

Utjecaj dodatka različitih proteinskih koncentrata na kvalitetu čajnog peciva bez glutena

Kovačević, Sara

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:109:619118>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**

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**

Sara Kovačević

**UTJECAJ DODATKA RAZLIČITIH PROTEINSKIH
KONCENTRATA NA KVALITETU ČAJNOG
PECIVA BEZ GLUTENA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Sveučilišni diplomski studij

Zavod prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Tema rada je prihvaćena na VIII. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 22. svibnja 2023.
Mentor: prof. dr. sc. Marko Jukić

UTJECAJ DODATKA RAZLIČITIH PROTEINSKIH KONCENTRATA NA KVALITETU ČAJNOG PECIVA BEZ GLUTENA Sara Kovačević, 0113141730

Sažetak: Budući da se u proizvodnji bezglutenskih proizvoda često koriste brašna s relativno niskim udjelom proteina, ali i škrobni preparati koji ne sadrže proteine, često se u recepturu dodaju različiti proteini kako bi se poboljšala kvalitativna, ali nutritivna svojstva proizvoda. Stoga je zadatak ovog diplomskog rada bio ispitati utjecaj dodatka različitih udjela koncentrata proteina sirutke, bjelanjka jajeta i riže na kvalitetu čajnog peciva bez glutena. Uzorci čajnog peciva bez glutena od rižinog brašna proizvedeni su probnim pečenjem u laboratorijskim uvjetima te su određeni sadržaj vlage i aktivitet vode, boja u CIELab sustavu, promjene dimenzija uzoraka, teksturalna i senzorska svojstva. Rezultati su pokazali da različiti koncentracije proteina imaju različite učinke na kvalitetu proizvoda. Proteini bjelanjka značajno su povećali volumen čajnog peciva bez glutena i omekšali teksturu, a udjeli veći od 10% izazvali su neželjene promjene u boji i senzorskim svojstvima. Proteini riže nisu imali značajan utjecaj na fizikalno-kemijska i senzorska svojstva proizvoda. Dodatak proteina sirutke uzrokovao je smanjenje sadržaja i aktiviteta vode, poboljšanje teksture, povećanje volumena i intenzivniju boju čajnog peciva, kao i poboljšanje senzorskih svojstava. Može se zaključiti da se proteini sirutke mogu dodavati i u količinama od 40% što istovremeno značajno doprinosi unapređenju nutritivnih svojstava čajnog peciva bez glutena.

Ključne riječi: čajno pecivo bez glutena, koncentracije proteina, sirutka, bjelanjak, riža

Rad sadrži: 37 stranica
22 slika
2 tablice
26 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

1.	prof. dr. sc. Ana Bucić-Kojić	predsjednik
2.	prof. dr. sc. Marko Jukić	član-mentor
3.	prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić	član
4.	prof. dr. sc. Mirela Planinić	zamjena člana

Datum obrane: 26. rujna 2024.

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
University Graduate Study
Department of food technologies
Subdepartment of Cereal technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Thesis subject: was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII held on May 22, 2023.
Mentor: Marko Jukić, PhD, prof.

THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF DIFFERENT PROTEIN CONCENTRATES ON THE QUALITY OF GLUTEN-FREE COOKIES

Sara Kovačević, 0113141730

Summary: Since flours with relatively low protein content, as well as starch-based ingredients that do not contain proteins, are often used in the production of gluten-free products, various proteins are frequently added to the recipe to improve both the qualitative and nutritional properties of the product. Therefore, the aim of this thesis was to examine the impact of adding different amounts of whey protein concentrate, egg white, and rice protein on the quality of gluten-free cookies. Samples of gluten-free cookies made from rice flour were produced through trial baking in laboratory conditions, and moisture content and water activity, colour in the CIELab system, dimensional changes of the samples, as well as textural and sensory properties were determined. The results showed that different protein concentrates had varying effects on the quality of the products. Egg white proteins significantly increased the volume of gluten-free cookies and softened the texture, but amounts higher than 10% caused undesirable changes in colour and sensory properties. Rice proteins did not have a significant impact on the physicochemical and sensory properties of the product. The addition of whey protein caused a reduction in water content and activity, improved texture, increased volume, and intensified the colour of the cookies, as well as enhanced sensory properties. It can be concluded that whey proteins can be added in amounts up to 40%, which simultaneously significantly contributes to improving the nutritional properties of gluten-cookies.

Key words: gluten-free cookies, protein concentrate, whey, egg white, rice

Thesis contains: 37 pages
22 figures
2 tables
26 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | | |
|----|---------------------------------------|--------------|
| 1. | Ana Bucić-Kojić, PhD, prof. | chair person |
| 2. | Marko Jukić, PhD, prof. | supervisor |
| 3. | Daliborka Koceva Komlenić, PhD, prof. | member |
| 4. | Mirela Planinić, PhD, prof. | stand-in |

Defence date: September 26, 2024

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

DIPLOMSKI RAD JAVNO JE OBRANJEN DANA

26 rujna 2024

TE OCIJENJEN USPJEHOM

izvrstan(5)

Pred Povjerenstvom za obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Ana Bucić-Kojić

predsjednik

Ana Bucić-Kojić
(potpis)

2. prof. dr. sc. Marko Jukić

član

[Signature]
(potpis)

3. prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić

član

[Signature]
(potpis)

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. GLUTEN	4
2.2. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM	5
2.2.1. Celijakija.....	5
2.2.2. Alergija na pšenicu	6
2.2.3. Necelijakična osjetljivost na gluten/pšenicu	6
2.3. BEZGLUTENSKA PREHRANA	7
2.4. PROIZVODI BEZ GLUTENA	7
2.5. BEZGLUTENSKA ČAJNA PECIVA	10
2.6. ALTERNATIVNI PROTEINI KAO ZAMJENA ZA GLUTEN	11
2.6.1. Proteini bjelanjka jajeta (albumin)	11
2.6.2. Proteini sirutke.....	12
2.6.3. Proteini riže	12
3. EKSPERIMENTALNI DIO	13
3.1. ZADATAK	14
3.2. MATERIJALI	14
3.3. METODE	15
3.3.1. Postupak izrade bezglutenskog čajnog peciva.....	15
3.3.2. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava čajnog peciva bez glutena.....	16
3.3.3. Određivanje boje čajnog peciva bez glutena	17
3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava	17
3.3.5. Statistička obrada podataka	18
4. REZULTATI	19
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA ČAJNOG PECIVA BEZ GLUTENA S DODATKOM RAZLIČITIH PROTEINSKIH KONCENTRATA	20
4.2. REZULTATI ODREĐIVANJA BOJE ČAJNOG PECIVA BEZ GLUTENA S DODATKOM RAZLIČITIH PROTEINSKIH KONCENTRATA	24
4.3. REZULTATI SENZORSKOG OCJENJIVANJA ČAJNOG PECIVA BEZ GLUTENA S DODATKOM RAZLIČITIH PROTEINSKIH KONCENTRATA	26
5. RASPRAVA	29
6. ZAKLJUČCI	33
7. LITERATURA	35

1. UVOD

Gluten je protein prisutan u pšenici, ječmu, raži i njihovim derivatima, koji je posljednjih godina postao tema velikog interesa kako u znanstvenoj zajednici, tako i među širom populacijom. Iako je gluten tisućama godina bio neizostavni dio prehrane ljudi, u novije vrijeme došlo je do značajnog porasta svijesti o potencijalno negativnim učincima glutena na zdravlje. U zadnje vrijeme primjetan je porast broja ljudi koji su osjetljivi na gluten, te se razvijaju mnogobrojni zdravstveni poremećaji poput celijakije ili osjetljivosti na gluten/pšenicu.

Bezglutenska prehrana, koja podrazumijeva eliminaciju svih namirnica koje sadrže gluten, postala je popularna ne samo među osobama s medicinskim stanjima vezanim uz gluten, već i među ljudima koji vjeruju da će im takav režim prehrane donijeti određene zdravstvene koristi, poput poboljšanja probave, povećanja energije ili gubitka kilograma. Povećana incidencija osjetljivosti i intolerancije na gluten, te sve veći broj ljudi koji biraju isključiti gluten iz svoje prehrane, čak i ako nemaju dijagnosticiran poremećaj povezan s glutenom povećava potrebu za proizvodima bez glutena.

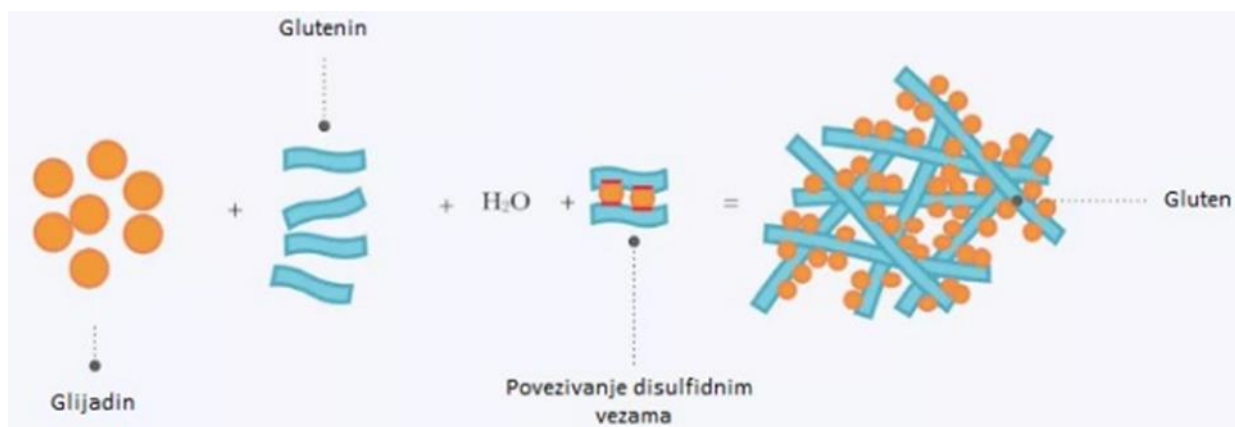
Međutim, ovakva prehrana predmet je brojnih rasprava u znanstvenoj i medicinskoj zajednici, jer postoje i argumenti koji ukazuju na moguće negativne posljedice dugoročne eliminacije glutena iz prehrane, posebno kod osoba koje nemaju stvarnu potrebu za tim. Bezglutenski način prehrane zbog zamjene sastojaka ne zadovoljava potrebe za vitaminima, mineralima ili vlaknima pa se proizvodi bez glutena uglavnom smatraju nutritivno siromašnima.

Budući da se u proizvodnji bezglutenskih proizvoda često koriste brašna s relativno niskim udjelom proteina, ali i škrobni preparati koji ne sadrže proteine, često se u recepturu dodaju različiti proteini kako bi se poboljšala kvalitativna, ali nutritivna svojstva proizvoda. Stoga je zadatak ovog diplomskog rada bio ispitati utjecaj dodatka različitih udjela koncentrata proteina sirutke, bjelanjka jajeta i riže na kvalitetu čajnog peciva bez glutena.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Gluten

Gluten je protein koji nalazimo u zrnu nekih vrsta žitarica, pšenice, ječma i raži i njihovim križnim sortama (pšenoraž). Istraživanje strukture i svojstava glutena seže gotovo 300 godina unatrag, otkako je Beccari opisao prvu izolaciju glutena 1745. godine. Proteini glutena općenito se klasificiraju u dvije frakcije, polimerne glutenine i monomerne glijadine, od kojih svaka sadrži nekoliko skupina proteina. Polimeri glutenina stabilizirani su međulančanim disulfidnim vezama (**Slika 1**).



Slika 1 Struktura glutena (Pendergrass, 2018)

Glutenini se sastoje od peptidnih lanaca povezanih disulfidnim vezama. Jedni su od najvećih prirodnih proteina zbog visoke molekularne mase polimeriziranih oblika. Prema molekularnoj masi dijele se na glutenine niske molekularne mase i glutenine visoke molekularne mase. U grupi glutenina visoke molekularne mase dokazana je imunogenost na oboljele osobe koje nemaju toleranciju na gluten. Proteini gluteninu slične aminokiselinske strukture pronađeni su u ječmu (hordeini) i raži (sekalini), te pokazuju slična imunogena svojstva. Glutenin tijestu daje čvrstoću i manju elastičnost (Balakireva i Zamyatnin, 2016).

