluten niti bilo koje druge alergene te je pogodno za proizvodnju proizvoda koje konzumiraju osobe oboljele od celijakije. Kvinojin škrob zahtijeva veću temperaturu želatinizacije, a ima ga u znatno većem udjelu kao i proteina za razliku od stalih žitarica. Kvinoja ima nizak udio amiloze koja je odgovorna za visoku sposobnost vezanja vode, veliku moć bubrenja, visoku osjetljivost na enzime i izvrsnu stabilnost zamrzavanja. Globulini i albumini su najzastupljeniji proteini. Od vitamina i minerala su najzastupljeniji kalcij, magnezij, natrij i željezo, zatim vitamin C, riboflavin te vitamin E koji je poznat kao vrlo dobar antioksidans. Sjeme kvinoje sadrži i veći udio masti (Arendt i Dal Bello, 2008). Heljda pripada obitelji *Polygonaceae*, a za ljudsku prehranu se uzgajaju dvije vrste, a to su obična heljda (*Fagopyrum esculentum* Moench) i tatarska heljda (*Fagopyrum tataricum* Gaertner) (Gallagher, 2009). Heljda je bogata škrobom koji se sastoji od amiloze i amilopektina, koji su prisutni u istim udjelima. Sličan je visokoamiloznom škrobu, čime je omogućena veća sposobnost želiranja i bubrenja granula tijekom odvijanja želatinizacije. Granule heljdinog škroba su poligonalnog oblika, vrlo su male i često su agregirane. Najzastupljeni proteini sjemena heljde su globulini topljivi u soli (Arendt i Dal Bello, 2008).

Oljuštena heljda se razlikuje od neoljuštene te doprinosi visokoj prihvatljivosti okusa, većem volumenu i boljoj teksturi konačnog proizvoda. Neoljuštena heljda stvara okus koji je uglavnom neprihvatljiv. Bitno je istaknuti da proteini heljde mogu biti alergeni te dovesti do alergijskih reakcija.

Velike količine brašna od heljde, kvinoje ili amaranta mogu utjecati na neodgovarajuća senzorska svojstva kao što su tamna boja, debela, tamna i suha korica, intenzivan miris i okus. Unatoč nutritivnoj i tehnološkoj dobrobiti svih ovih žitarica, njihova je uporaba ograničena zbog neodgovarajućeg učinka na okus, miris, boju i relativno visoke cijene (Toth i sur., 2020).

Osim brašna u proizvodnji kruha bez glutena se koriste i različite vrste škroba, kako bi se poboljšala njegova svojstva. Škrob se kruhu i prćivima kako bi se poboljšala svojstva proizvoda bez glutena nakon pečenja kao što su volumen, boja, struktura i tekstura mrvica (Horstmann i sur., 2017). Najčešće se upotrebljavaju škrob kukuruza, tapioke, krumpira, kasave, sirka, prosa ili riže. Ovi škrobovi pokazuju velike promjene u morfologiji i ponašanju tijekom odvijanja procesa želatinizacije (Toth i sur., 2020).

U novije vrijeme je razvijen i pšenični škrob bez glutena, koji se najčešće koristi u kombinaciji s rižinim brašnom i kukuruznim škrobom (El Khoury i sur., 2018). Rižin škrob se često koristi kao osnovni sastojak kruha bez glutena, jer kukuruzni škrob i škrob tapioke mogu izazvati određene poteškoće i uzrokovati vrlo neobičan okus proizvoda (Horstmann i sur., 2017). Rižin škrob je polimer glukoze koji je sastavljen od amiloze i amilopektina u različitim omjerima, ovisno o sorti riže. Ovaj škrob nije alergen zbog prisutnosti hipoalergenih proteina te je proziran i vrlo ljepljiv. Škrob kasave je osjetljiv na oksidaciju, a nakon provođenja kemijskog tretmana sadrži karboksilne skupine koje su važne za ekspanziju tijesta i svojstva pečenja. Kukuruzni škrob se najviše koristi za zgušnjavanje umaka, juha ili kolača, a koristan je i u proizvodnji proizvoda bez glutena (Arendt i Dal Bello, 2008).

Proteini u proizvodnji bezglutenskog kruha su vrlo važni jer imaju kako nutritivnu, tako i tehnološku ulogu. Proteini zadržavaju vodu i stabiliziraju škrobni gel koji je nastao tijekom želatinizacije. Njihovim dodatkom se smanjuje deficit aminokiselina, a pored toga utječu na oblikovanje strukture i teksture tijesta, kao i na boju i ostala senzorska svojstva. Osim toga, proteini mogu produljiti vijek trajanja proizvoda i obzirom na to svojstvo, omogućeno je dugotrajnije skladištenje. Za proizvodnju kruha bez glutena se upotrebljavaju sojini proteini, proteini jaja, rogača, lupine, graška ili krumpira a mogu se dodavati u različitim oblicima, kao komponente bezglutenskih brašna ili u obliku izolata ili koncentrata (Ziobro i sur., 2016). Proteinski dodaci se koriste jer su se pokazali vrlo učinkovitim za stvaranje bolje strukture, a

imaju i veću sposobnost upijanja vode (Toth i sur., 2020). Bjelanjak se koristi jer ima sposobnost pjenjenja i omogućava stabilizaciju mjehurića plina koji nastaju tijekom izrade kruha. Osim toga, ovaj protein utječe i na stvaranje veće mekoće kruha (Ronie i sur., 2021). Dodatak mliječnih proteina jača strukturu, poboljšava teksturu i boju pekarskih proizvoda te usporava njihovo starenje. Najčešće se koristi kazein koji stabilizira ostale komponente bezglutenskog tijesta. Ostali pripravci uključuju izolate i koncentrate proteina sirutke sa sposobnošću stvaranja struktura sličnih gelu i obrano mlijeko u prahu, koje karakterizira visoka sposobnost vezanja vode (Ziobro i sur., 2016). Različiti pripravci proteina graška i lupine povoljno utječu na senzorske parametre, što znači da osiguravaju prihvatljiviju boju i miris. Najlošiji učinak pokazuje sojin protein jer su potrošači proizvod s ovim proteinom ocijenili kao neprihvatljiv. Bezglutenski proizvodi sa sojinim proteinima imaju tamniju koru, a mliječni proteini pojačavaju djelovanje Maillardovih reakcija. Unatoč njihovim tehnološkim prednostima, važno je naglasiti da proteini mlijeka, jaja, soje i lupine mogu biti alergeni, pa ih se preporučuje izbjegavati (Toth i sur., 2020).

Zbog niskog udjela proteina u rižinom brašnu, neophodna je nadopuna drugim izvorima proteina kako bi se poboljšala kvaliteta kruha bez glutena. Protein rižinih posija je ekonomičan izvor proteina i koristi se u zdravoj i nealergičnoj hrani zbog svojih hipoalergenih svojstava. Nadalje, posjeduje dobra funkcionalna svojstva uključujući sposobnost vezanja ulja i vode, sposobnost pjenjenja i emulgiranja koja mogu biti korisna za razvoj kruha bez glutena (Phongthai i sur., 2016). Stvaranje strukture tijesta i kruha dodavanjem proteina često je potpomognuto uvođenjem drugih dodatke kao što su polisaharidi hidrokoloide, enzimi ili surfaktanti (Ziobro i sur., 2016).

Hidrokoloide su dodaci koji se dodaju u pekarstvu kako bi se poboljšala kvaliteta pekarskih proizvoda bez glutena. Karakteristična svojstva hidrokoloide su povećanje viskoznosti tijesta, povećanje volumena i smanjenje razine strukturne tvrdoće, koji se analiziraju u nekoliko parametara (Herawati, 2019). Najtipičniji hidrokoloide koji se koriste u pekarstvu su hidroksipropilmetil celuloza i ksantan guma (Zoghi i sur., 2021), a još se koriste i guar guma, guma locus graha, karboksimetilceluloza, pektin, psyllium ili karagenan (Herawati, 2019). Hidrokoloide se sastoje od mnogobrojnih polisaharida koji su topljivi u vodi i sadrže hidrofilne



dugolančane molekule s velikom molekularnom težinom (Zoghi i sur., 2021). Ovi dodaci mogu modificirati želatinizaciju škroba i na taj način utjecati na ukupnu kvalitetu proizvoda. Hidrokoloide stupaju u interakciju s vodom, smanjuju njezinu difuziju i stabiliziraju njezinu prisutnost. Ksantan, guar guma i karboksimetilceluloza su topljivi u hladnoj vodi, a karagenan, guma rogača i mnogi alginati zahtijevaju vruću vodu za potpunu hidrataciju (Anton i Artfield, 2008). Hidrokoloide se obično koriste kao sredstva za želiranje i zgušnjavanje u svrhu poboljšanja kvalitete i roka trajanja prehrambenih proizvoda. Hidrokoloide koji imaju razgranatu ili lančanu strukturu obično se koriste kao sredstva za zgušnjavanje, a oni linearne strukture se uglavnom koriste kao sredstva za stvaranje gela. Učinak hidrokoloida na svojstva proizvoda bez glutena ovisi o kemijskoj strukturi i količini primijenjenog hidrokoloida, parametrima procesa i interakcijama s drugim sastojcima (Zoghi i sur., 2021). Hidrokoloide se dodaju u količini manjoj od 1 % ali imaju vrlo značajan utjecaj na teksturu i senzorska svojstva proizvoda (Arendt i Dal Bello, 2008).

