

Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na kvalitetu kruha bez glutena

Mrak, Anamaria

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:498352>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

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**

Anamaria Mrak

**UTJECAJ DODATKA KONCENTRATA PROTEINA SIRUTKE NA
KVALITETU KRUHA BEZ GLUTENA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 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. (osmoj) redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.

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

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

Pomoć pri izradi: dr. sc. Gordana Šelo; Ana Šušak, *dipl. ing., viši stručni suradnik*

UTJECAJ DODATKA KONCENTRATA PROTEINA SIRUTKE NA KVALITETU KRUHA BEZ GLUTENA

Anamaria Mrak, 0113143483

Sažetak: Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj različitih udjela proteina sirutke na kvalitetu kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba. Protein sirutke dodavan je u tri različite koncentracije: 5 %, 10 % i 15 % u odnosu na ukupnu masu brašna i škroba. Probna pečenja su provedena u laboratorijskim uvjetima kao i ispitivanja kvalitativnih svojstava kruha bez glutena. Uzorcima kruha se odredio omjer visine i širine te specifični volumen. Uzorci su podvrgnuti analizi teksture (TPA), a za određivanje poroznosti koristila se metoda računalne analize slike. Provedena je i senzorska ocjena svojstava uzoraka kruha bez glutena. Rezultati istraživanja pokazuju da dodatak proteina sirutke ima pozitivan utjecaj na svojstva bezglutenskog kruha i to boljoj teksturi, senzorskoj prihvatljivosti i povećanju specifičnog volumena. Dodatak proteina sirutke doprinosi ukupnoj kvaliteti kruha bez glutena. Pozitivan utjecaj očituje se i u omjeru visine i širine, što može rezultirati mekanijim i kompaktnijom sredinom proizvoda. Okus i ukupna senzorska ocjena bezglutenskog kruha najbolje je ocijenjena za uzorke s dodatkom 5% proteina sirutke.

Ključne riječi: kruh bez glutena, rižino brašno, protein sirutke, ksantan, kukuruzni škrob

Rad sadrži: 44 stranice
25 slika
1 tablica
46 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

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

Datum obrane: 21. prosinca 2023.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

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

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of flour production and processing

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. held on May 22, 2023

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

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

Technical assistance: Gordana Šelo, *PhD*; Ana Šušak, *Mag. Ing.*, higher research associate

The Influence of the Addition of Whey Protein Concentrate on the Quality of Gluten-Free Bread

Anamaria Mrak, 0113143483

Summary: The aim of this study was to investigate the influence of different proportions of whey protein on the quality of gluten-free bread based on rice flour and corn starch. Whey protein was added in three different concentrations: 5%, 10% and 15% in relation to the total mass of flour and starch. The baking tests were carried out under laboratory conditions, as were the tests on the qualitative properties of the gluten-free bread. Bread samples were used to determine the ratio of height to width and the specific volume. The samples were subjected to a texture analysis (TPA) and the porosity was determined using computer image analysis. Sensory evaluation of the properties of the gluten-free bread samples was also carried out. The research results show that the addition of whey protein has a positive effect on the properties of gluten-free bread, namely a better texture, sensory acceptability and an increase in specific volume. The addition of whey protein contributes to the overall quality of gluten-free bread. The positive influence also manifests itself in the height-to-width ratio, which can result in a softer and more compact the product. The taste and overall sensory evaluation of gluten-free bread was best in samples with 5% whey protein added.

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

Thesis contains: 44 pages
25 figures
1 tables
46 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: December 21, 2023

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

Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Daliborki Koceva Komlenić na svim savjetima, podršci i strpljenju tijekom izrade diplomskog rada.

Hvala svim mojim prijateljicama i kolegicama na razumijevanju.

Hvala mom Dariju. Hvala ti na bezuvjetnoj ljubavi i podršci.