Struktura monomernog glijadina sastoji se od ponavljajućeg niza aminokiselina bogatog glutaminom i prolinom. HPLC analizom glijadina identificirano je više od stotinu komponenti koji se mogu grupirati u četiri tipa: α -glijadini, β -glijadini, γ -glijadini i ω -glijadini. Dokazano je da su α -glijadini toksični i imunogeni, a γ -glijadini su imunogeni za oboljele od celijakije.

Glijadin znatno utječe na omekšavanje tijesta i zadržavanje vode (Di Sabatino i Corazza, 2009; Čuković-Čavka i sur., 2012; Wieser, 2007; Ciccocioppo i sur., 2005).

Reološka svojstva glutena (elastičnost, rastezljivost, sposobnost bubrenja) te niska nutritivna vrijednost razlozi su široke uporabe glutena u prehrambenoj industriji i kozmetičkoj industriji (Niewinski, 2008). Proizvodima daje elastičnost, viskoznost, bolju konzistenciju, a pekarskim proizvodima rahlost i volumen.

Većina istraživanja pšeničnog glutena usredotočena je na razumijevanje njegove uloge u određivanju jedinstvenih biomehaničkih svojstava, viskoznosti, rastezljivosti i elastičnosti tijesta napravljenog od pšeničnog brašna. Iako se strukturno srodni proteini nalaze i u raži i ječmu, tijesta od ovih žitarica nemaju ista svojstva kao pšenično tijesto.

2.2. Poremećaji povezani s glutenom

Poremećaji povezani s glutenom imaju veliku pojavnost u općoj populaciji. Gluten sadrži tvari poput prolina i glutamina koji mogu potaknuti imunološki odgovor. Zbog toga gluten može izazvati autoimune bolesti ili alergijske reakcije organizma. Znanstvena zajednica prepoznaje nekoliko poremećaja povezanih s glutenom: celijakiju (autoimuni poremećaj), alergiju na pšenicu (alergijski poremećaj), necelijakičnu osjetljivost na gluten/pšenicu (nije niti autoimuna niti alergijska).

2.2.1. Celijakija

Celijakija je autoimuna, upalna bolest tankog crijeva. Uzrokovana je unosom glutena iz pšenice, ječma i raži. Uzrokuje trajna oštećenja (atrofiju) crijevnih resica u tankom crijevu. Bolest je genetski predisponirana (genetski faktori HLA-DQ2 i HLA-DQ8), češća je u žena nego u muškaraca (2:1) i može se javiti u bilo kojoj životnoj dobi. To je složeni poremećaj koji uključuje širok spektar crijevnih i izvancrijevnih kliničkih simptoma. Klasični simptomi uključuju proljev, abdominalnu bol, povraćanje, nadutost. Izvancrijevne manifestacije koje nastaju kao posljedica upale i nedostatka hranjivih tvari odražavaju se na hematopoezu, funkciju mišića, živčani i endokrinološki sustav. Povezuju se s pojavom umora, zaostajanjem u rastu, odgođenim pubertetom, amenorejom, osteoporozom, artritismom i nizom drugih poremećaja (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019). U Europi ovaj imunološki poremećaj

zahvaća oko 1% populacije, te sve više predstavlja jedan od značajnijih zdravstvenih problema u svijetu (Fasano i Catassi, 2015). Jedini učinkovit tretman u liječenju celijakije je potpuno isključenje glutena iz prehrane.

2.2.2. Alergija na pšenicu

Alergija na pšenicu je imunosna reakcija na proteine iz pšenice – albumin, globulin i gluten. Alergeni pšenice u organizam mogu ući preko sluznica dišnog i gastrointestinalnog trakta, te preko kože što rezultira pojavom različitih dišnih, probavnih i kožnih simptoma kao što su otežano disanje, otok (angioedem), grčevi, povraćanje, proljev, svrbež. U težim slučajevima može doći do anafilaktičkog šoka. Simptomi alergije na pšenicu slični su simptomima celijakije, međutim ne izazivaju trajna oštećenja gastrointestinalne sluznice.

Prevenција simptoma alergije postiže se izbjegavanjem proizvoda koji sadrže pšenicu, te upotrebom antihistaminika i kortikosteroida (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

2.2.3. Necelijakična osjetljivost na gluten/pšenicu

Necelijakična osjetljivost na gluten/pšenicu predloženi je termin za skup simptoma izazvanih unosom glutena kod osoba koje nemaju dokazane autoimune ili alergijske reakcije na gluten (Ludvigsson i sur. 2013). Uključuje gastrointestinalne simptome kao što su abdominalna bol, nadutost i proljev, a najčešći sustavni simptomi su kronični umor (Mastrototaro i sur., 2012), glavobolja, artritis, mialgija, promjene raspoloženja, te promjene na koži poput atopijskog dermatitisa i osipa (Nylund i sur., 2016). U općoj populaciji incidencija ovog poremećaja kreće se od 0,6% do 6%. Češća je u odraslih osoba, a pojavnost je veća kod žena nego u muškaraca (5:1). Simptomi nestaju uvođenjem bezglutenske prehrane i vraćaju se ponovnom konzumacijom proizvoda koji ga sadrže (Sapone i sur., 2010; Biesiekierski i sur., 2013). Ne postoje specifični standardizirani testovi za dijagnozu necelijakične osjetljivosti na gluten (Igbinedion i sur., 2017). Dijagnoza se postavlja putem dvostruko slijepih testova s placebom ili glutenom, a nakon što se isključe dijagnoze celijakije i alergije na pšenicu (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Važno je napomenuti da poremećaji povezani s glutenom imaju različitu kliničku sliku, odnosno čitav niz simptoma koje je ponekad teško ispravno protumačiti. Zbog toga je iznimno važno te poremećaje ispravno dijagnosticirati, a tek onda pristupiti njihovom liječenju. Za

navedene poremećaje ne postoji specifičan lijek. Jedini način za ublažavanje simptoma je bezglutenska prehrana (Fasano, 2012). Potpuno isključenje glutena iz prehrane uzrokovati će remisiju kod osoba s poremećajem vezanim uz gluten.

2.3. Bezglutenska prehrana

S obzirom da je i najmanja količina glutena štetna, sva hrana koja sadržava gluten iz pšenice, ječma, raži ili njihovih prerađevina moraju se izbjegavati (Di Sabatino i Corazza, 2009). Osobe koje izbjegavaju gluten, osim izbjegavanja pekarskih proizvoda (kruh, kolači) i tjestenine, moraju paziti i na proizvode koji ga sadrže kao funkcionalni sastojak (mesne prerađevine, umaci, topljeni sir, instant juhe i ostali gotovi i polugotovi proizvodi kojima se gluten dodaje kao aditiv radi poboljšanja svojstava) (Ronie i sur., 2021). Potreban je određeni oprez i s lijekovima u kojima se pšenični gluten (ili gluten drugih žitarica) koristi kao neaktivna tvar.

Neka istraživanja pokazuju kako je moguće ograničiti unos glutena prehranom bez štetnih posljedica. Dnevna doza glutena koji osobe mogu tolerirati značajno varira i kreće se od svega 10 mg do čak 100 mg na dan (Hischenhuber i sur., 2006; Collin, 2004), no naknadne studije pokazuju da taj unos ne bi trebao prelaziti 50 mg na dan (Bai i Ciacci, 2017). Ipak, dokazano je kako dnevni unos do 10 mg neće izazvati nikakve simptome čak ni kod najosjetljivijih osoba (Akoberg i Thomas, 2008).

Osobe kojima je dijagnosticiran neki od poremećaja povezanih s glutenom, kao posljedicu oštećenja sluznice crijeva, često pokazuju malapsorpciju, odnosno nepotpunu apsorpciju hranjivih tvari. Njihov nutritivni status stoga je često neadekvatan. Stoga se pred proizvođače bezglutenskih proizvoda, osim tehnoloških zahtjeva same proizvodnje, postavljaju i zahtjevi za određenom nutritivnom kvalitetom proizvoda.

2.4. Proizvodi bez glutena

Eliminacija i smanjenje unosa glutena u prehrani posljednjih godina drastično raste. Trend povećanja zahtjeva za bezglutenskim proizvodima uzrokovan je ne samo porastom dijagnoza poremećaja vezanih uz gluten nego i povećanjem broja konzumenata koji smatraju da će bezglutenska prehrana utjecati na boljitak njihova zdravstvenog stanja (Croall i sur., 2019). Očekivano, potrošnja bezglutenskih proizvoda i u budućnosti će rasti (Forbes, 2015). Prosječna cijena bezglutenske hrane je veća od uobičajene hrane, a cijena je vrlo često jedan od glavnih

čimbenika koji usmjerava kupovinu od strane potrošača (Jnawali i sur., 2016). Na **Slici 2** prikazana je međunarodna oznaka za proizvode koji ne sadrže gluten.



Slika 2 Međunarodna oznaka za proizvode bez glutena (Cagnasso i sur., 2023)

Odsustvo glutena koji u namirnicama služi kao svojevrsno „ljepilo“ te poboljšava njihova funkcionalna svojstva predstavlja veliki izazov u tehnologiji pripreme proizvoda bez glutena.

Takvi proizvodi moraju biti usporedivi sa proizvodima koji sadrže gluten u sadržaju nutritivnih vrijednosti i imati prihvatljive senzorske karakteristike te reološka svojstva. U proizvodima bez glutena upravo su senzorska svojstva hrane značajno narušena, od teksture, okusa, gustoće, promjene boje i dr. (Gustafson, 2016).

Stoga se u pekarskoj proizvodnji koriste alternativni sastojci koji mogu poboljšati kvalitetu bezglutenskih pekarskih proizvoda kao što su alternativni škrobovi i brašna, hidrokoloidi, proteini, enzimi i lipidi (Naqash i sur., 2017; Roman i sur., 2019).

Vode se brojne rasprave o tome može li se zob koristiti u proizvodnji proizvoda bez glutena. Neka istraživanja pokazuju da zob nije ni toksična ni imunogena za osobe s celijakijom, te da većina odraslih mogu konzumirati male količine zobi koja nije kontaminirana glutenom bez oštećenja na mukozi crijeva (Hardman i sur., 1997). U **Tablici 1** navedene su neke alternativne bezglutenske opcije koje se koriste u prehrambenoj industriji.

Tablica 1 Prikaz nekih bezglutenskih zamjena u proizvodnji različitih prehrambenih proizvoda bez glutena i njihov utjecaj na završni proizvod (Hosseini i sur., 2018)

Vrsta brašna	Zamjena za gluten	Bezgluteinski proizvod	Rezultat
Proso	Ksantan guma	Kruh	Usporava kvarenje
Sirak	Metilceluloza i izolirani škrob	Kruh	Poboljšava zadržavanje plinova, volumen i teksturu kruha
Sirak	α -amilaze, proteaze, emulgatori	Kruh	Omekšava teksturu kruha
Sirak	Ksantan guma, sojino brašno i kukuruzni škrob	Kruh	Povećanjem udjela kukuruznog škroba povećava se volumen kruha
Sirak	Kukuruzni škrob i preželatinizirani škrob	Kruh	Povećava kvalitetu kruha
Sirak	Raženi pentozani	Kruh	Povećava volumen i usporava kvarenje
Sirak	Metilceluloza i biljna mast	Kruh	Omekšava kruh
Riža	Emulgator, Ksantan i guar gume, hidroproksil metilceluloza, pektin	Kruh	Daju najbolju strukturu i volumen
Riža	α -karagenan i karboksimetil celuloza pomješana s natrijevim stearoil-2-laktilatom	Kruh	Usporava kvarenje
Riža	Modificirani škrob i monogliceridi	Tjestenina	Poboljšanje ljepljivosti
Riža	Tretiranje brašna toplinom i vlagom	Tjestenina	Poboljšava organoleptička svojstva
Riža	Ksantan i guar guma	Kolači	Usporava kvarenje
Zob	Obrada hidrostatskim tlakom	Kruh	Povećanje elastičnosti kruha zbog veće želatinizacije škroba i povezivanja proteina
Kukuruz	Hidrokoloidi i mliječni proteini	Hidrokoloidi i mliječni proteini	Poboljšava teksturu i trajnost
Kukuruz i zob	Karboksimetil celuloza i kitozan	Špageti	Proizvodnja obogaćenog tijesta sa zobi bez utjecaja na kvalitetu
Mješavina kukuruza i heljde	-	Kruh	Poboljšavanje teksture bez utjecaja na volumen

2.5. Bezglutenska čajna peciva

Prema nekim istraživanjima osobe koje pokazuju osjetljivost ili intoleranciju na gluten u prehrani se najviše oslanjaju na kekse ili krekere kao izvor ugljikohidrata (Cairano, Galgano, Tolve, Carus, Condelli, 2018.).