Ksantan je pseudoplastična otopina visoke viskoznosti na koju ne utječu temperatura, pH ili soli različitih koncentracija. Ksantan je hidrokolid koji ne želira ali može stvoriti gel u kombinaciji s agarozom, konjak glukomananom ili gumom rogačeve mahune (Arendt i Dal Bello, 2008). Dodavanje ksantana tijekom proizvodnje osigurava dobru strukturu mrvica i veći specifični volumen u konačnim proizvodima. Osim toga, ksantan može smanjiti tvrdoću i povećati elastičnost svježeg kruha. Drugi hidrokoloide kao što su karboksimetil celuloza, guar guma, pektin i agaroz koji se koriste kao zamjena za gluten u proizvodnji bezglutenskog kruha su ti koji daju obećavajuću konačnu kvalitetu kruha (Zoghi i sur., 2021). Guar gumu je najbolje koristiti zajedno s pektinom kako bi se izbjegla gumenost kruha i otežano žvakanje (Anton i Artfield, 2008).

Jedan od načina poboljšanja bezglutenskog tijesta je dodatak topljivih dijetalnih vlakana, koji se mogu pronaći u ljusci psylliuma. Povoljno uječu na zdravlje, a tijekom formiranja proizvoda bez glutena pokazuje karakteristike koje su poželjne za formiranje kruha. Psyllium ima sposobnost vezanja vode i stvaranja strukturnih svojstava koje povećavaju viskoznost tijesta, poboljšava volumen te tijekom fermentacije povećava zadržavanje plinova. Osim toga, zadržava vlažnost, mekoću sredine, kohezivnost i elastičnost, čime se poboljšavaju senzorska

svojstva kruha, produljuje se rok trajanja i dobiva kruh koji je obogaćen s vlaknima (Fratelli i sur., 2021).

### 2.3. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM

Konzumacija pšenice može uzrokovati niz pojava koje na organizam djeluju negativno i to zbog glutena koji je organizmu neprihvatljiv. Simptomi svih bolesti koje su povezane s glutenom su uglavnom slični, no ipak postoje određene razlike u njihovom ispoljavanju (El Khoury i sur., 2018). S obzirom na navedeno razlikujemo celijakiju, herpetiformni dermatitis i glutensku ataksiju.

Alergija na gluten nastaje zbog preosjetljivosti reakcije imunološkog sustava, a necelijakična osjetljivost na gluten je poremećaj koji nije povezan ni s alergijskim ni s autoimunim sustavom. Herpetiformni dermatitis predstavlja kroničnu bolest kože koja je povezana s glutenom, dok je glutenska ataksija neurološki vid celijakije (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

### CELIJAKIJA

Celijakija je autoimuna bolest koju uzrokuje gluten i njemu srodne bjelančevine koje se uglavnom mogu pronaći u pšenici, raži, ječmu i ponekad u zobi. Uobičajeni simptomi koji ukazuju na ovu bolest su proljev, vjetrovi i nadutost, iako može biti prisutna i bez tipičnih simptoma. Gluten uzrokuje oštećenje površine crijeva te se hranjive tvari ne apsorbiraju u potpunosti, pa dio zaostaje u crijevima. Zaostali sadržaj crijeva se dodatno razgrađuje i dovodi do stvaranja vjetrova, nadutosti pa i boli. Moguća je pojava proljeva, te masne i obilne stolice (Dolinšek i sur., 2022; Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

## **ALERGIJA NA PŠENICU**

Ovaj poremećaj se pojavljuje nakon unosa proteina pšenice albumina, globulina, glijadina i glutenina. Alergija na pšenicu se razlikuje od celijakije a postotak oboljelih se kreće od 0,4 % do 9 %. Svrbež, otok, poteškoće u disanju, mučnina, probavne smetnje, grčevi, bolovi u trbuhu su neki od simptoma koji ukazuju na navedenu bolest (Dolinšek i sur., 2022).

Alergija na pšenicu se javlja u vidu alergije na hranu s mogućim pojavama kožnih, probavnih ili respiratornih simptoma. Alergeni pšenice mogu dospjeti u organizam preko kože ili sluznice respiratornog sustava (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

## **NECELJAKIČNA OSJETLJIVOST NA GLUTEN**

Stanje u kojima osobe negativno reagiraju na unešene proizvode koje sadrže gluten bez ikakve dokazane alergijske ili autoimune reakcije se naziva necelijakična osjetljivost na gluten. Simptomi koji se mogu pojaviti su abdominalna bol, proljev, nadutost, rjeđe opstipacija, a česti su i kroničan umor, anemija, glavobolja, zamućenje svijesti, artritis (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Ne postoje nikakvi specifični serološki ili patohistološki testovi kojima bi se mogla dokazati ova bolest, a konačna dijagnoza bolesti se može postaviti ukoliko su isključene bilo kakve mogućnosti alergije na pšenicu ili celijakije (Dolinšek i sur., 2022).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada je bio provesti istraživanje te analizirati utjecaj različitih udjela koncentrata proteina riže na svojstva kruha bez glutena čija je osnova rižino brašno i kukuruzni škrob. Ispitivane su tri koncentracije proteina riže od 5 %, 10 % i 15 % u odnosu na ukupnu masu brašna i škroba.

### 3.2. MATERIJALI

Za proizvodnju kruha bez glutena u ovom radu su korišteni sljedeći sastojci:

- rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska),
- kukuruzni škrob Original Gustin (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka),
- koncentrat rižinog proteina GymBeam (GymBeam, Berlin-Gartenfeld, Njemačka),
- ksanta guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK),
- instant suhi pekarski kvasac (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka),
- suncokretovo ulje,
- šećer,
- sol,
- voda.

### 3.3. METODE

#### 3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena

Od sirovina koje su navedene u **tablici 1** je u mjesilici formirano tijesto. Ovaj proces se provodio 2 min na manjoj brzini, a zatim još 6 min na većoj. Tako dobiveno tijesto je podijeljeno na dva jednaka dijela. Svaki dio je stanjen pomoću valjka na odgovarajuću debljinu od 6-8 mm, a zatim zarolan u dvije vekne koje su odložene u kalup za pečenje od 15 cm. Kalupi za pečenje s veknama su ostavljeni u fermentacijskoj komori kako bi se provela fermentacija. Fermentacija je provođena pri 30 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 85 %. Nakon završene

fermentacije koja je trajala 45 min, vekne su se pekle u pećnici. Proces pečenja je trajao 45 min, prvo 3 min na 200 °C te još 42 min na 175 °C. Uzorci su nakon pečenja ostavljeni na hlađenje najmanje 1 h, kako bi se mogle provesti daljnje analize. Za svaki dodatak koncentrata rižinog proteina je provedeno pečenje dva puta.

**Tablica 1** Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena s dodatkom rižinog proteina

<i>SASTOJCI (g)</i>	<i>0 %</i>	<i>5 %</i>	<i>10 %</i>	<i>15 %</i>
<i>RIŽINO BRAŠNO</i>	360	342	324	306
<i>KUKURUZNI ŠKROB</i>	40	38	36	34
<i>PROTEIN</i>	0	20	40	60
<i>KSANTAN GUMA</i>			16	
<i>KVASAC</i>			12	
<i>ULJE</i>			20	
<i>ŠEĆER</i>			12	
<i>SOL</i>			8	
<i>VODA</i>			320	



**Slika 2** Izgled uzoraka bezglutenskog kruha s dodatkom različite koncentracije rižinog proteina

#### 3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava

Pomoću Volscan Profiler uređaja (Stable Micro Systems, Velika Britanija) je određen specifični volumen koji je izražen u  $\text{cm}^3/\text{g}$ . Osim toga određene su i vrijednosti širine i visine uzoraka koje su izražene kao h/d omjer metodom laserske topologije .

Teksturalni profil (TPA) kruha određen je pomoću analizatora teksture TA.XT2i (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK) na šnitama kruha koje su izrezane na debljinu od 25 mm, a dobiveni rezultati su analizirani pomoću softvera Texture Exponent 32 (verzija 3.0.5.0.) primjenom dvostruke kompresije pomoću cilindričnog nastavka promjera 36 mm. Uzorci su zadržani 5 s primjenom brzine od 1 mm/s, dok je dubina prodiranja bila 40 % odnosno 10 mm. Iz dobivenih rezultata su određene i čvrstoća (N), elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju (N) i koeficijent otpornosti.

Boja kore i sredine vekne kruha je određena pomoću kolorimetra CR-400 (Konica Minolta, Japan) u CIELab sustavu boja. Određene su vrijednosti  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ . Vrijednost  $L^*$  predstavlja svjetlinu uzorka, čiji je intenzitet između 0 (crna) i 100 (bijela).  $a^*$  je vrijednost koja mjeri raspon između zelene i crvene boje (-128 do 127), a  $b^*$  između plave i žute boje (-128 do 127). Boja kore i sredine kruha je za svaki uzorak izmjerena po pet puta.