Najveće hvala mojim roditeljima, bratu i djedu Ivanu. Sve što imam i sve što jesam, to je zbog Vas.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. Sirovine za proizvodnju kruha	4
2.1.1. Glavne sirovine	4
2.1.2. Dodatne sirovine	6
2.1.3. Pomoćne sirovine	7
2.2. KONCENTRAT PROTEINA SIRUTKE.....	9
2.3. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM.....	11
2.4. PROCJENA IZGLEDA SREDINE KRUHA RAČUNALNOM ANALIZOM SLIKE	13
3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1. ZADATAK.....	16
3.2. MATERIJALI.....	16
3.3. METODE	16
3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena	16
3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena	18
3.3.3. Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena.....	18
3.3.4. Računalna analiza slike poroznosti bezglutenskog kruha.....	18
3.3.5. Statistička obrada rezultata.....	19
4. REZULTATI	20
4.1. Rezultati određivanja fizikalnih svojstava kruha bez glutena.....	21
4.2. Rezultati poroznosti sredine kruha bez glutena.....	28
4.3. Rezultati senzorske ocjene kruha bez glutena	30
5. RASPRAVA	33
6. ZAKLJUČCI.....	37
7. LITERATURA.....	39

Žitarice predstavljaju jednu od najvažnijih sirovina u cijelome svijetu, a proizvodi od žitarica predstavljaju jedne od najvažnijih prehrambenih namirnica, a naročito kruh. Iako proteini nisu osnovni sastojak kruha, one osiguravaju oko 30 % ljudskih potreba za proteinima zbog njihove visoke potrošnje (Scherf i Köhler, 2016). U proizvodnji kruha, ali i mnogih drugih proizvoda se najčešće upotrebljava pšenica koja je vrijedan izvor esencijalnih hranjivih tvari: ugljikohidrata, prehrambenih vlakana, proteina, vitamina B, kalcija, magnezija, fosfora, kalija, cinka i željeza. Svojstvo koje pšenici daje prednost nad ostalim žitaricama je dobivanje tijesta viskoelastičnih svojstava koja ovise o strukturi i interakcijama koje se javljaju između skladišnih proteina zrna koji tvore proteinski kompleks gluten (Sabenča i sur., 2021).

Iako je gluten dobar za svojstva tijesta koja su nam potrebna u tehnologiji proizvodnje mnogih proizvoda, povezan je i s nekoliko poremećaja kao što su celijakija, i druge intolerancije koje izazivaju sve veću zabrinutost. Zbog toga ljudi koji su intolerantni na gluten trebaju prehranu bez glutena (Sabenča i sur., 2021). Proizvodi bez glutena imaju lošiju strukturu i senzorska svojstva, ali i manju nutritivnu vrijednost. U prehrambenoj se industriji za proizvodnju bezglutenskih proizvoda često koriste brašna koja imaju mali udio proteina i zbog toga je potrebno u recepturu dodati različite proteine kako bi se dobio proizvod što bolje kvalitete, ali i poboljšanih nutritivnih svojstava. Jedan od takvih mogućnosti je i dodavanje koncentrata proteina sirutke.

U ovom je radu cilj ispitati kakav utjecaj imaju različiti udjeli koncentrata proteina sirutke na kvalitetu kruha bez glutena koji je napravljen na bazi rižinog i kukuruznog brašna. Saznanja iz istraživanja mogu doprinijeti razvoju proizvoda koji ne samo da zadovoljavaju prehrambene potrebe, već i poboljšavaju ukupno iskustvo konzumiranja bezglutenskih proizvoda.