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica, čajna peciva spadaju u skupinu finih pekarskih proizvoda koji su definirani kao proizvodi specifičnih senzorskih svojstava proizvedenih različitim tehnološkim procesima, a sastoje se od mlinskih proizvoda, šećera, masnoća i drugih sastojaka kojima se ističe njihova specifičnost. Osim čajnog peciva, u tu skupinu spadaju i proizvodi poput trajnog slanog peciva, vafel lista, vafel proizvoda, medenjaka, kolača, paprenjaka, makronena, biskvita i piškota. Prema prethodno navedenom Pravilniku čajno pecivo je definirano kao: „Proizvod dobiven pečenjem oblikovanog tijesta, a sadrži najmanje 10% masti ili ulja i najviše 5% vode, računato na ukupnu masu gotovog proizvoda.“, a s obzirom na udio masnoća u gotovom proizvodu čajna peciva se dijele na desertna čajna peciva s najmanje 20 % masnoće, čajna peciva prve kvalitete s najmanje 15% masnoće te čajna peciva druge kvalitete koja imaju najmanje 10% masnoće (NN 101/2022).

Pšenica je najčešća žitarica čije se brašno koristi za proizvodnju pekarskih proizvoda (kruh, tjestenina i dr.), a ujedno i finih pekarskih proizvoda u čiju skupinu čajna peciva pripadaju. Korištenje pšeničnog brašna utječe na teksturu, oblik i čvrstoću proizvoda (Schober i sur., 2003). Razvoj mreže glutena u keksima je ograničen zbog visoke razine masti i šećera. U proizvodnji čajnih peciva zamjena pšeničnog brašna bezglutenskim brašnom lakša je nego u proizvodnji kruha i tijesta jer stvaranje glutenske mreže nije temeljno (Cairano, Galgano, Tolve, Carus, Condelli, 2018).

Čajna peciva se obično ocjenjuju prema sljedećim parametrima: faktor širenja, uzorak pukotina, lomna čvrstoća i senzorska analiza kao najvažnije svojstvo kvalitete (Xu, Zhang, Wang, Li, 2020).

Proces proizvodnje bezglutenskih čajnih peciva sličan je postupku proizvodnje konvencionalnih čajnih peciva. Osnovna razlika je u upotrebi sirovina. U izradi bezglutenskih čajnih peciva najčešće se koriste rižino i kukuruzno brašno, u kombinaciji s drugim brašnima, škrobom i/ili proteinima kako bi se poboljšala funkcionalna svojstva i kvaliteta proizvoda (Xu i sur., 2020). Preferiraju se brašna s nižim udjelom proteina.

Iako u proizvodnji čajnih peciva gluten nema primarnu ulogu, njegov nedostatak smanjuje kvalitetu proizvoda (Engelson i Atwell, 2008), te je korištenje hidrokoloida način za postizanje željene kvalitete. Najčešće korištena je ksantan guma čijom se uporabom povećava volumen, poboljšava tekstura proizvoda, smanjuje lomna čvrstoća, poboljšavaju senzorska svojstva, te produžuje rok trajanja.

Šećer je jedan od bitnih sastojaka u pripremi čajnih peciva s naglaskom na visoku kalorijsku vrijednost. Zbog toga se često koriste alternativni šećeri poput umjetnog zaslađivača i kukuruznog sirupa.

2.6. Alternativni proteini kao zamjena za gluten

Proteini su, uz ugljikohidrate i lipide osnovni makronutrijenti u ljudskoj prehrani. Osim gradivne uloge, 10-20% dnevno potrebne energije dolazi od proteina. Budući je gluten protein, u bezglutenskoj prehrani nužno je koristiti alternativne proteine biljnog i životinjskog porijekla. Među visokoproteinske izvore životinjskog porijekla pripadaju oni na bazi mlijeka i jaja što se koristi za povećanje sadržaja proteina i poboljšanje profila aminokiselina u prehrani bez glutena. Proteini životinjskog podrijetla imaju dobru topljivost, visok kapacitet pjenjenja i emulgiranja, te visoku stabilnost. Proteini, koji se koriste kao strukturni agensi, poboljšavaju fizička svojstva, mehaničku čvrstoću i stabilnost namirnica.

2.6.1. Proteini bjelanjka jajeta (albumin)

Najzastupljeniji protein krvne plazme koji se neprestano stvara u jetri. Ima puno važnih uloga poput održavanja osmotskog tlaka krvne plazme, prijenosa hormona i masnih kiselina. Sastojci obogaćeni proteinima (albumin, kolagen, soja i grašak) u bezglutenskom kruhu povećavaju sadržaj proteina i aminokiselina. Kruh obogaćen proteinom albumina pokazuje poboljšanu strukturu i kvalitetu kruha te kvalitetnija senzorska svojstva. Određene komponente albumina i globulina predstavljaju problem kod pojave alergija na pšenicu te reakcije poput mučnine, urtikarije, bola u trbuhu te anafilaksije. Albumin se smatra dobrim izvorom za obogaćivanje kruha proteinom bez glutena jer ima sposobnosti stabilizacije pjene koja pomaže u zadržavanju plina te daje bolju strukturu kruhu. Biljni proteini poput proteina graška i soje imaju sposobnost zadržavanja vode te na taj način tijestu daju bolja mehanička svojstva i čine proizvod mekšim i elastičnim. (Mir, Shah, Hamdani, 2021).

2.6.2. Proteini sirutke

Sirutka je tekućina koja nastaje kao nusproizvod pri tehnološkom procesu proizvodnje sira, odnosno sirenja mlijeka. U prošlosti se smatrala otpadnim materijalom te se bacala, a zatim koristila kao krmivo. U ljudsku je prehranu uvedena nakon spoznaje da predstavlja izvanredan izvor visokovrijednih proteina. Proteklih godina zanimanje za sirutku znatno je poraslo.

Proteini sirutke globularni su proteini (albumini, globulini) i čine oko 20% svih mliječnih bjelančevina. Lako su probavljivi i potpuno se iskorištavaju u ljudskom organizmu. Zbog svojih nutritivnih i bioloških svojstava sve češće se koriste u prehrambenoj industriji.

Proteini sirutke poboljšavaju funkcionalna, nutritivna i senzorska svojstva pekarskih proizvoda i tjestenina. Poboljšavaju strukturu, vezivanje vode, zadržavanje vlage u gotovom proizvodu što pridonosi percepciji svježine proizvoda. Izolati sirutke savršeni su za osobe koje su osjetljive na gluten jer sadrže preko 80% proteina te manju količinu laktoze i masti.

2.6.3. Proteini riže

Rižino brašno pripada među najbolje izvore biljnih proteina. Izolati i koncentрати proteina riže sadrže preko 80% proteina te su bogati B vitaminima i mineralima poput kalija, fosfora i željeza. Hipoalergeni su i imaju visoku probavljivost, pa su dobar izbor za osobe koje su osjetljive na gluten te uz to imaju ulogu u oporavku mišićnog tkiva i rasta. Prema istraživanjima smanjuju lomnu čvrstoću i poboljšavaju teksturu čajnog peciva. Dokazano su sigurni za oboljele od celijakije (Xu, Zhang, Wang, Li, 2020.).

Nakon obrade proteina riže enzimom transglutaminazom poboljšavaju se tekstura, elastičnost i konzistencija tijesta što ih čine prikladnim za izradu kruha i drugih sličnih proizvoda bez glutena. Enzim transglutaminaza potiče stvaranje križnih veza između fragmenata proteina prisutnih u riži. Također je utvrđeno da se tijestu povećava sposobnost vezanja vode što rezultira strukturnom modifikacijom proteina riže. (Gujral i Rosell, 2004; Pongjaruvat i sur., 2014; Shin i sur., 2010).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Zadatak

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih udjela proteinskih koncentrata (sirutke, bjelanjka jajeta i riže) na fizikalno-kemijska i senzorska svojstva čajnog peciva bez glutena. Kao kontrolni uzorak služio je uzorak čajnog peciva proizveden od rižinog brašna bez dodatka koncentrata proteina. Koncentrati proteina dodavani su u količinama od 10, 20, 30 i 40% kao zamjena za rižino brašno da bi se ispitalo kako različite vrste proteina u različitim koncentracijama utječu na udio vode, dimenzije, teksturu, boju i senzorska svojstva čajnog peciva te da bi se utvrdile eventualne nepoželjne promjene u kvaliteti.

3.2. Materijali

Za proizvodnju čajnog peciva bez glutena su korišteni:

- rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska)
- koncentrat proteina sirutke WPC 80 (SFD Nutrition, Opole, Poljska),
- koncentrat proteina bjelanjka jajeta (GymBeam, Berlin-Gartenfeld, Njemačka),
- koncentrat rižinog proteina (GymBeam, Berlin-Gartenfeld, Njemačka),
- ksantan guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK),
- margarin (Zvijezda plus d.o.o., Zagreb, Hrvatska),
- prašak za pecivo (Dr. August Oetker KG, Bielfeld, Njemačka),
- šećer kristal (saharoza),
- kuhinjska sol.



Slika 3 Koncentrati proteina (sirutke, bjelanjka, riže) korišteni u radu

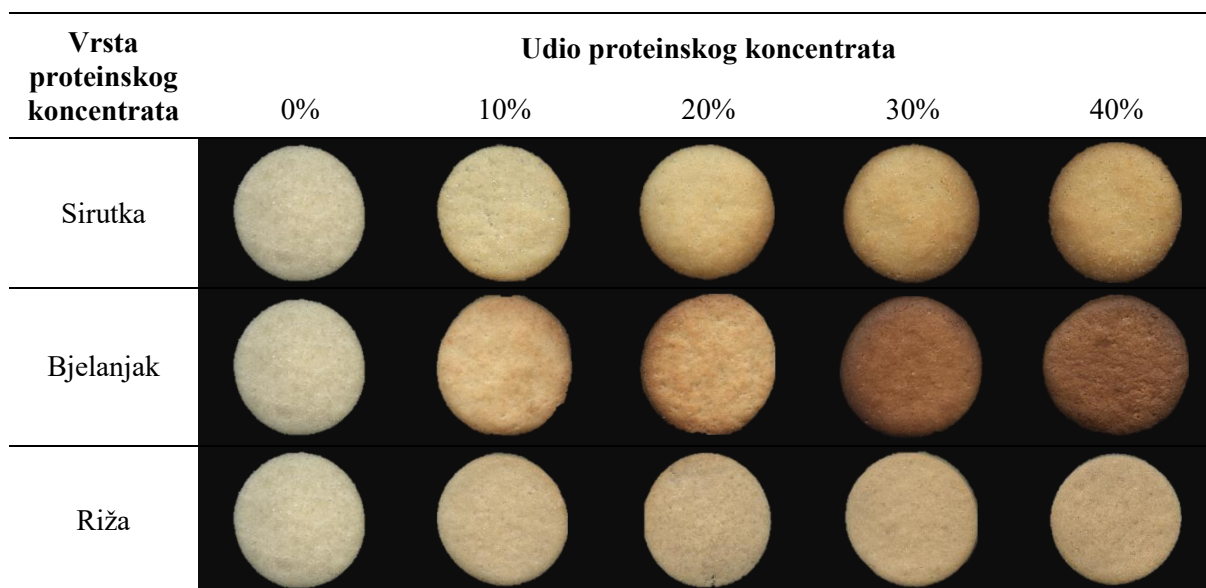
3.3. Metode

3.3.1. Postupak izrade bezglutenskog čajnog peciva

Potrebne količine sirovina za izradu čajnog peciva bez glutena prikazane su u Tablici 2. Na početku potrebno je izvagati prethodno navedene sastojke na vagi uz točnost $\pm 0,01$ g. Nakon vaganja slijedi miješanje masnoće, šećera, soli i NaHCO_3 u laboratorijskoj miješalici najsporijom brzinom 1 tijekom 3 minute. Nakon toga slijedi dodatak destilirane vode, te miješanje najsporijom brzinom 1 tijekom 1 minute, a potom još 1 minutu uz povećanje brzine miješanja. Na samom kraju slijedi dodatak brašna ili prethodno pripremljene smjese brašna i koncentrata proteina te ksantan gume uz miješanje tijekom 2 minute te čišćenje stijenki posude svakih 30 sekundi. Kada se miješanje završi tijesto je potrebno sakupiti ručno i okruglo oblikovati, zatim zapakirati u PVC vrećicu i ostaviti u hladnjaku 30 – 60 minuta. Nakon toga, slijedi postupak valjanja tijesta na debljinu od 7 mm, a potom slijedi izrezivanje 6 okruglih oblika promjera 60 mm. Pečenje tijesta se provodi tijekom 12 minuta te se čajno pecivo hladi 30 minuta nakon čega se provode analize.