#### 3.3.3. Određivanje poroznosti bezglutenskog kruha računalnom analizom slike

Računalnom analizom slike su određeni veličina i raspored svih šupljina kao i prosječna površina koju one zauzimaju, poznata kao poroznost kruha. Kruh je precizno izrezan na šnite debljine 2,5 cm koje su s obje strane skenirane pomoću skenera Epson Perfection V500 Photo (Epson Corporation, Bethesda, Maryland, SAD) primjenom programa EPSON Scan Utility v3.7.7.0. Nakon skeniranja koje je provedeno u rezoluciji od 1200 piksela po inču u 24-bitnom RGB formatu slike su pohranjene na računalu u TIFF formatu. Daljna analiza slike je provedena pomoću programa ImageJ 1.48v (Wayne Rasband, National Institute of Health, Maryland, USA), a za segmentaciju šupljina na slikama je korišten je Default algoritam, primijenjen prema metodologiji Gonzales-Barronu i Butler (2006).

#### 3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena

Senzorsku ocjenu kruha bez glutena s dodatkom koncentrata proteina riže je proveo panel od 5 ocjenjivača. Panel se sastojao od studenata i zaposlenika Katedre za tehnologiju prerađivanja žitarica Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek. Svi su imali prethodnog iskustva u senzorskim analizama. Za ocjenjivanje se koristila hedonistička skala koja je sadržavala ocjene od 1 do 9, a ocjenjivao se vanjski izgled, izgled sredine, tekstura, miris i okus. Ocjene su bile: naročito nepoželjno (1), vrlo nepoželjno (2), umjereno nepoželjno (3), neznatno nepoželjno (4), neutralno (5), neznatno poželjno (6), umjereno poželjno (7), vrlo poželjno (8), naročito visoko poželjno (9). Prije pristupanja samom ocjenjivanju, ocjenjivači su upoznati s istraživanjem i uzorcima koji su postavljeni ispred njih. Sveukupna senzorska ocjena bezglutenskog kruha je dobivena kao prosječna vrijednost prethodno navedenih senzorskih karakteristika.

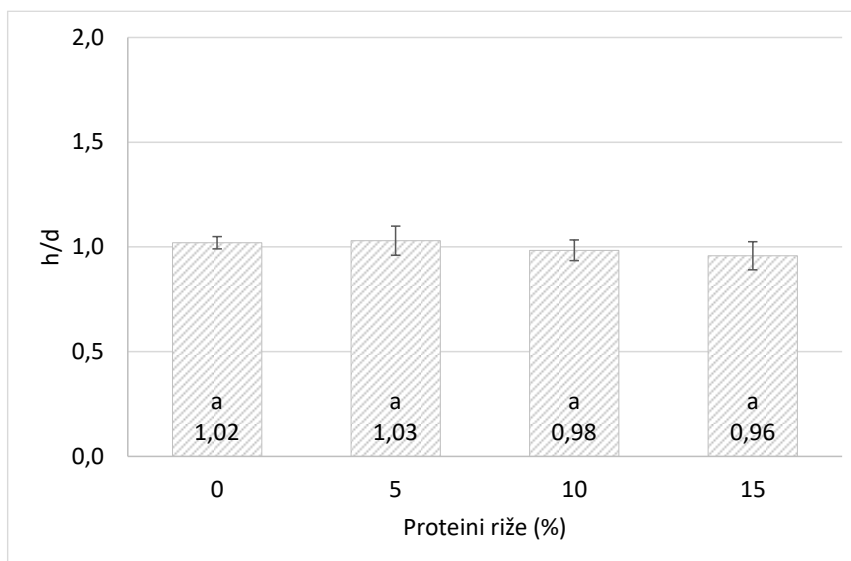


#### **3.3.5. Statistička obrada dobivenih rezultata**

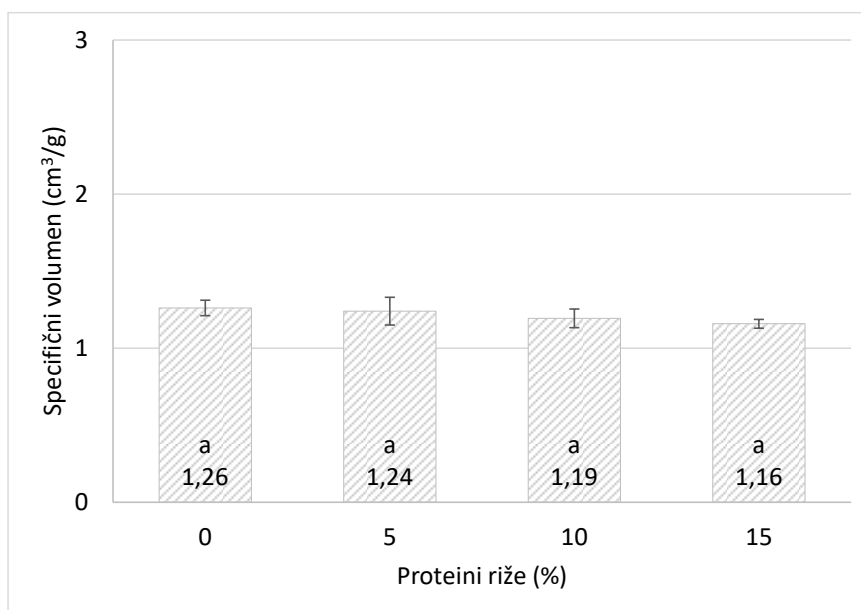
Podaci dobiveni ispitivanjima u ovom diplomskom radu analizirani su analizom varijance (ANOVA). Razlike između uzoraka ispitane su Tukey-evim HSD (honestly significant difference) testom ( $p < 0,05$ ). Statistička analiza provedena je pomoću softvera XLSTAT (Addinsoft, New York, SAD).

## **4. REZULTATI**

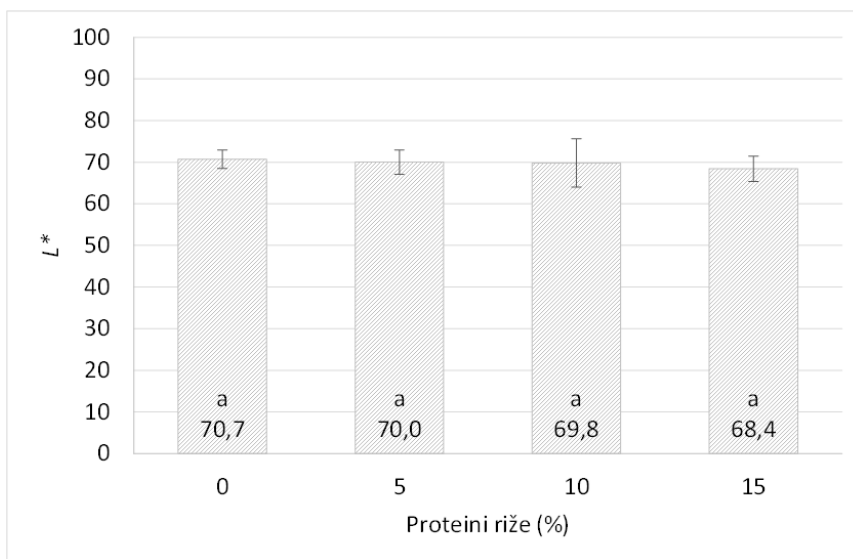
## 4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA KRUHA BEZ GLUTENA



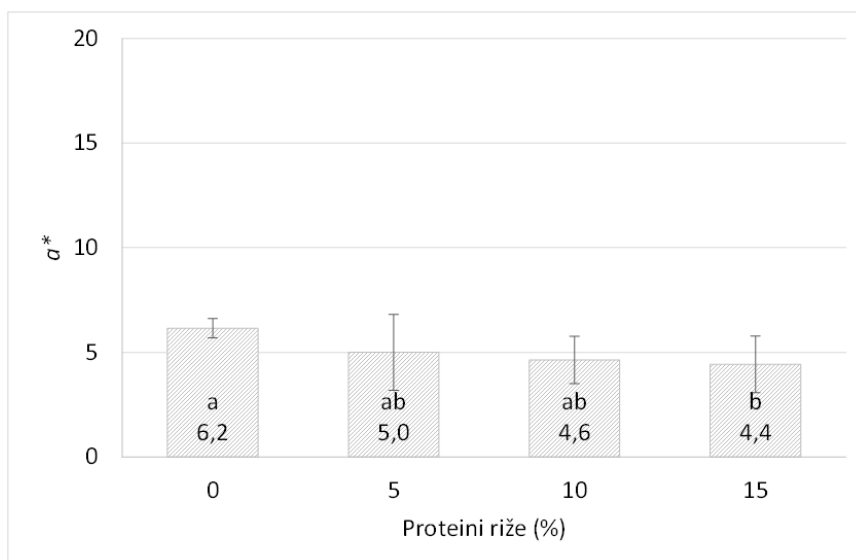
**Slika 3** Rezultati određivanja h/d omjera kruha bez glutena s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