2.1. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica pekarski proizvodi se proizvode odgovarajućim tehnološkim postupkom od mlinskih proizvoda, uz dodatak drugih sastojaka kao što su voda, pekarski kvasac ili druge tvari za vrenje, sol te ostali sastojci (MP, 2022)

Sirovine za proizvodnju kruha mogu se podijeliti na osnovne, dodatne i pomoćne sirovine. U osnovne sirovine ubrajaju se brašno, voda i škrob. Dodatne su sirovine sol i kvasac, a uloga pomoćnih sirovina je da poboljšaju nutritivnu vrijednost i pozitivno utječu na tehnološku kvalitetu. Sve navedene sirovine tijekom proizvodnje imaju svoju tehnološku funkciju. Pomoću brašna se tvori tijesto koje treba imati mogućnost zadržavanja plinova. Pekarski kvasac je nužan za dizanje ili rahljenje tijesta. Voda predstavlja sredstvo za otapanje, npr. soli ili šećera, a također je važno sredstvo za bubrenje sastojaka brašna. Kuhinjska sol može poboljšati svojstva tijesta, utjecati na tijek fermentacije te poboljšati okus i boju. Aditivi ili poboljšivači doprinose svojstvima i kvaliteti samog kruha, a utječu i na svježinu.

2.1.1. Glavne sirovine

U proizvodnji pekarskih bezglutenskih proizvoda koriste se brašna bez glutena. Tijekom jednog istraživanja ustanovljeno je da se kao primarni sastojak najviše koristi rižino brašno zatim kukuruzno brašno, heljdino te sojino brašno. Brašno od kvinoje i sirka korišteno je u nešto manjoj mjeri kao i brašno prosa, amaranta, slanutka i tapioke.

Jedna od najstarijih kultiviranih žitarica je riža. Ona predstavlja značajan izvor prehrane diljem svijeta, a načini obrade se razlikuju. Riža se uglavnom konzumira u obliku bijelog zrna, ali u posljednjih nekoliko godina pojavljuju se različiti proizvodi koji sadrže rižu kao sastojak. Uzgajaju se dvije različite vrste riže, a to su: *Oryza sativa* i *Oryza glaberrima*, a postoje i 22 divlje podvrste. Riža se može se klasificirati prema veličini zrna, pa tako zrno može biti dugo, srednje i kratko. Klasificira se i prema području uzgoja te sadržaju amiloze. Ako sadrži manje od 1 % amiloze to je ljepljiva riža, a ako sadrži više od 10% onda je riječ o neljepljivoj riži.

Rižino je brašno karakteristično po blagom okusu, lakoći probave, bijeloj boji, a posjeduje i hipoalergena svojstva. Jedno je od najprikladnijih brašna za proizvodnju bezglutenskih proizvoda jer ima niske razine natrija, lako probavljive ugljikohidrate, a ne sadrži glijadin. Rižino se brašno može dobiti od cjelovitih zrna, ali se uglavnom proizvodi od onih koji su

slomljeni tijekom procesa mljevenja jer je njihova cijena niža od cijene cjelovitih mljevenih zrna (Arendt i Dal Bello, 2008). Bez obzira na brojne prednosti riže, proteini riže imaju slaba funkcionalna svojstva kod prerade hrane. Poradi svoje hidrofobne prirode netopljivi su i nesposobni za oblikovanje viskoelastičnog tijesta koje je nužno kod zadržavanja ugljikovog dioksida koji nastaje tijekom fermentacije tijesta. Niski sadržaj prolamina rezultira nedostatkom stvaranja proteinske mreže tijekom zamjesa rižinog brašna s vodom rezultat toga je slabo zadržavanje plinova, što dovodi do proizvoda s niskim specifičnim volumenom (He i Hosney, 1991).