Tablica 2 Potrebne količine sastojaka za proizvodnju čajnog peciva bez glutena

Sastojci	Količine (g/100 g brašna)				
Rižino brašno	100	90	80	70	60
Koncentrat proteina	0	10	20	30	40
Ksantan guma			3		
Margarin			40		
Šećer			42		
Sol			1,25		
Prašak za pecivo			1,1		
Voda			22		



Slika 4 Prikaz uzoraka čajnog peciva bez glutena s dodatkom različitih proteinskih koncentrata

3.3.2. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava čajnog peciva bez glutena

Određivanje udjela i aktiviteta vode

Određivanja udjela vode provedeno je metodom infracrvenog toplinskog sušenja uz upotrebu uređaja MOC-120H (Shimadzu, Japan). Za ovaj postupak potrebno je usitniti oko 2 g čajnog peciva bez glutena te ravnomjerno, u tankom sloju rasporediti po posudi za uzorak, kako bi se dobili što točniji rezultati, te nakon 10 minuta očitati dobivene rezultate.

Aktivitet vode određen pomoću uređaja Hygropalm AW1 (Rotronic, New York, SAD).

Određivanje dimenzija

Za određivanje promjera čajnih peciva bez glutena složeno je 6 komada bezglutenskih čajnih peciva jednog pored drugog te se dužina izmjerila ravnalom. Da bi se dobili što precizniji rezultati mjerenje se ponavljalo na način da se svaki komad zarotirao za 90 stupnjeva (AACC, 1999.). Isti postupak proveden je i za određivanje debljine, pri čemu su se čajna peciva bez glutena slagala jedno na drugo i zatim se visina izmjerila ravnalom. Faktor širenja izračunat je

kao promjer/debljina x 10. Za određivanje specifičnog volumena bezglutenskog čajnog peciva korišten je uređaj za lasersku topografiju Volscan Profiler (Stable Micro Systems, Velika Britanija).

Određivanje teksturalnih svojstava

Postupak određivanja teksture čajnih peciva u ovom diplomskom radu proveden je uz pomoć uređaja TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Velika Britanija) metodom savijanja/lomljenja uzorka u tri točke pri brzini sonde od 1 mm/s do trenutka pucanja uzorka. Dobiveni podaci su analizirani s Texture Exponent 32 softverom, a očitani su sila lomljenja (N) i dubina prodiranja sonde (mm) do trenutka pucanja..

3.3.3. Određivanje boje čajnog peciva bez glutena

Određivanje boje odrađeno je na površini pečenoog čajnog peciva bez glutena. Pri određivanju boje koristio se kolorimetar CR-400 (Konica Minolta, Japan). Struktura kolorimetra sačinjena je od mjerne glave s otvorom promjera 8mm, a princip određivanja boje temelji se na komponentama 3D prostora boja koji se zove CIEL*a*b* prostor boja. Boje u ovom sustavu opisane su pomoću dvije kromatske osi, pri čemu je a^* komponenta koja opisuje odnos između crvene (pozitivne vrijednosti) i zelene boje (negativne vrijednosti), dok b^* komponenta opisuje odnos između žute (pozitivne vrijednosti) i plave boje (negativne vrijednosti). Akromatska L^* komponenta određuje svjetlinu i mjeri se od 0 (vrijednost za crnu) do 100 (vrijednost za bijelu). Pomoću izmjerenih vrijednosti L^* , a^* i b^* komponenti boje, izračunata je ukupna promjena boje (ΔE) u odnosu na kontrolni uzorak (Mokrzycki i Tatol, 2012).

3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava

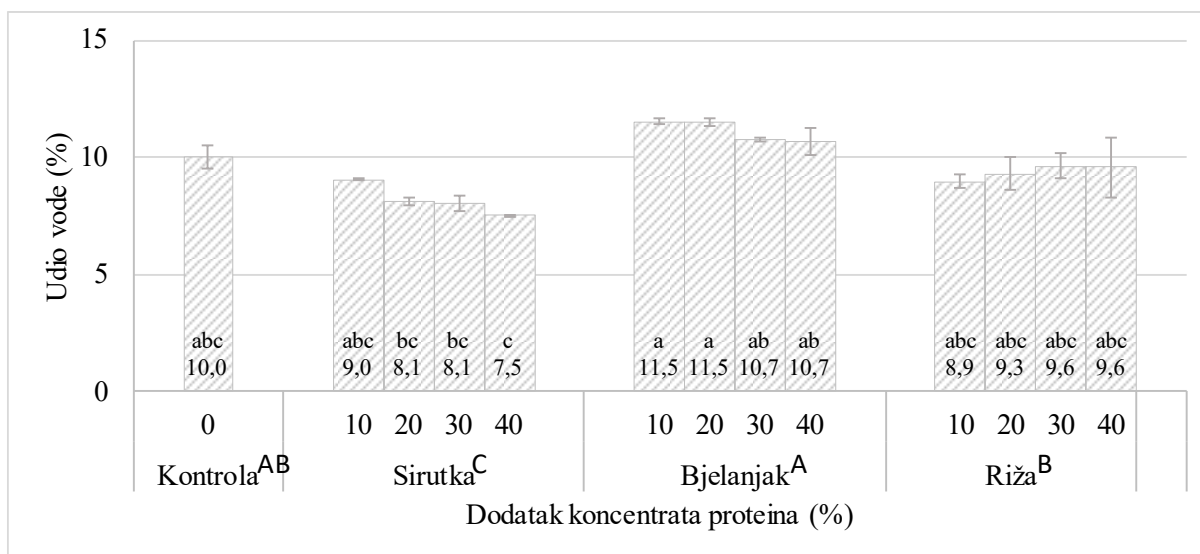
Za senzorsko ocjenjivanje korištena je hedonistička skala od 1 do 9, pri čemu broj 1 označava naročito nepoželjan uzorak, dok broj 9 označava naročito visoko poželjan uzorak. Ispitivači su ocjenjivali sljedeće karakteristike: vanjski izgled, boju, teksturu, miris, okus, te ukupni dojam. U senzorskom ispitivanju sudjelovalo je 9 ispitivača (studenti i zaposlenici Prehrambeno-tehnološkog fakuleta Osijek).

3.3.5. Statistička obrada podataka

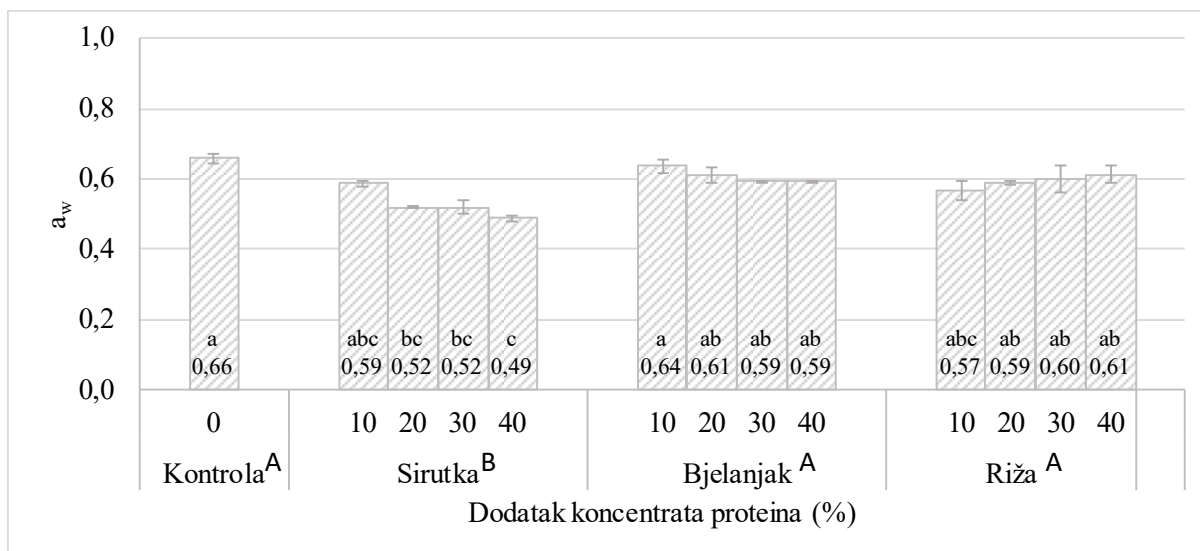
Utjecaj dodatka različitih koncentrata proteina na kvalitativne parametre čajnog peciva bez glutena ispitan je analizom varijance (one-way ANOVA) i Tukeyevim HSD testom uz pomoć programa XLSTAT (Addinsoft, New York, NY, USA).

4. REZULTATI

4.1. Rezultati određivanja fizikalno-kemijskih svojstava čajnog peciva bez glutena s dodatkom različitih proteinskih koncentrata

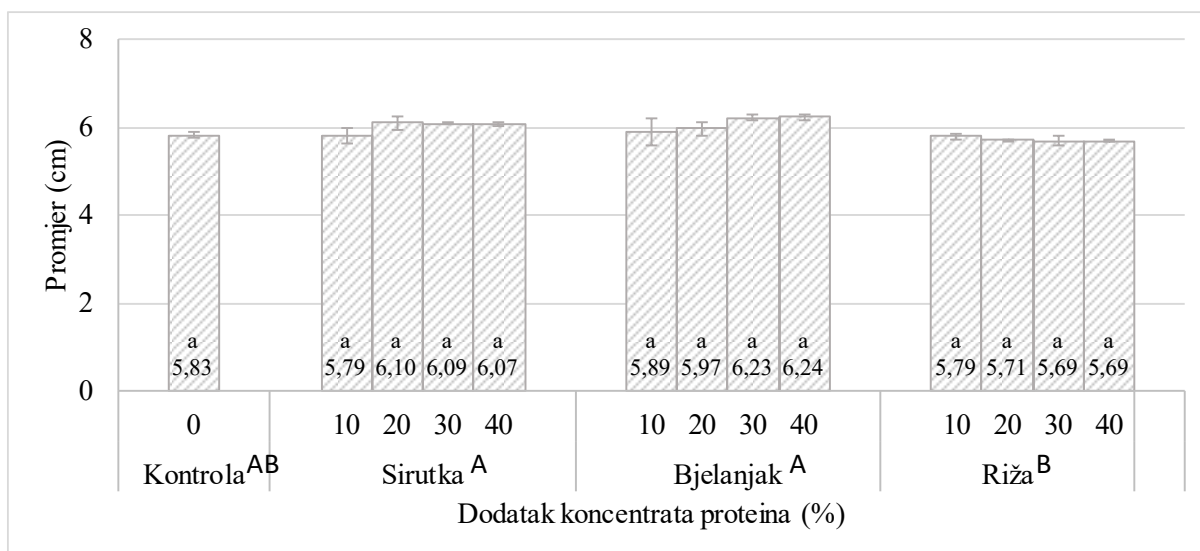


Slika 5 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na udio vode u čajnom pecivu bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)