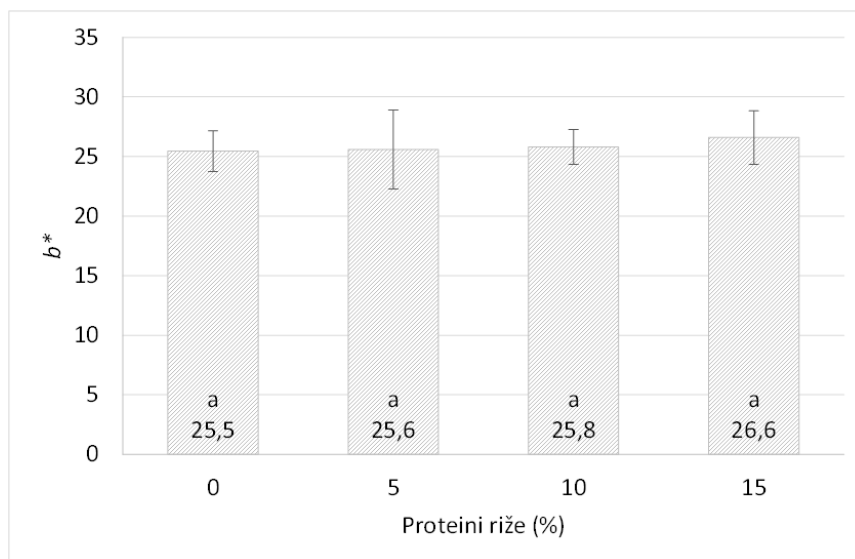
**Slika 4** Rezultati određivanja specifičnog volumena kruha bez glutena s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



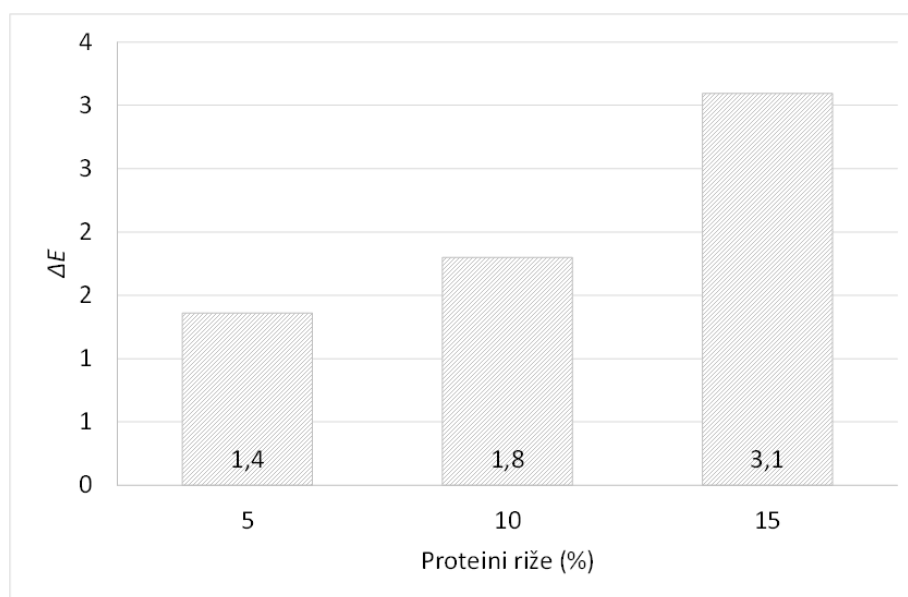
**Slika 5** Analiza svjetline površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



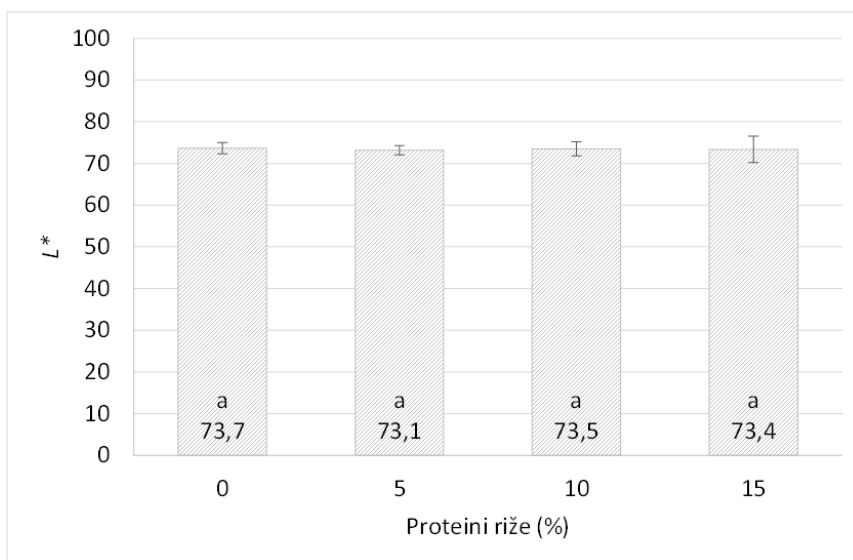
**Slika 6** Analiza kromatske komponente zeleno-crvene boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



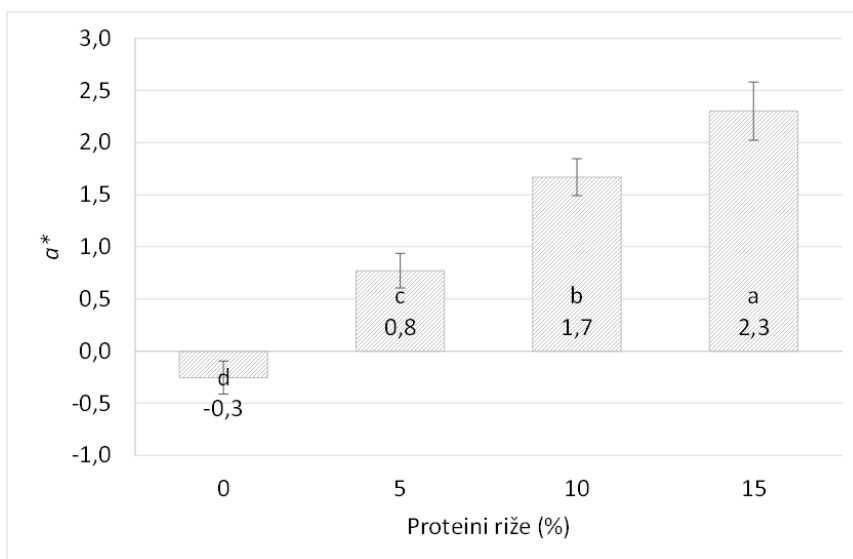
**Slika 7** Analiza kromatske komponente plavo-žute boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



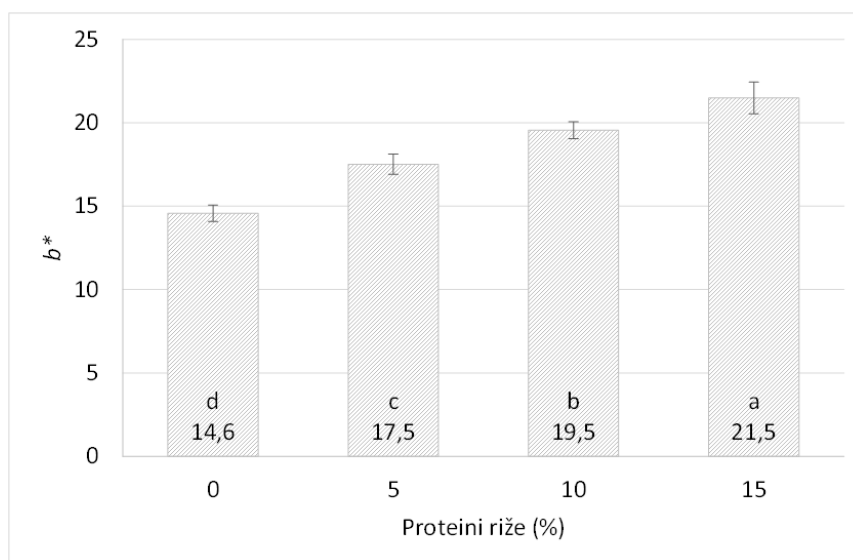
**Slika 8** Ukupna promjena boje površine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu.)