Treća najvažnija žitarica na svijetu koja se često koristi za proizvodnju kruha bez glutena je kukuruz. Kukuruzno brašno sve više dobiva popularnost u prehrani zbog svog okusa i nutritivnih vrijednosti. Mljevenjem kukuruza dobiva se brašno s povećanom enzimskom aktivnosti i to posebno lipaza, amilaza, lipooksigenaza i peroksidaza. Ova pojačana enzimska aktivnost može značajno smanjiti nutritivnu vrijednost i stabilnost brašna tijekom skladištenja. Kukuruzno zrno sadrži proteine poput albumina, globulina, glutelina te zeina, pri čemu zein čini oko 50 % proteina endosperma zrna. Kukuruzno zrno sadrži širok spektar fitonutrijenata i antioksidacijskih spojeva poput tokoferola, fenola te karotenoida. Najznačajniji među njima su β -karoten, β -kriptoksantin, lutein i zeaksantin. Unatoč tome, β -karoten se nalazi u relativno niskoj koncentraciji u zrnu kukuruza. Najčešći fenoli u kukuruzu su flavonoidi, koji određuju boju perikarpa kukuruza. Prema tome, razlikuje se bijelo, crveno i žuto kukuruzno brašno (Žilić i sur., 2010). Ove informacije ukazuju na raznolike aspekte kukuruza, od kemijskog sastava do enzimске aktivnosti, te ističu nutritivne i funkcionalne karakteristike kukuruznog brašna.

Rižin škrob sastoji se od amiloze i amilopektina, pri čemu omjeri ovih dvaju spojeva variraju ovisno o vrsti riže. Amiloza i amilopektin su polisaharidi koji čine strukturu škroba, s amilopektinom odgovornim za njegovu topivost i geliranje. Rižin škrob poznat je po svojstvima kremoznosti, što znači da može doprinijeti glatkoj teksturi pekarskih proizvoda. Također može pridonijeti hrskavosti, posebice ako se koristi u kombinaciji s drugim sastojcima. Rižin škrob može značajno utjecati na konačnu čvrstoću pekarskih proizvoda bez glutena. Ovisno o omjeru amiloze i amilopektina te načinu primjene, može se postići određena tekstura koja zadovoljava preferencije potrošača. Kombinacija različitih vrsta brašna i škroba često se koristi u proizvodnji bezglutenskih pekarskih proizvoda kako bi se postigla optimalna tekstura, okus i konzistencija. Razumijevanje svojstava svakog sastojka ključno je za stvaranje

visokokvalitetnih proizvoda prilagođenih potrebama osoba koje izbjegavaju gluten (Monteiro i sur., 2021). Rižin škrob je hipoalergen, što znači da je manje vjerojatno da će izazvati alergijske reakcije u usporedbi s drugim sastojcima. To ga čini pogodnim za pacijente koji pate od alergija, posebice onih koji moraju izbjegavati određene alergene prisutne u drugim vrstama brašna. Unatoč izazovima u formiranju viskoelastičnog tijesta, rižini proizvodi imaju široku primjenu u različitim industrijama. Pored pekarstva, koriste se u proizvodnji dječje hrane, slastica te čak i piva (Elke i sur., 2008).

U proizvodnji pekarskih proizvoda, uključujući i one bez glutena, ključno je koristiti zdravstveno i mikrobiološki ispravnu vodu. Ova praksa osigurava da voda koja se koristi u procesu proizvodnje zadovoljava sigurnosne standarde i da ne predstavlja rizik po zdravlje potrošača. Kvaliteta vode ima značajan utjecaj na konačnu kvalitetu proizvoda, a aspekti zdravstvene i mikrobiološke ispravnosti igraju ključnu ulogu u osiguravanju higijenskih uvjeta tijekom proizvodnje hrane. Definicija zdravstveno ispravne vode prema Pravilniku (MDSS, 2008) naglašava da je zdravstveno ispravna voda sva voda u njezinom izvornom stanju ili nakon obrade, namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge kućanske namjene. Bez obzira na izvor ili način isporuke, ova definicija obuhvaća vodu koja se koristi u raznim kućanskim situacijama i u poslovanju s hranom.

2.1.2. Dodatne sirovine

Velik izvor kuhinjske soli u svakodnevnoj su prehrani pekarski proizvodi, osobito kruh. U Hrvatskoj količina kuhinjske soli u dodane u pekarske proizvode iznosi ~ 2 % što znači da se na 1 kg brašna dodaje 0,02 kg kuhinjske soli. Ukoliko bi se u pekarskim proizvodima smanjio udio soli i do 25% to ne bi smanjilo kakvoću proizvoda.