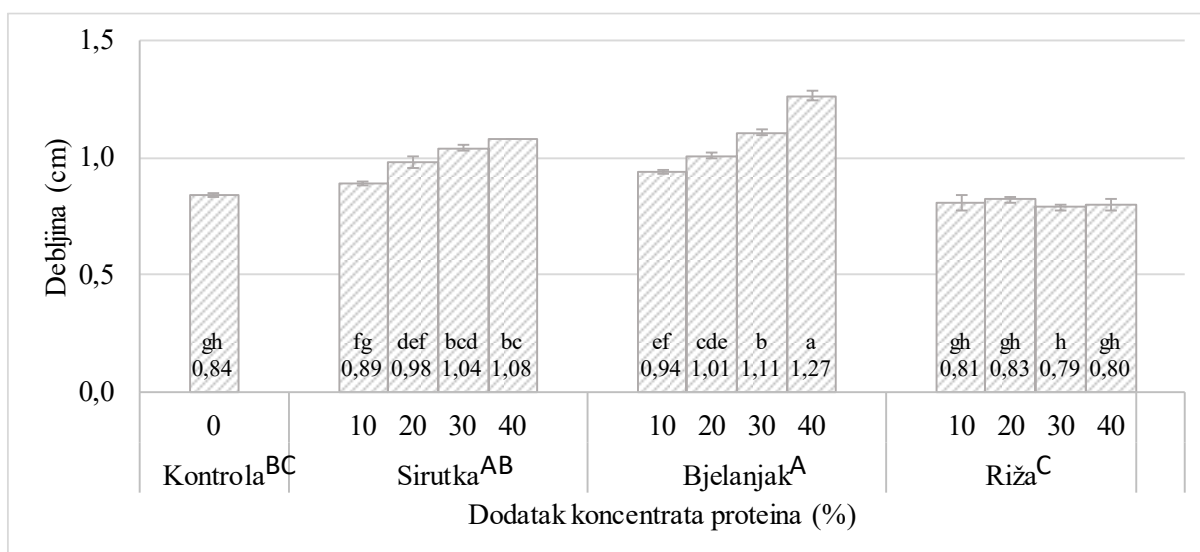


Slika 6 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na aktivitet vode (a_w) u čajnom pecivu bez glutena

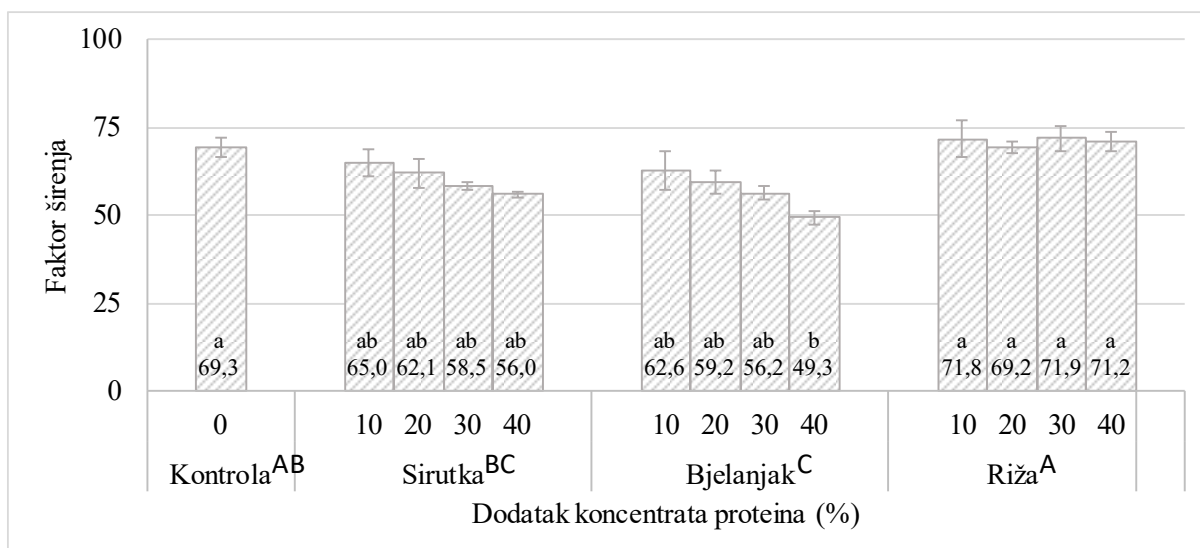
(prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



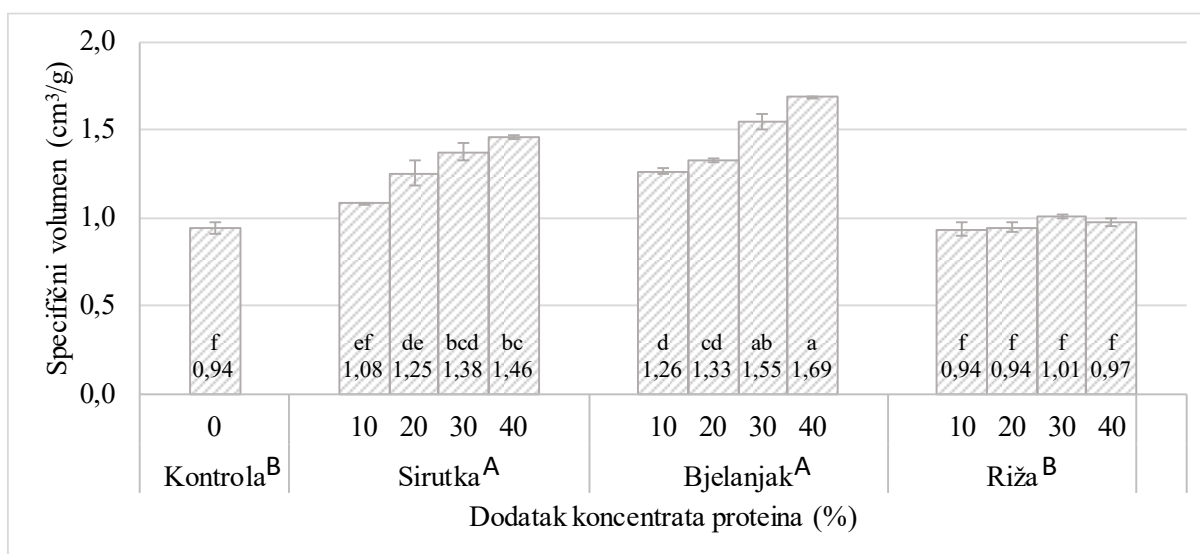
Slika 7 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na promjer čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



Slika 8 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na debljinu čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)

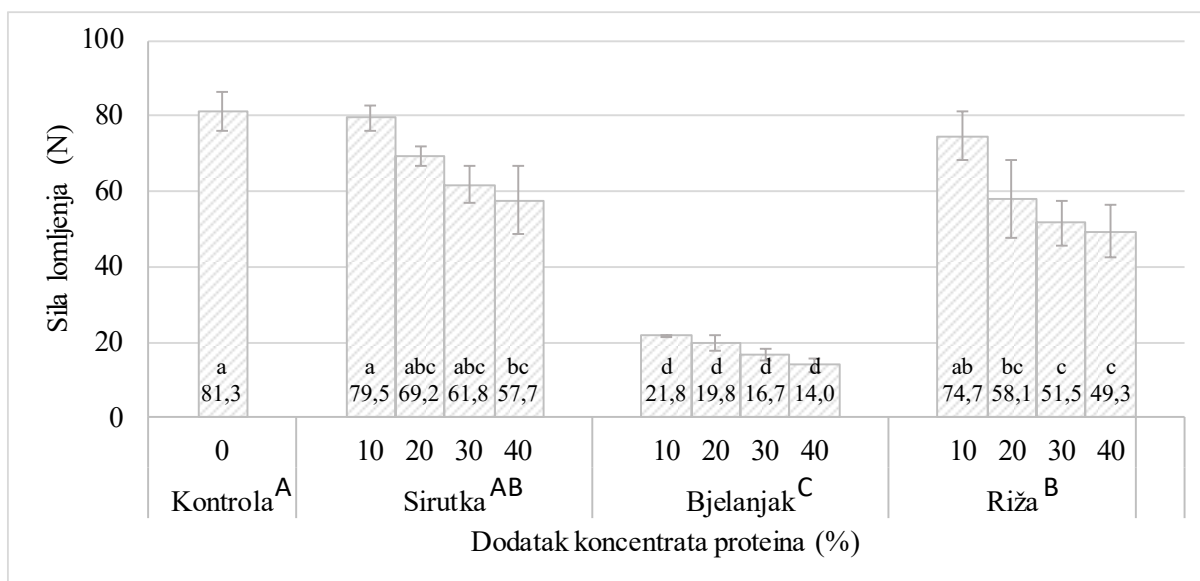


Slika 9 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na faktor širenja čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)

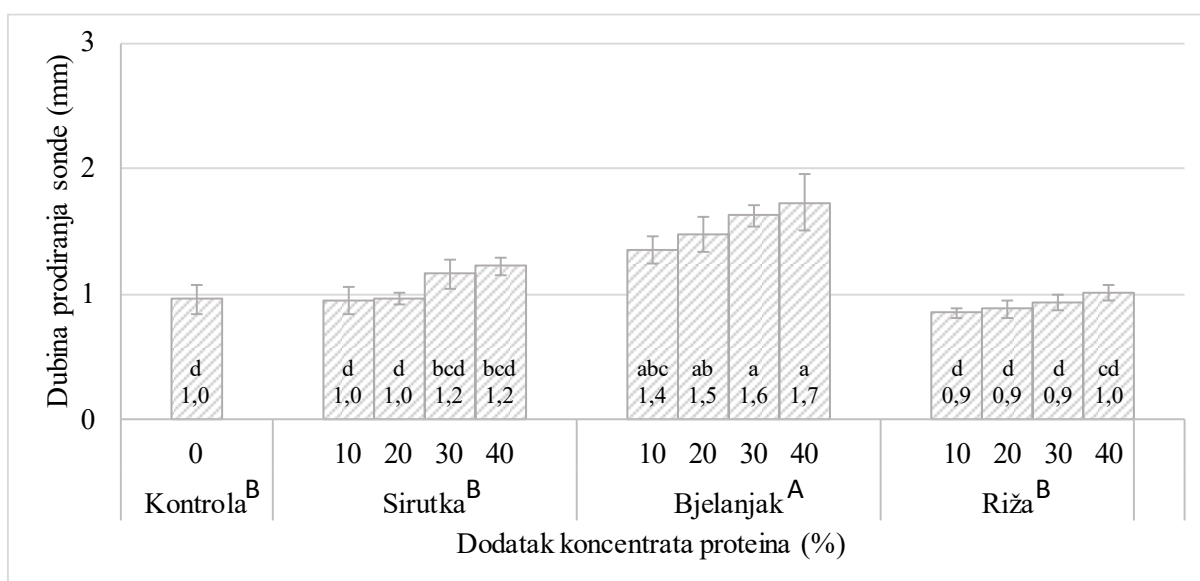


Slika 10 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na specifični volumen čajnog peciva bez glutena

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



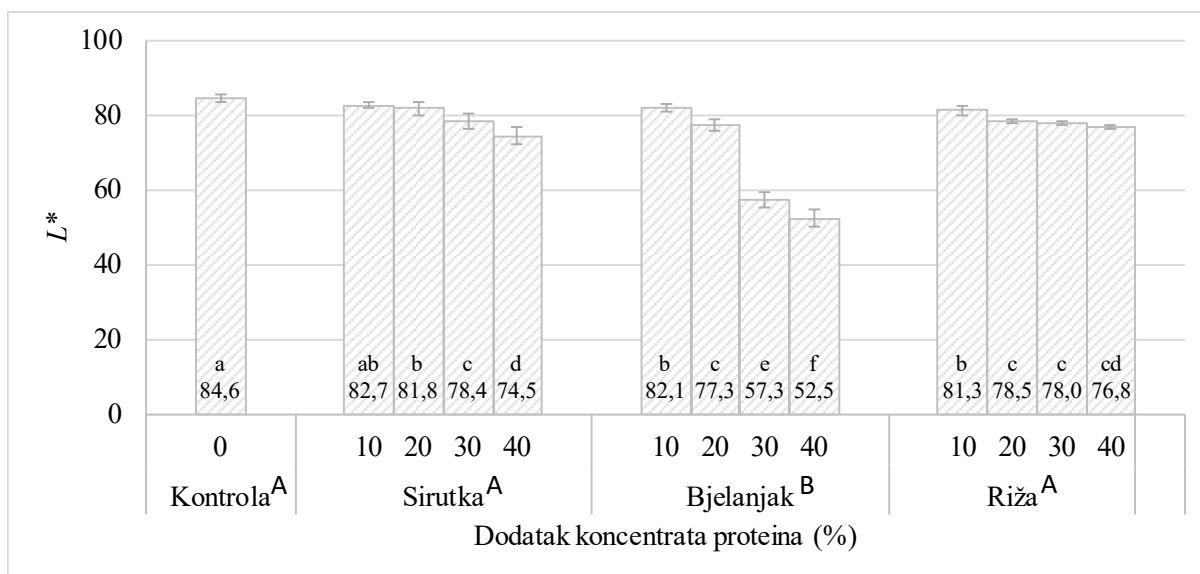
Slika 11 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na silu lomljenja čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