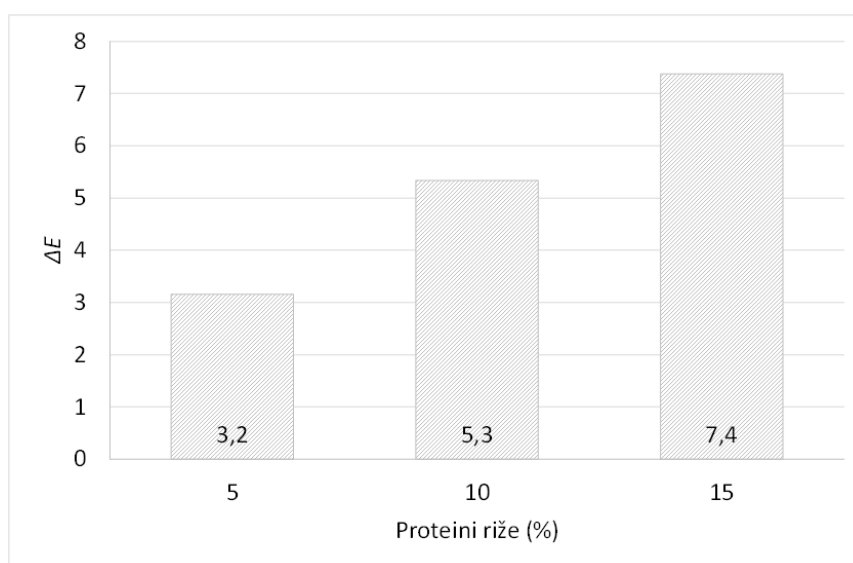
**Slika 9** Analiza svjetline sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



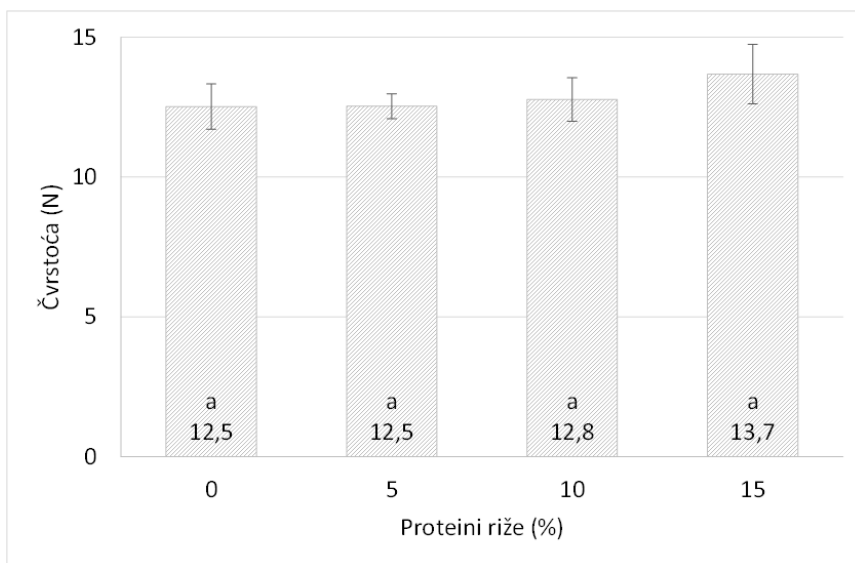
**Slika 10** Analiza kromatske komponente zeleno-crvene boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



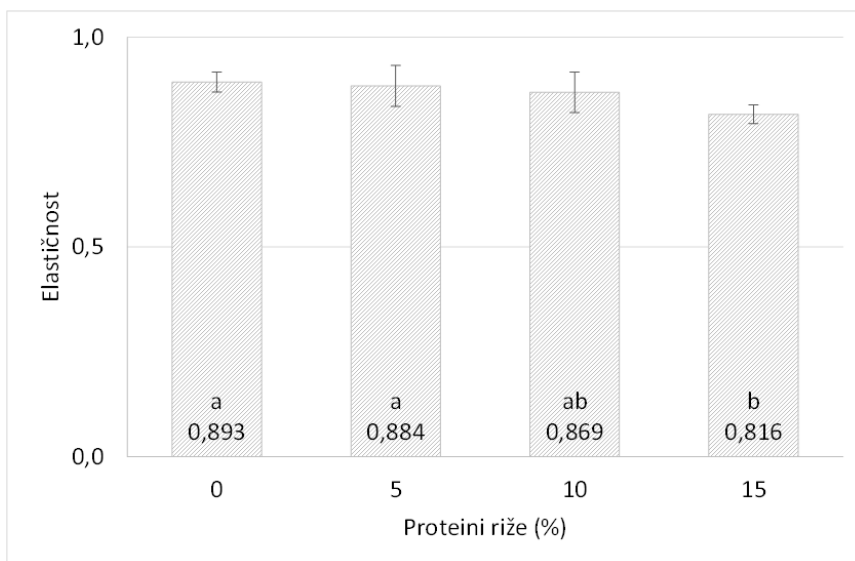
**Slika 11** Analiza kromatske komponente plavo-žute boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