Primarna je uloga kuhinjske soli poboljšanje okusa, a ima i tehnološku važnost. Utječe na stabilizaciju i brzinu fermentacije, razvoj glutena i reologiju tijesta, a ima i ulogu konzervansa. Ukoliko sol nije dodana formiranje tijesta je brže nego kad se doda sol. Sol povećava otpor, rastezljivost i elastičnost glutena, tako da tijesto postaje čvršće, a time i manje ljepljivo. Povećavanjem udjela soli u tijestu produžuje se vrijeme miješanja potrebno za postizanje razvoja tijesta, a time raste i količina energije potrebna za postizanje optimuma miješanja (Lasić i sur, 2020). Zbog higroskopskih svojstava kuhinjske soli pri čemu izvlači tekućinu iz

kvašćevih stanica, dolazi do smanjenja aktivnosti kvasca. Ako se poveća udio soli u tijestu smanjuje se i proizvodnja plinova, time se povećava vrijeme krajnje fermentacije. Proizvod svjetlije boje dobije se ukoliko je dodana mala količina soli, pri povećanom udjelu soli dobije se proizvod crvenkaste boje. Kuhinjska sol također pojačava okuse i zato se dodaje u kekse i slatke pekarske proizvode.

Kvasac, poput *Saccharomyces cerevisiae*, ima ključnu ulogu u procesu pekarstva. Ovaj mikroorganizam provodi alkoholnu fermentaciju šećera iz brašna, što rezultira proizvodnjom alkohola i ugljičnog dioksida. Ovaj proces dovodi do dizanja tijesta, povećavajući njegovu elastičnost i poboljšavajući reološka svojstva tijesta. Osim toga, nusproizvodi alkoholne fermentacije doprinose organoleptičkim karakteristikama kruha, uključujući okus i boju. U procesu pekarstva, količina dodanog kvasca, temperatura tijesta i okoline te način vođenja procesa igraju ključnu ulogu u postizanju željenih karakteristika kruha, uključujući veličinu, oblik, teksturu i okus. Pored toga, kvasac ima značajnu ulogu u stvaranju specifičnih aroma i okusa koji su karakteristični za pekarske proizvode (Schünemann i Treu, 2012).

Pekarski kvasac je dostupan u različitim oblicima, uključujući tekući, svježi i suhi aktivni oblik. Svaki od ovih oblika ima svoje prednosti i primjene u industriji, a svježi kvasac se tradicionalno najčešće koristi. Primjećuje se rast potražnje za suhim aktivnim kvascem. Ovaj oblik kvasca često je praktičniji za skladištenje i ima dulji rok trajanja u usporedbi sa svježim kvascem, što može biti prednost u industrijskim i kućanskim postavkama (Čiča Hanousek i sur., 2015).

2.1.3. Pomoćne sirovine

Već se preko sto godina u pekarskoj industriji upotrebljavaju poboljšivači i aditivi. Poboljšivači su mješavine prehrambenih proizvoda i/ili prehrambenih aditiva čija je svrha poboljšati kakvoću prehrambenih proizvoda. Glavni su ciljevi postići cjeloviti učinak najvažnijih sastojaka brašna, nadomjestiti prirodne mane brašna žitarica, olakšati pripremu tijesta i rad u pekarama, a kupcu pružiti kvalitetniji i privlačniji krajnji proizvod. Dodaju se tijekom pripremanja i proizvodnje tijesta ili proizvodnje tjestenih masa, a mogu biti u brašnastom i tekućem obliku, a pojavljuju se i kao paste i kreme.