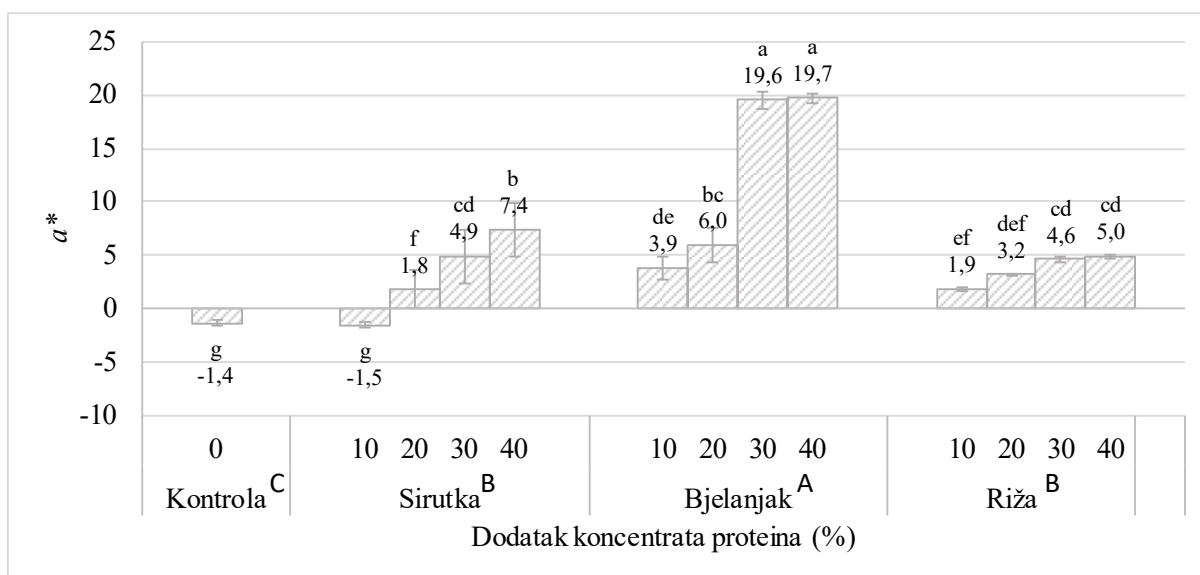
Slika 12 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na dubinu prodiranja sonde do trenutka lomljenja čajnog peciva bez glutena

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

4.2. Rezultati određivanja boje čajnog peciva bez glutena s dodatkom različitih proteinskih koncentrata

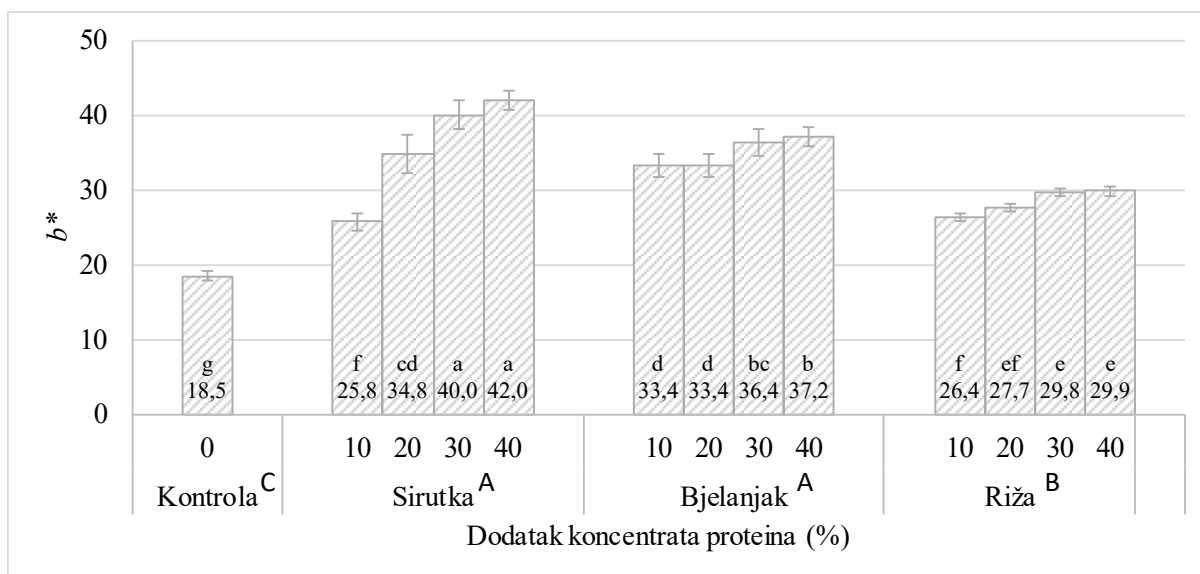


Slika 13 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na svjetlinu (L^*) čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



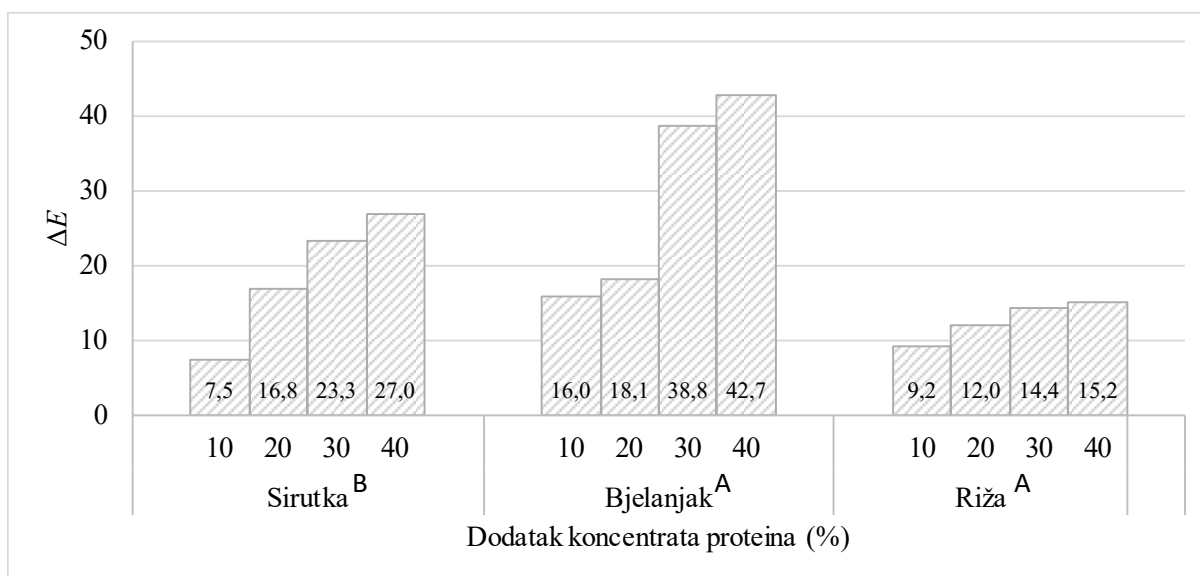
Slika 14 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na promjenu kromatske komponente zeleno-crvene boje (a^*) čajnog peciva bez glutena

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



Slika 15 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na promjenu kromatske komponente plavo-žute boje (b^*) čajnog peciva bez glutena

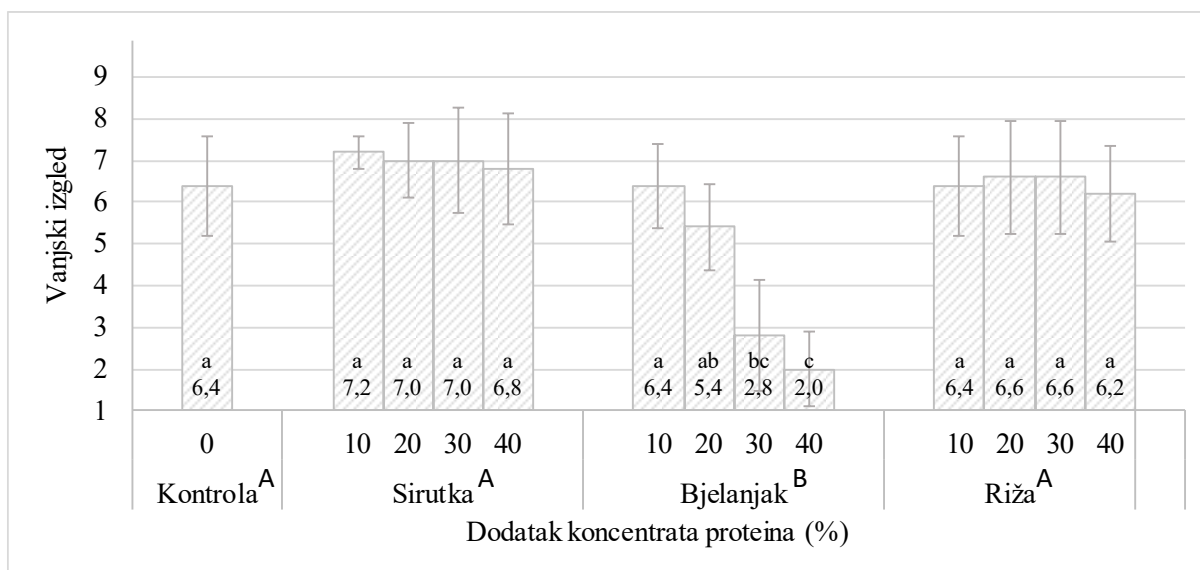
(prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



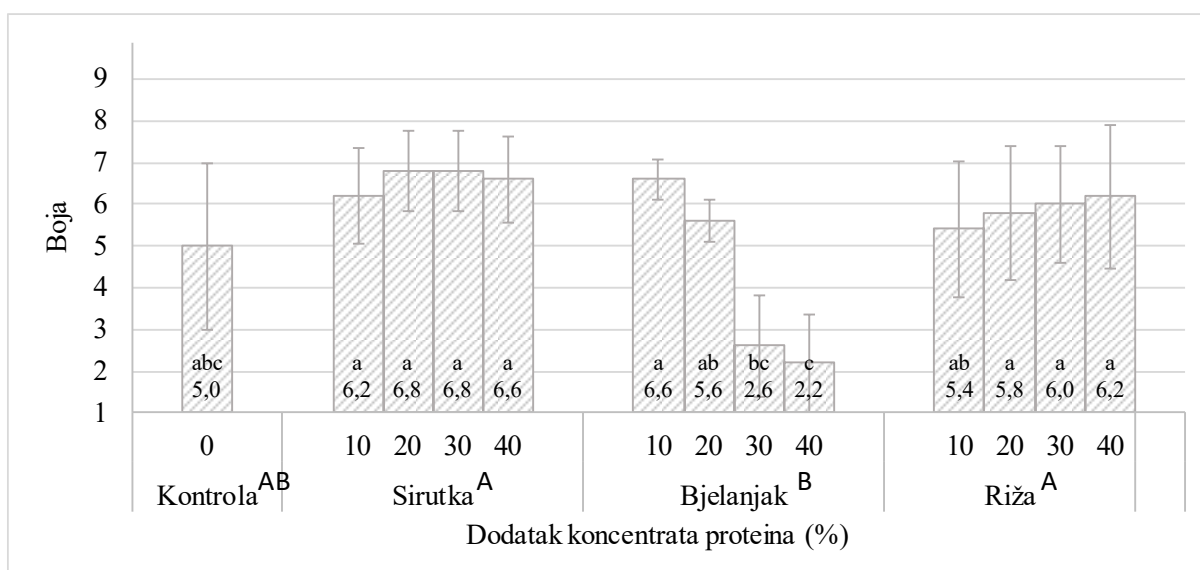
Slika 16 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na ukupnu promjenu boje (ΔE) čajnog peciva bez glutena