**Slika 12** Ukupna promjene boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

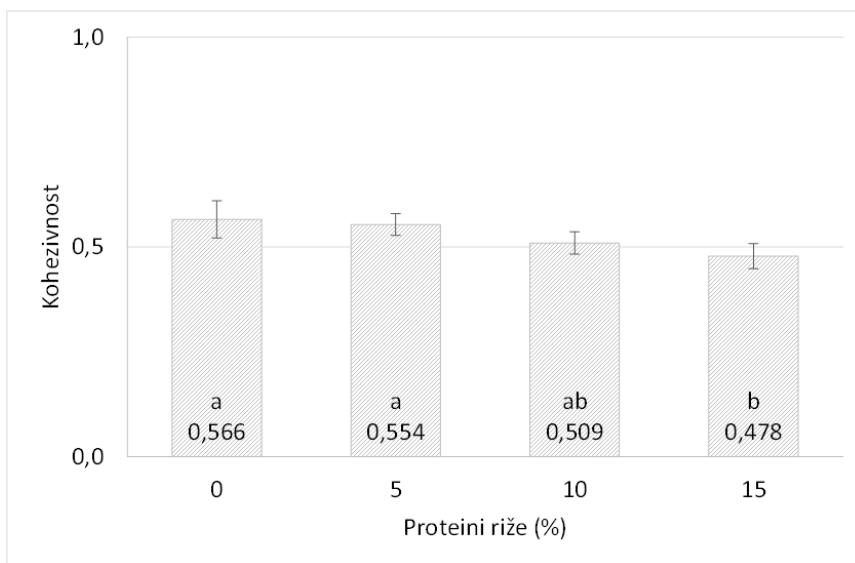


**Slika 13** Rezultati čvrstoće bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

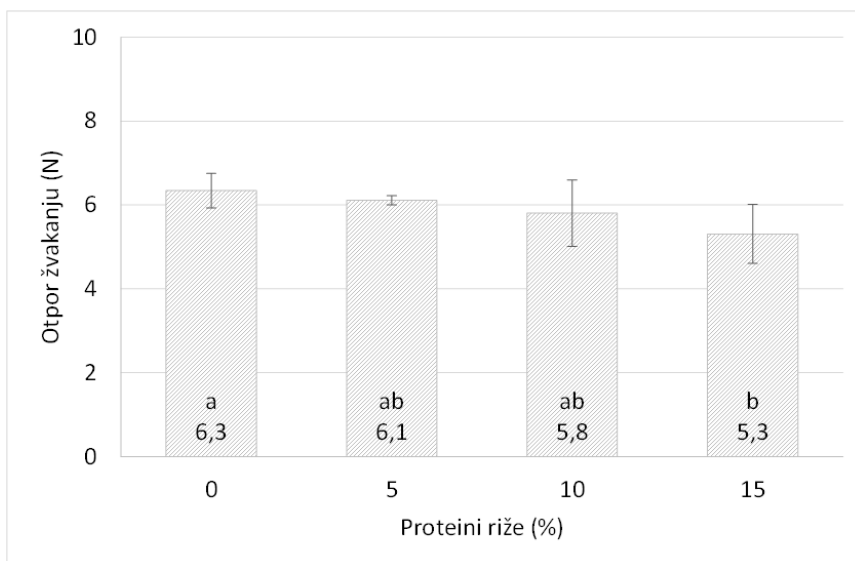


**Slika 14** Rezultati elastičnosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

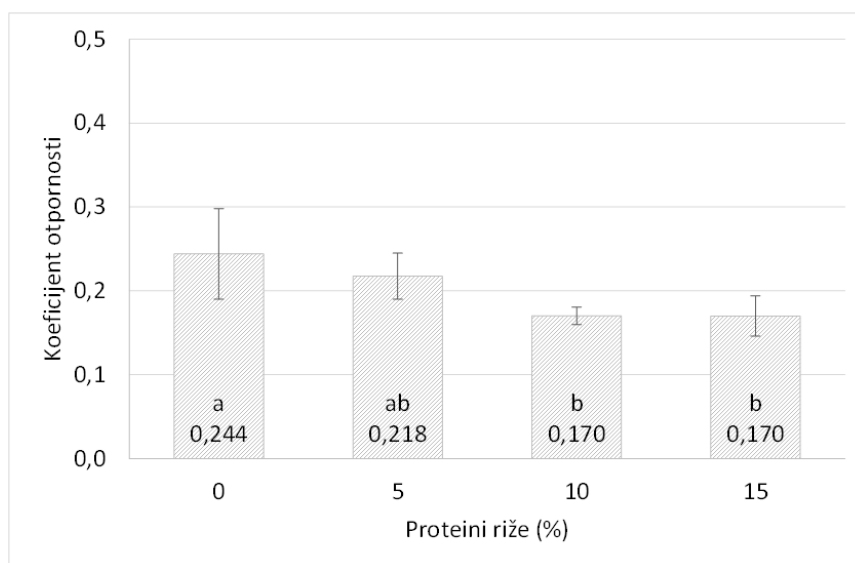




**Slika 15** Rezultati kohezivnosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

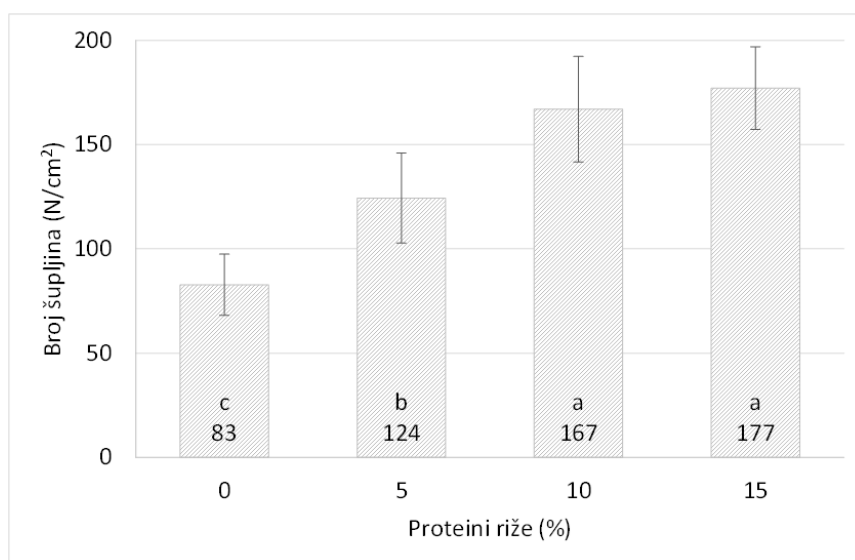


**Slika 16** Rezultati analize otpora žvakanju bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

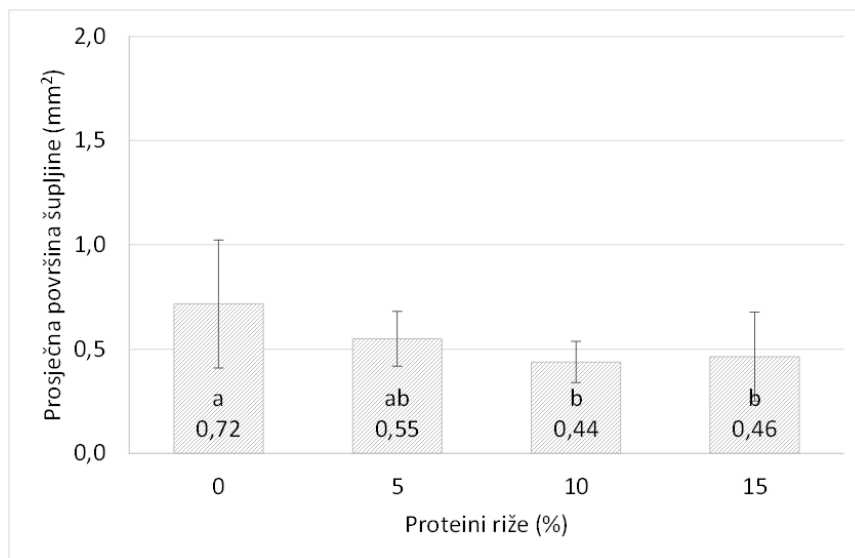


**Slika 17** Rezultati koeficijenta otpornosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

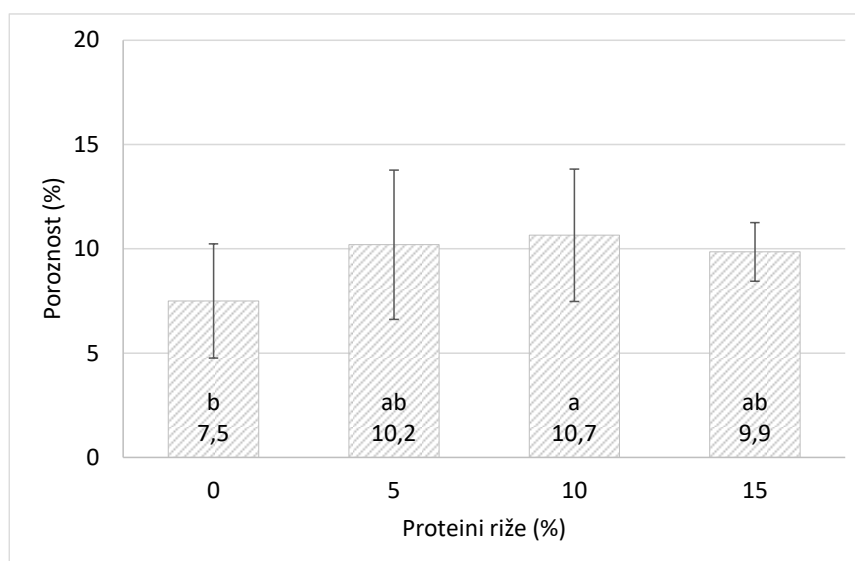
#### 4.2. REZULTATI POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA



**Slika 18** Broj šupljina određen računalnom analizom slike bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

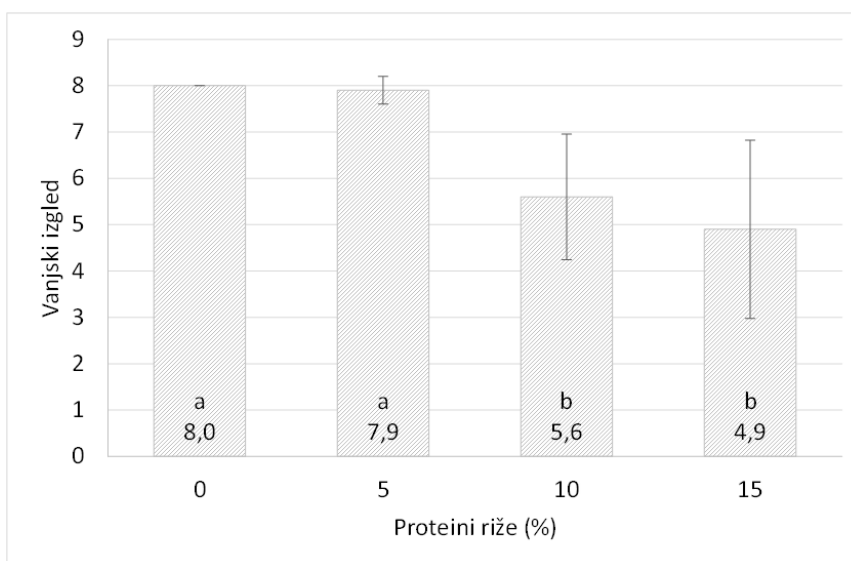


**Slika 19** Rezultati prosječne površine šupljine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

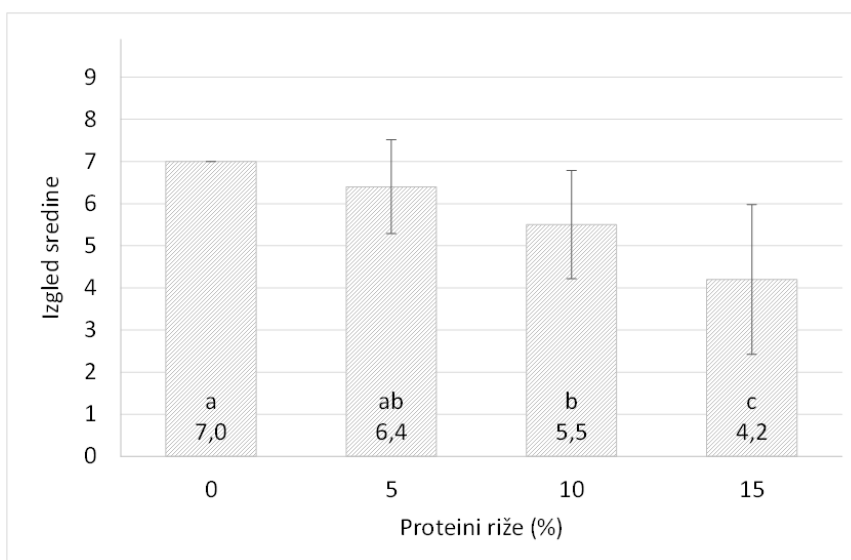


**Slika 20** Rezultati poroznosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).

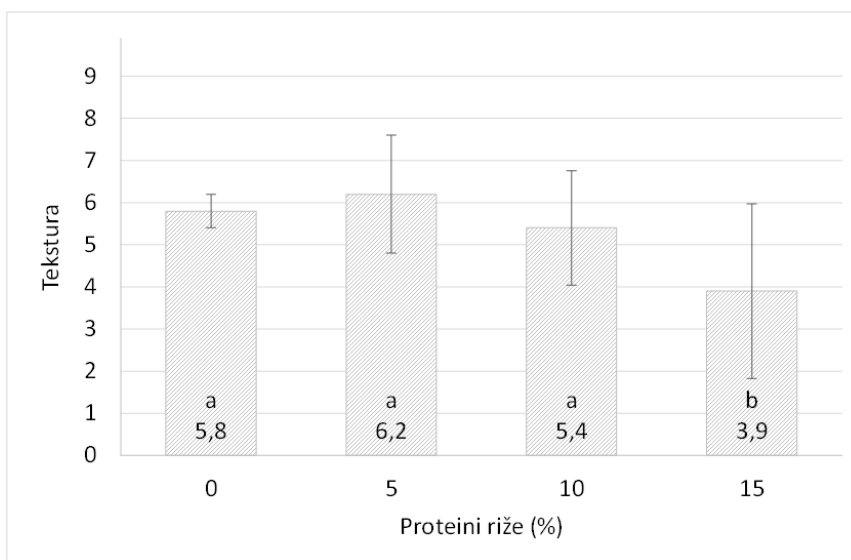
### 4.3. REZULTATI SENZORSKE OCJENE KRUHA BEZ GLUTENA



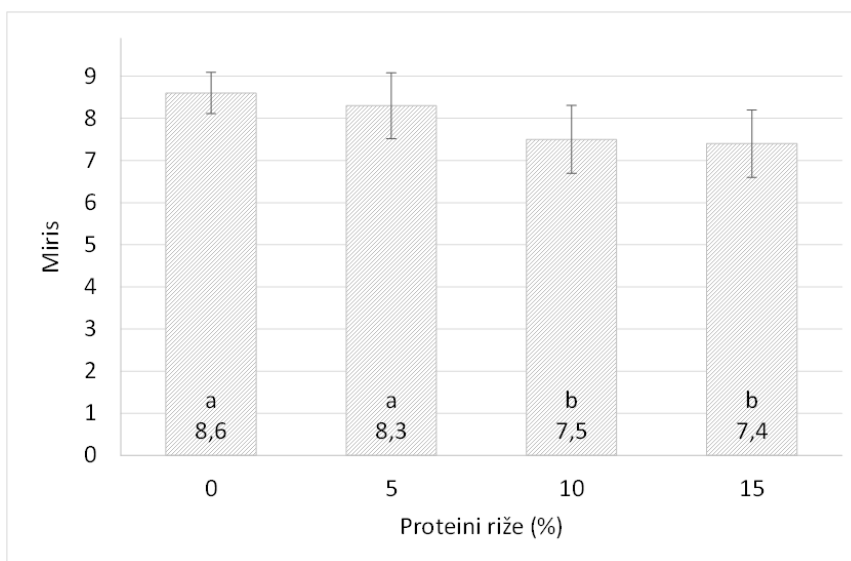
**Slika 21** Rezultati senzorske ocjene vanjskog izgleda bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



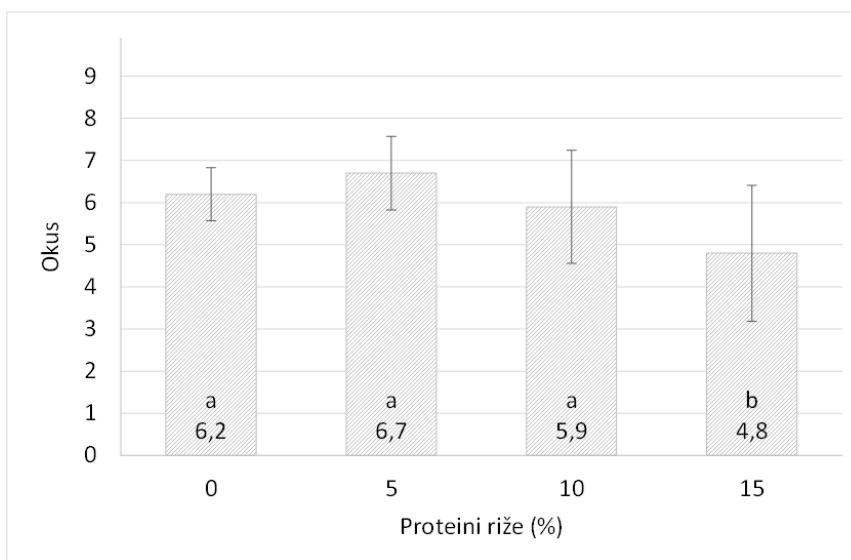
**Slika 22** Rezultati senzorske ocjene izgleda sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



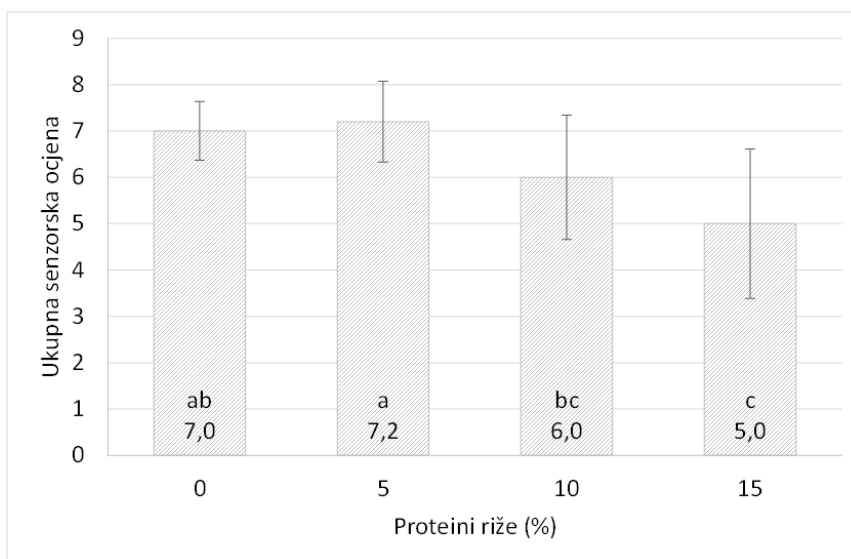
**Slika 23** Rezultati senzorske ocjene teksture bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (Prikazane su srednje vrijednosti  $\pm$  standardna devijacija. Vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ( $p < 0,05$ ) prema Tukey-evom HSD testu).



**Slika 24** Rezultati senzorske ocjene mirisa bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (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 okusa bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (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 ukupne senzorske ocjene bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže (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**

Tijekom proizvodnje kruha bez glutena se koriste i mnoge dodatne tvari koje mogu u odgovarajućoj mjeri nadomjestiti gluten. Između ostalog, često se dodaju različite vrste proteina zbog povoljnog efekta na svojstva kruha bez glutena. Proteini stvaraju kruh koji je mekši i elastičniji, a omogućuju i bolje zadržavanje odgovarajućeg oblika kruha. Osim toga, proteini pridonose aromi i okusu, a mogu pomoći pri stabilizaciji tijesta bez glutena i poboljšanu njegove konzistencije (Phongthai i sur., 2016).

Zadatak ovog diplomskog rada je bio ispitati utjecaj različitih udjela proteina riže na karakteristike kruha bez glutena koji je izrađen od rižinog brašna i kukuruznog škroba. Za pripremu zamjesa su korištene sirovine koje su navedene u **Tablici 1**, a proučavan je utjecaj tri koncentracije rižinog proteina: 5 %, 10 % i 15 %.

Provedbom analize specifičnog volumena kruha bez glutena s dodatkom proteina riže koji su prikazani na **Slici 4** se može zaključiti da dodatak rižinog proteina djeluje negativno na specifični volumen jer uzrokuje njegovo smanjenje. Smanjenje volumena bezglutenskog kruha je zabilježeno i prilikom dodavanja sojinog proteina u istraživanju koje su proveli Marco i Rosell (2008), dok je dodatak proteina bjelanjka uzorkovao rast specifičnog volumena. Kontrolnom uzorku je izmjeren najveći specifični volumen ( $1,26 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) koji se smanjivao do  $1,18 \text{ cm}^3/\text{g}$ , što je vrijednost koja odgovara uzorku kruha koji je sadržavao 15 % rižinog proteina u svom sastavu.

Rezultati h/d omjera bezglutenskog kruha prikazanih na **Slici 3** ukazuju na statistički značajne razlike. U usporedbi s kontrolnim uzorkom (1,02), vrijednosti h/d omjera padaju. Jedino je kod uzorka kruha bez glutena s dodatkom rižinog proteina od 5 % zabilježen neznatni porast (1,03). Vrijednost h/d omjera bezglutenskog kruha s dodatkom 10 % rižinog proteina iznosi 0,98 a uzorka kruha s dodatkom 15 % rižinog proteina je 0,96.

Iz rezultata prikazanih na **Slikama 5-12** utvrđeno je da primjena rižinog proteina značajno utječe na boju površine i boju sredine kruha bez glutena, ali i na ukupnu promjenu boje. Povećanjem udjela rižinog proteina se smanjivala vrijednost  $L^*$ , što znači da je kora uzorka s najvećom količinom rižinog proteina bila najtamnija. Vrijednost  $L^*$  je padala od početnih 70,7



kod kontrolnog uzorka do 68,4 kod uzorka s dodatkom 15 % rižinog proteina. Ziobro i sur. (2016) su zaključili da dodatak albumina uzrokuje rast svjetline, a ostali proteini njezino smanjenje, pa su dobiveni rezultati su u skladu s ovim istraživanjem. U odnosu na kontrolni uzorak, vrijednosti parametra  $a^*$  su se smanjivale, a parametra  $b^*$  povećavale. Kromatske komponente zeleno-crvene boje su parametar  $a^*$ , a parametar  $b^*$  predstavlja komponente plavo-žute boje. Vrijednosti svjetline sredine kruha (**Slika 9**) se ne razlikuju značajno, ali ipak postoje minimalne promjene. Uzorak s 5 % rižinog proteina ima najtamniju sredinu jer pokazuje najmanju vrijednost parametra  $L^*$  (73,1). Vrijednosti parametara boje sredine kruha  $a^*$  i  $b^*$  su rasle dodatkom proteina riže, što ukazuje na to da su više u domeni crveno-smeđe boje. Rezultati ukupne promjene boje sredine kruha prikazanih na **Slici 12** se kreću u rasponu od 3,2 (za uzorke s 5 % rižinog proteina) do 7,4 (za uzorke s 15 % rižinog proteina), što znači da rižin protein uzrokuje značajne razlike u boji sredine kruha.