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

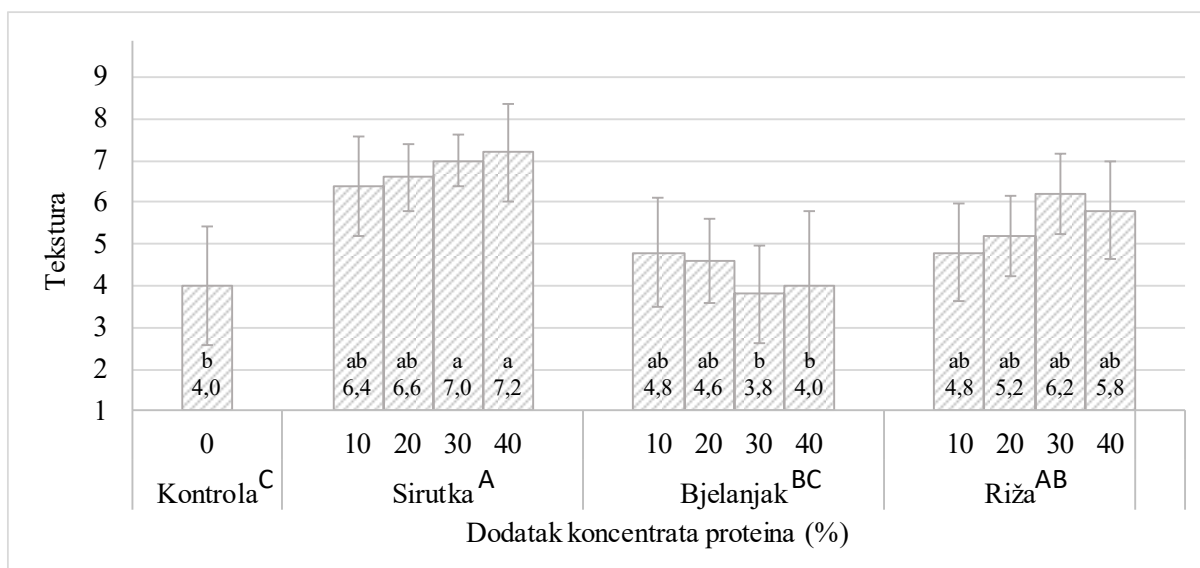
4.3. Rezultati senzorskog ocjenjivanja čajnog peciva bez glutena s dodatkom različitih proteinskih koncentrata



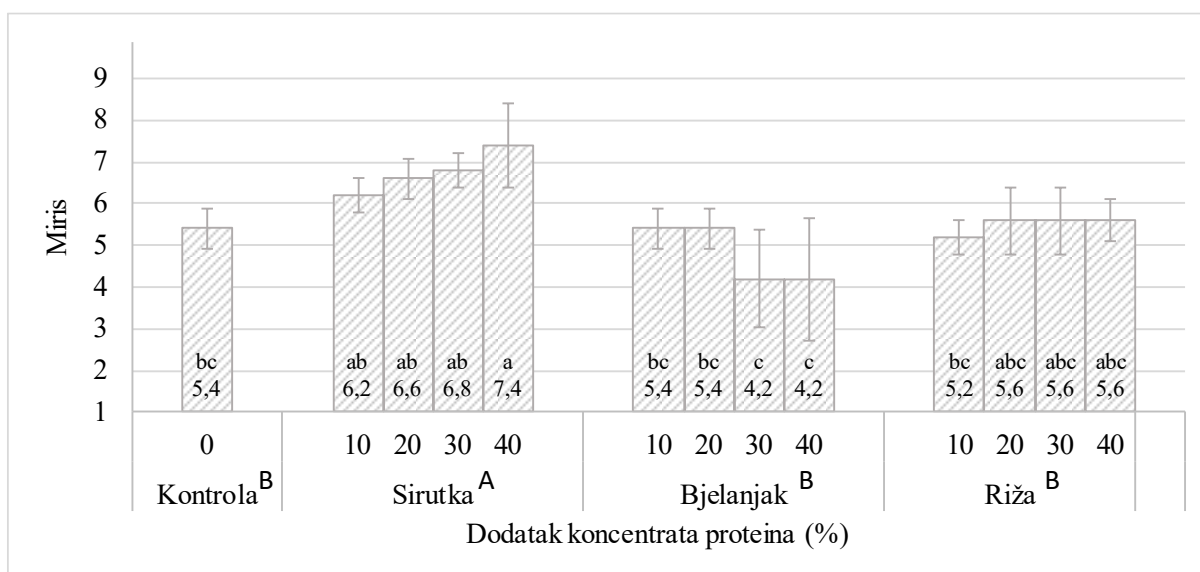
Slika 17 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na vanjski izgled čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



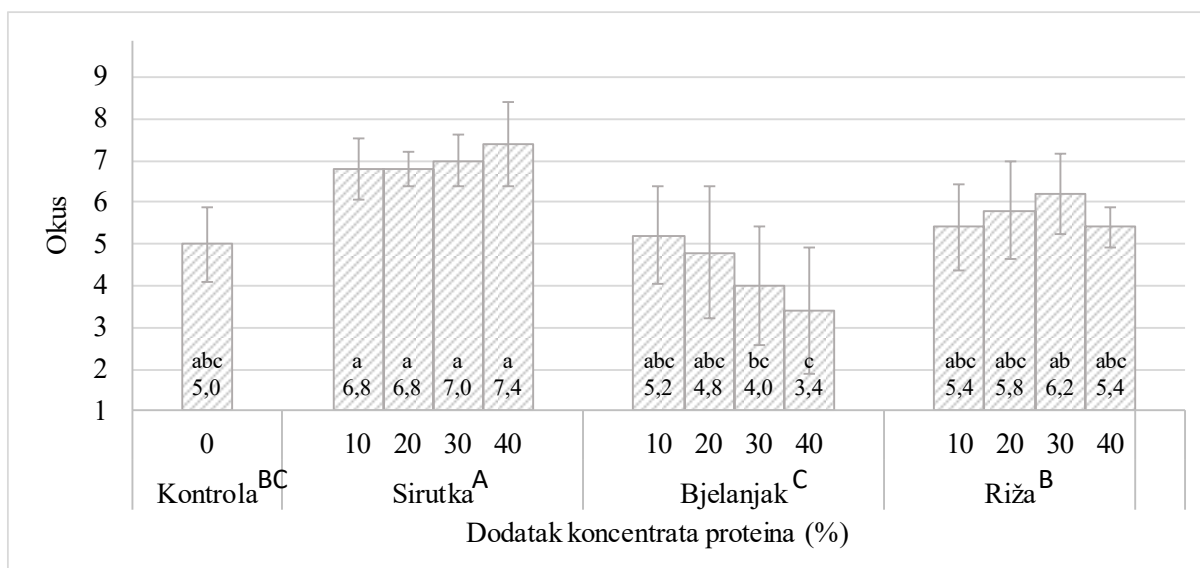
Slika 18 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na boju čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



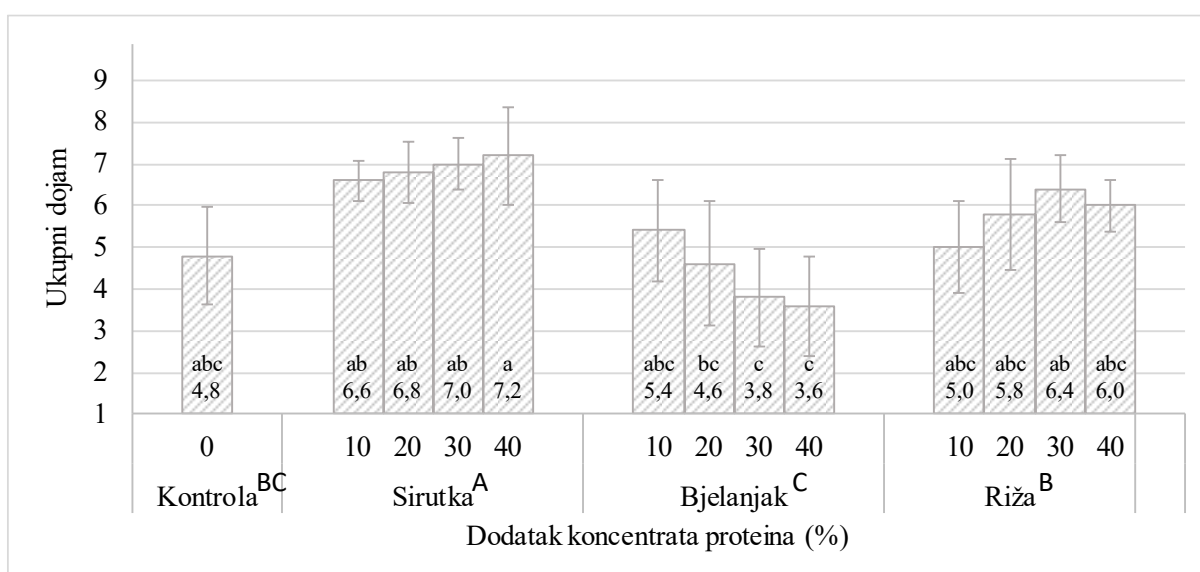
Slika 19 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na teksturu čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



Slika 20 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na miris čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



Slika 21 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na okus čajnog peciva bez glutena (prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukeyevom HSD testu)



Slika 22 Utjecaj dodatka koncentrata proteina na ukupni senzorski dojam čajnog peciva bez glutena

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

5. RASPRAVA

U izradi proizvoda bez glutena, pa tako i bezglutenskih čajnih peciva, najčešće se koriste rižino i kukuruzno brašno, a često se u recepturama koriste i različiti proteinski preparati kako bi se poboljšala funkcionalna i nutritivna svojstva te ukupna kvaliteta proizvoda (Xu i sur., 2020). U ovom radu ispitan je utjecaj dodatka različitih udjela proteinskih koncentrata (sirutke, bjelanjka jajeta i riže) na fizikalno-kemijska i senzorska svojstva čajnog peciva bez glutena. Kao kontrolni uzorak služio je uzorak čajnog peciva proizveden od rižinog brašna bez dodatka koncentrata proteina. Koncentrati su dodavani u količinama 10, 20, 30 i 40% kao zamjena za rižino brašno da bi se ispitalo kako različite vrste proteina u različitim koncentracijama utječu na udio vode, dimenzije, teksturu, boju i senzorska svojstva čajnog peciva te da bi se utvrdile eventualne nepoželjne promjene u kvaliteti.

Rezultati su pokazali da je dodatak proteina sirutke imao statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$) na smanjenje sadržaja vode i aktiviteta vode u uzorcima čajnog peciva pri dodacima od 20, 30 i 40% (**Slika 5 i 6**). Sadržaj vode je smanjen s 10,0% u kontrolnom uzorku na 8,1% u uzorcima s 20 i 40% te na 7,5% u uzorku s 40% proteina sirutke. U isto vrijeme se značajno smanjivao i aktivitet vode koji je iznosio 0,49 u uzorku s 40% dodatka proteina sirutke u odnosu na 0,66 u kontrolnom uzorku bez dodatka proteina. Dodatak koncentrata proteina bjelanjka jajeta i riže nije imao značajan utjecaj na udio i aktivitet vode. Isti rezultat su u svom istraživanju dobili i Gallagher, Kenny i Arendt (2005) gdje su čajna peciva s najvišom razinom dodatka proteina sirutke imali najmanji udio i aktivitet vode. To je objašnjeno povećanjem kapaciteta proteina sirutke za vezanje vode tijekom pečenja, vjerojatno zbog svojih visoko hidrofилnih aminokiselina, što je dovelo do manje dostupnosti slobodne vode u uzorcima i rezultiralo smanjenjem sadržaja i aktiviteta vode. Treba napomenuti da su niska aktivnost vode i sadržaj vlage uvijek ključne komponente koje utječu na trajnost proizvoda uslijed smanjenog nepoželjnog utjecaja mikroorganizama (Červenka i sur., 2006).

Na **Slikama 7-10** prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja dodatka različitih proteinskih koncentrata na promjene dimenzija čajnog peciva bez glutena. Nije bilo statistički značajnih razlika ($p < 0,05$) u promjerima čajnih peciva s dodatkom proteinskih preparata u odnosu na kontrolni uzorak. Za razliku od promjera, debljina čajnih peciva bez glutena se značajno mijenjala. Dodatak proteina sirutke i bjelanjka je značajno povećavao debljinu čajnog peciva bez glutena. Debljina se povećavala proporcionalno udjelu dodatka koncentrata proteina, a najveće vrijednosti su izmjerene u uzorku s 40% proteina sirutke (1,08 cm) i 40% proteina bjelanjka (1,27 cm), u odnosu na 0,84cm kod kontrolnog uzorka. Dodatak koncentrata proteina

riže nije značajno mijenjao debljinu čajnog peciva niti pri najvećem udjelu od 40% (0,80 cm). Uslijed povećanja debljine čajnog peciva smanjivao se faktor širenja, a povećavao specifični volumen uzoraka s dodatkom proteina sirutke i bjelanjka. Najveći volumen imali su uzorci s 40% proteina sirutke (1,46 cm³/g) i 40% proteina bjelanjka (1,69 cm³/g). Na temelju ovih rezultata može se zaključiti da proteini sirutke i bjelanjka tijekom zamjesa stvaraju proteinsku mrežu koja može zadržati veću količinu zraka unutar strukture proizvoda nego što to mogu proteini riže. Slične rezultate su u svom istraživanju utjecaja proteina sirutke i bjelanjka na bezglutenska čajna peciva dobili i Sahagún, i Gómez (2018).

Analizom teksture koja je provedena testom savijanja u tri točke utvrđeno je da je kontrolni uzorak imao najveću čvrstoću (81,3 N) dok je dodatak svih vrsta proteinskih koncentrata rezultirao mekšom strukturom čajnog peciva bez glutena. Povećanje specifičnog volumena, a samim tim i poroznosti čajnog peciva, pri dodatku proteina sirutke i bjelanjka uzrokovalo je smanjenje čvrstoće koja je za uzorke s 40% dodatka proteina sirutke iznosila 57,7 N, a za uzorke s 40% proteina bjelanjka samo 14,0 N. Proteini riže također su uzrokovali smanjenje čvrstoće čajnog peciva, ali se za razliku od uzoraka s dodatkom proteina sirutke i bjelanjka, to ne može pripisati povećanoj poroznosti, već je vjerojatni uzrok slabo umrežavanje proteina riže (**Slika 11**).

Na **Slici 12** prikazani su rezultati utjecaja dodatka koncentrata proteina na dubinu prodiranja sonde do trenutka lomljenja čajnog peciva bez glutena prilikom ispitivanja teksturalnih svojstava. Dubina prodiranja sonde je obrnuto proporcionalna s elastičnošću uzoraka pa se iz dobivenih rezultata može zaključiti da nije bilo statistički značajne razlike u elastičnosti kontrolnog uzorka i uzoraka s dodatkom koncentrata proteina sirutke i proteina riže ($p < 0,05$), dok su uzorci s dodatkom proteina bjelanjka imali najmanju elastičnost.

Iz rezultata prikazanih na **Slikama 13-16** može se zaključiti da je boja kontrolnog čajnog peciva bila vrlo svijetla ($L^* = 84,6$, $a^* = -1,4$, $b^* = 18,5$), a značajno se promijenila dodatkom različitih vrsta proteinskih koncentrata. Uzorci s proteinima sirutke i bjelanjkom pokazali su tamniju boju (niža vrijednost L^*) i jače izražene kromatske komponente a^* i b^* , osobito pri višim koncentracijama u odnosu na kontrolni uzorak. Najtamniji uzorak bio je s dodatkom 40% proteina bjelanjka ($L^* = 52,5$), a taj uzorak je imao i najveću a^* kromatsku komponentu boje (19,7) što ukazuje da se nijansa pomicala prema crvenom spektru, a to je u kombinaciji s povećanom b^* vrijednosti (37,2), odnosno jačom žutom nijansom, rezultiralo tamno smeđom bojom ovog uzorka. Najmanji utjecaj na boju čajnog peciva bez glutena imao je dodatak

proteina riže, ali je taj utjecaj ipak bio statistički značajan ($p < 0,05$) kad promatramo sva tri parametra boje. Ukupna promjena boje u odnosu na kontrolni uzorak iznosila je $\Delta E > 5$ za sve uzorke čajnih peciva bez glutena s dodatkom koncentrata proteina, a ta promjena je jasno vidljiva ljudskom oku (Mokrzycki i Tatol, 2012) (**Slika 16**). Razlike u boji uzoraka uzrokovane su Maillardovim reakcijama, koje su kemijske reakcije između aminokiselina i reducirajućih šećera pri visokim temperaturama. Te reakcije su i inače odgovorne za tamnjenje hrane tijekom pečenja i stvaranje karakterističnih okusa i aroma. Količina i brzina kojom se Maillardove reakcije odvijaju ovise o nekoliko faktora, uključujući prisutnost proteina, vrstu šećera, temperaturu i vlažnost, a u kontekstu ovog istraživanja vrstu i udio dodanih proteina. Najreaktivnije aminokiseline u Maillardovim reakcijama su lizin i arginin koje su sastavni dio proteina sirutke i bjelanjka dok su u proteinima riže prisutni u vrlo malim količinama (Sogut, Ertekin Filiz, Seydim, 2021; Yang i sur., 2017). To objašnjava svjetliju boju čajnog peciva s dodatkom proteina riže u odnosu na uzorke čajnog peciva s dodatkom proteina sirutke i bjelanjka. Iako proteini bjelanjka sadrže manje količine najreaktivnije aminokiseline lizina od proteina sirutke, oni su bili najtamniji, a uzrok tomu može biti njihova visoka poroznost koja olakšava prijenos topline tijekom pečenja što u konačnici dovodi do značajnog posmeđivanja.

Rezultati senzorske ocjene čajnog peciva bez glutena s dodatkom različitih koncentrata proteina prikazani su na **Slikama 17-22**. Dodavanje proteina sirutke u koncentracijama od 30% i 40% rezultiralo je najboljim senzorskim ocjenama, osobito u pogledu teksture, mirisa i okusa. Uzorak s 40% dodatka proteina sirutke imao je i najveću ocjenu za ukupni senzorski dojam (7,2). S druge strane, čajna peciva s proteinima bjelanjka, osobito pri višim koncentracijama (30% i 40%), dobila su niže ocjene zbog preizraženog mirisa i okusa koji podsjeća na jaja, ali i zbog premekane teksture i izrazito tamno smeđe boje uzoraka koju panelisti nisu smatrali privlačnom. Ovi rezultati ukazuju na to da sirutka ima potencijal poboljšati senzorske karakteristike bezglutenskih keksa, dok je bjelanjak možda previše dominantan u senzorskim atributima. S druge strane, dodatak proteina riže nije uzrokovao statistički značajne promjene u odnosu na ocjene za kontrolni uzorak. Stoga se njihov dodatak može preporučiti kad se ne žele previše promijeniti senzorska svojstva bezglutenskih čajnih peciva na bazi rižinog brašna, ali se njihovim dodatkom mogu unaprijediti nutritivna svojstva gotovog proizvoda.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata diplomskog rada mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Razlike u fizikalno-kemijskim i senzorskim svojstvima čajnog peciva bez glutena pokazuju da različiti koncentracije proteina (sirutke, bjelanjka i riže) imaju specifične učinke na kvalitetu proizvoda.
- Proteini bjelanjka značajno povećavaju volumen čajnog peciva bez glutena i stvaraju vrlo mekanu teksturu, a udjeli veći od 10% izazivaju neželjene promjene u boji i senzorskim svojstvima.
- Proteini riže mogu se smatrati neutralnim dodatkom jer njihova inkorporacija u recepturu čajnog peciva bez glutena može biti korisna za povećanje nutritivne vrijednosti proizvoda bez značajnog utjecaja na fizikalno-kemijska i senzorska svojstva proizvoda.
- Dodatak proteina sirutke uzrokovao je smanjenje sadržaja i aktiviteta vode, poboljšanje teksture, povećanje volumena i intenzivniju boju čajnog peciva. Viši udjeli sirutke poboljšavaju senzorska svojstva te se mogu dodavati i u količinama od 40% što istovremeno značajno doprinosi unapređenju nutritivnih svojstava čajnog peciva bez glutena.

7. LITERATURA

-
- AACC International (2012) Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 11th ed. American Association of Cereal Chemists, St Paul.
- Akobeng, A.K. & Thomas, A.G. (2008) 'Systematic review: Tolerable amount of gluten for people with coeliac disease' *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 27(11), pp. 1044-1052.
- Arendt, E.K. & Moore, M.M. (2006) 'Gluten-free cereal products as a functional food' U: Y.H. Hui, ur. Handbook of Food Products Manufacturing. Online Edition. John Wiley & Sons, Inc., pp. 1050-1067.
- Balakireva, A.V. & Zamyatnin, A.A. (2016) 'Properties of gluten intolerance: Gluten structure, evolution, pathogenicity and detoxification capabilities' *Nutrients*, 8(3), pp. 137-154.
- Di Cairano, M., Galgano, F., Tolve, R., Caruso, C. & Condelli, N. (2018) 'Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues.' *Trends in Food Science & Technology* 81:203–212.
- Ciccocioppo, R., Di Sabatino, A. & Corazza, G.R. (2005) 'The immune recognition of gluten in coeliac disease' *Clinical & Experimental Immunology*, 142(3), pp. 442-452.
- Collin, P., Thorell, L., Kaukinen, K. & Mäki, M. (2004) 'The safe threshold for gluten contamination in gluten-free products. Can trace amounts be accepted in the treatment of coeliac disease?' *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 20(4), pp. 1039-1049.
- Conte, P., Fadda, C., Drabinska, N. & Krupa-Kozak, U. (2019) 'Technological and nutritional challenges and novelty in gluten-free breadmaking.' *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, Vol. 69, No. 1, pp. 5–21
- Červenka, L., Brozoková, I. & Vytrasová, J. (2006) 'Effects of the principal ingredients of biscuits upon water activity' *Journal of Food and Nutrition Research*, 45, pp. 39–43.
- Čuković-Čavka, S., Crnčević Urek, M., Brinar, M. & Turk, N. (2012) 'Celijakija u odrasloj dobi' *Medicus*, 21(1), pp. 27-32.
- Di Sabatino, A. & Corazza, G.R. (2009) 'Coeliac disease' *Lancet*, 373(9663), pp. 1480-1493.
- Fasano, A., Sapone, A., Zevallos, V. & Schuppan, D. (2015) 'Nonceliac gluten sensitivity' *Gastroenterology*, 148(3), pp. 619-620.
- Gallagher, E., Kenny, S. & Arendt, E.K. (2005) 'Impact of dairy protein powders on biscuit quality' *European Food Research and Technology*, 221(2), pp. 237–243.
- Gustafson, K.L. (2016) 'Impact of ingredients on quality and sensory characteristics of gluten-free baked goods' Master's Thesis. Kansas State University.
- Hardman, C.M., Garioch, J.J., Leonard, J.N., Thomas, H.J., Walker, M.M., Lortan, J.E., Lister, A. & Fry, L. (1997) 'Absence of toxicity of oats in patients with dermatitis herpetiformis' *The New England Journal of Medicine*, 337(26), pp. 1884-1887.
- Hischenhuber, C., Crevel, R., Jarry, B., Mäki, M., Moneret-Vautrin, D.A., Romano, A., Troncone, R. & Ward, R. (2006) 'Review article: safe amounts of gluten for patients with wheat allergy or coeliac disease' *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 24(2), pp. 297-309.
- Mir, S. A., Shah, M. A., & Hamdani, A. M. (Eds.). (2021) *Gluten-free Bread Technology* (pp. 15-28). Heidelberg, Germany: Springer.
-

-
- Mokrzycki, W.S. & Tatol, M. (2011) 'Color difference Delta E - A survey' *Machine Graphics and Vision*, 20(4), pp. 383-411.
- Niewinski, M.M. (2008) 'Advances in celiac disease and gluten-free diet' *Journal of the American Dietetic Association*, 108(3), pp. 410-421.
- Pendergrass, K. Prikaz strukture glutena. Dostupno na: <https://paleofoundation.com/gluten/> (Pristupljeno: 02.09.2023.)
- Pozderac, I. & Mijandrušić Sinčić, B. (2019) 'Poremećaji povezani s glutenom' *Medicina Fluminensis*, 55, pp. 53-58.
- Sahagún, M. & Gómez, M. (2018) 'Influence of protein source on characteristics and quality of gluten-free cookies' *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), pp. 4131–4138.
- Sogut, E., Ertekin Filiz, B. & Seydim, A.C. (2021) 'A model system based on glucose-arginine to monitor the properties of Maillard reaction products' *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), pp. 1005-1013. doi:10.1007/s13197-020-04615-y.
- Wieser, H. (2007) 'Chemistry of gluten proteins' *Food Microbiology*, 24(2), pp. 115-119.
- Xu, J., Zhang, Y., Wang, W. & Li, Y. (2020) 'Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review.' *Trends in Food Science & Technology*, 103, pp. 200-213.
- Yang, Q.Q., Suen, P.K. & Zhang, C.Q. (2017) 'Improved growth performance, food efficiency, and lysine availability in growing rats fed with lysine-biofortified rice' *Scientific Reports*, 7(1), 1389.