Na **Slikama 13-17** su prikazani rezultati ispitivanja parametara teksture bezglutenskog kruha s dodatkom proteina riže. U radu Ziobro i sur. (2013) utvrđeno je da dodatak proteina bezglutenskom kruhu uzrokuje smanjenje čvrstoće kruha. Analizirane vrijednosti čvrstoće uzoraka kruha bez glutena nisu u skladu s ovim istraživanjem, jer su rasle dodatkom rižinog proteina i kretale su se u rasponu od 12,5 N (za kontrolni uzorak) do 13,7 N (za uzorak s 15 % rižinog proteina). Dodatak rižinog proteina je utjecao i na rezultate elastičnosti i kohezivnosti. Kohezivnost je opisana i u istraživanju u kojem se ispitivao utjecaj vrste brašna, odnosno škroba, a zaključeno je da rižino brašno doprinosi povećanju kohezivnosti i smanjenju čvrstoće kruha više nego kukuruzni škroba, zbog prisutnosti proteina riže (Martínez i Gómez, 2017). Vrijednosti kohezivnosti dodatkom rižinog proteina su lagano opadale. Osim toga, utvrđen je i sve manji otpor žvakanju (**Slika 16**). Koeficijent otpornosti uzoraka čije su vrijednosti prikazane na **Slici 17** se smanjivao do udjela proteina riže od 10 %. Daljnjim dodavanjem proteina vrijednost koeficijenta otpornosti se nije mijenjala i iznosila je 0,170. Zbijena struktura i volumen utječu na teksturu proizvoda, pa se povećanje čvrstoće i smanjenje elastičnosti i kohezivnosti može povezati sa smanjenjem specifičnog volumena kruha bez glutena s dodatkom proteina riže.

Iz rezultata na **Slici 18** je utvrđeno da se dodatkom proteina riže broj šupljina uzoraka kruha bez glutena povećava. Kontrolni uzorak ima najmanji broj šupljina ( $83 \text{ N/cm}^3$ ) a uzorak s 15 % rižinog proteina najveći broj šupljina ( $177 \text{ N/cm}^3$ ). Vrijednosti prosječne površine šupljine bezglutenskog kruha (**Slika 19**) polako padaju s dodatkom proteina riže od  $0,72 \text{ mm}^2$  (za kontrolni uzorak) do  $0,44 \text{ mm}^2$  (za uzorak s 10 % rižinog proteina), a dodatak 15 % proteina riže je uzrokovao neznatan rast ove vrijednosti i iznosi  $0,46 \text{ mm}^2$ . Protein riže u kruhu bez glutena je uzrokovao povećanje poroznosti (**Slika 20**), što su zaključili i Ziobro i sur. (2016). Najmanju vrijednost je imao kontrolni uzorak, a dodatkom rižinog proteina se vrijednosti nisu značajno mijenjale.

Na **Slikama 21-26** su prikazani rezultati senzorske analize kruha bez glutena s dodatkom rižinog proteina. Uzorci s dodatkom 5 % rižinog proteina su dobili najbolje ocjene za vanjski izgled (7,9), izgled sredine (6,4), teksturu (6,2), okus (6,7) i ukupnu senzorsku ocjenu (7,2). Proteini riže nisu uzrokovali velike promjene povezane s mirisom kruha bez glutena (**Slika 24**), pa tako ni senzorske ocjene nemaju značajnu statističku promjenu. Najveći utjecaj dodatka proteina riže se očitovao u samom okusu (**Slika 25**). Bezglutenski kruh s dodatkom proteina riže je imao izraženi gorki okus, koji nije bio prihvatljiv ispitivačima.

S obzirom da su ispitivači dali najveće ocjene uzorku kruha s 5 % proteina riže, utvrđuje se da su ti uzorci i najprihvatljiviji

## **6. ZAKLJUČCI**

Na temelju provedenih ispitivanja se može zaključiti da bezglutenski kruh s dodatkom različitih koncentracija rižinog proteina ima manje poželjne senzorska svojstva uzimajući u obzir prvenstveno izgled sredine, okus i teksturu.

Fizikalna svojstva u velikoj mjeri ovise o prisutnoj koncentraciji rižinog proteina u smjesi. Dodatak rižinog proteina uzrokuje smanjenje specifičnog volumena što nije poželjno. Specifični volumen je povezan i sa smanjenjem elastičnosti tijesta i njegove kohezivnosti, što stvara poteškoće prilikom zamjesa i stanjivanja tijesta. Sve navedeno utječe u velikoj mjeri i na konačni izgled kruha.

Omjer visine i širine se smanjuje s povećanjem udjela proteina riže, što ukazuje na zbijenu i neprozračnu strukturu.

Zabilježene su i promjene boje. Kora kruha je postajala sve tamnija dok se svjetlina sredine nije značajno mijenjala u odnosu na kontrolni uzorak. Kromatske komponente  $a^*$  i  $b^*$  sredine kruha su rasle, a kod kore je primijećeno smanjenje vrijednosti parametra  $a^*$  i povećanje vrijednosti parametara  $b^*$ .

Otpor žvakanju je bio niži u uzorcima s većim udjelom proteina riže. Analizom strukture sredine kruha pokazano je da je dodatak rižinog proteina povećao broj šupljina i poroznost.

Nešto lošija kvalitativna fizikalna svojstava su u granicama senzorske prihvatljivosti za uzorke kruha bez glutena s dodatkom 5 % rižinog proteina, pa postoji mogućnost razmatranja upotrebe ovakvog kruha u svakodnevnoj prehrani, naročito kod osoba koje boluju od celijakije i sličnih bolesti.

## **7. LITERATURA**

- Afitah N, Ratnawati L: Quality assessment of dry noodles made from blend of mocaf flour, rice flour and corn flour. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 101, 012021, 2017.
- Anton AA, Artfield SD: Hydrocolloids in gluten-free breads. *International Journal of Food science and Nutrition* 59(1):11-23, 2008.
- Arendt EK, Dal Bello F: Gluten-free cereal products and beverages, Science Direct, Ireland,
- Dolinšek J, Dolinšek J, Rižnik P, Krenčnik T, Klemenak M, Kocuvan Mijatov MA, Ornik S, Jurše M, Vidmar J, Korponay-Szabo I, Palčevski G, Milnović M, Dovnik I, Gyimesi Gallisz J, Sztitanyi P, Floriankova M, Krajnc K, Stanescu Popp A, Man O, Černožorski I, Mišak Z, Piskernik M, Mearin ML, Wessels M, Dragutinović N, Pavkov V, Hauer AC, Marković M: Vodič za život s celijakijom, CeliVita-Život s celijakijom, Zagreb, 2021.
- El Khoury D, Balfour-Ducharme S, Joye IJ: A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients* 10(10), 1410, 2018.
- 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.
- Gallagher E: Gluten-Free Food Science and Technology, Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-405-15915-9, 2009.
- He H, Hosoney RC: Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chemistry* 68:334–336, 1991.
- Herawati H: Hydrocolloids to The Effects of Gluten Free Bakery Products. *Journal of Physics: Conference Series* 1295, 012052, 2019.
- Horstmann SW, Lynch KM, Arendt EK: Starch Characteristics Linked to Gluten-Free Products. *Foods* 6, 29, 2017.

- Marco C, Rosell CM: Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur Food Res Technol* 227:1205–1213, 2008.
- Martínez MM, Gómez M: Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering* 197:78–86, 2017.
- Mondal A, Datta AK: Bread baking – a review. *Journal of food engineering* 86: 465-474, 2008.
- Monteiro JS, Farage P, Zandonadi RP, Botelho RBA, de Oliveira LdL, Raposo A, Shakeel F, Alshehri S, Mahdi WA, Araújo WMC: A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods* 10(3):614, 2021.
- 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* 72:38-45, 2016.
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: Poremećaji povezani s glutenom. *Medicina fluminensis* 55(1):53-58, 2019.
- Ronie 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 bakery products. *Food Research* 5(5):43 – 54, 2021.
- Sabanis D, Tzia C: Effect of Rice, Corn and Soy Flour Addition on Characteristics of Bread Produced from Different Wheat Cultivars. *Food Bioprocess Technol.* 2: 68-79, 2009.
- Stantiall SE, Serventi L: Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 69(4):427-436, 2017.
- Sungur B: Different formulations in gluten-free bread production: A review. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Science* 2(3):114-118, 2018.

- Tarabella A, Francescato: Gluten-Free Foods. *Food Products Evolution: Innovation Drivers and Market Trends* 110-116, 2019.
- Toth M, Vatai G, Koris A: Gluten-free bread from ingredients and nutrition point of view: A Mini-Review. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 32(9): 634-639, 2020.
- Wójcik M, Różyło R, Schönlechner R, Berger MV: Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports* 11, 14498, 2021.
- Ziobro R, Juszczak 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, 2016.
- Ziobro R, Witczak T, Juszczak 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.
- Zoghi A, Mirmahdi AS, Mohammadi M: The role of hydrocolloids in the development of gluten-free cereal-based products for coeliac patients: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 56:3138–3147, 2021.
- 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.