S obzirom da se pekarski proizvodi razlikuju prema recepturi, načinu proizvodnje ili kvaliteti potrebno je primijeniti poboljšivač odgovarajućih karakteristika. Poboljšivače prema djelovanju možemo podijeliti na: emulgatore, enzimske preparate, oksido-redukcijska

sredstva, konzervanse, nutritivno vrijedne tvari i kompleksne poboljšivače. Proizvodnja bezglutenskog kruha je izazov za tehnologe jer je potrebno nadomjestiti gluten i postići visoku kakvoću proizvoda. Kako bi zamijenili gluten dodaju se tvari koje imitiraju svojstva glutena kao što su hidrokoloidi, proteini, različita brašna, enzimi, proteini, različite vrste škrobova.

Hidrokoloidi su važni sastojci u proizvodnji bezglutenskog kruha i drugih prehrambenih proizvoda. Oni su makromolekularni spojevi, a uglavnom ih svrstavamo u grupu ugljikohidrata. Kada dođu u dodir s vodom imaju sposobnost stvaranja gela. Njihova svojstva čine ih korisnima u raznim aspektima proizvodnje bezglutenskih proizvoda. Među najčešće korištenim hidrokoloidima za proizvodnju bezglutenskih proizvoda ubrajaju se karboksimetil celuloza (CMC), ksantan guma (XG), psilijum, guar guma (GG), hidroksipropil metilceluloza (HPMC), pektin, želatina, β -glukan, agar te drugi (Culetu i sur., 2021).

Hidroksipropil metilceluloza (HPMC) je celulozni eter dobiven iz celuloze tretirane bazama koje reagiraju s metil kloridom i propilen oksidom (McCarthy i sur., 2005). HPMC može pomoći u produženju vijeka trajanja pekarskih proizvoda jer smanjuje gubitak vlage i održava proizvod svježim duže vrijeme. Utječe na zadržavanje fermentacijskih plinova tijekom procesa dizanja tijesta. To doprinosi poroznosti kruha. Također može poboljšati proces želatinizacije škroba tijekom pečenja, što doprinosi konzistenciji i teksturi kruha.

Ksantan guma je jedan od najčešće korištenih hidrokoloida u prehrambenoj industriji, uključujući i proizvodnju bezglutenskih proizvoda. Ksantan guma je viskozna i pseudoplastična tvar koja ne reagira na promjene temperature, pH-vrijednosti ili koncentraciju soli (Arendt i Dal Bello, 2008). Ova svojstva čine je izuzetno korisnom za različite prehrambene primjene. Dobiva se iz bakterije *Xanthomonas campestris* i spada u skupinu negelirajućih hidrokoloida. Međutim, kada se kombinira s drugim hidrokoloidima poput agar-agra može stvarati gelove. Postoji više različitih tipova ksantan gume koji se razlikuju po svojstvima poput veličine čestica, viskoznosti, disperzibilnosti i pseudoplastičnosti. U proizvodnji bezglutenskog kruha od kukuruznog ili rižinog brašna, dodatak ksantan gume često se koristi kako bi se poboljšala tekstura, smanjila mrvljivost, povećao volumen kruha te poboljšao okus i konzistencija. (Feja i sur., 2014). Ksantan guma također može pomoći u produženju stabilnosti i očuvanju senzorskih svojstava kruha.

Guar guma, koja se dobiva iz sjemenki graha *Cyamopsis tetragonoloba*, također je važan hidrokoloid u proizvodnji bezglutenskog kruha. Osim što produžava rok trajanja kruha

zadržavanjem vlage, guar guma može povećati volumen kruha, poboljšati boju i utjecati na svojstva unutarnje strukture kruha. (Encina-Zelada i sur., 2019). Važno je napomenuti da dodatak hidrokoloida kao što su ksantanjo guma i guar guma može utjecati na teksturu i svojstva kruha. Na primjer, prevelika količina guar gume može uzrokovati preveliku gumoznost kruha, što može otežati žvakanje. Stoga se često koristi kombinacija različitih hidrokoloida kako bi se postigao željeni rezultat i izbjegle neželjene karakteristike. (Anton i Artfield, 2008). Osim hidrokoloida, u proizvodnji bezglutenskih proizvoda često se koriste i emulgatori kao što su natrijev stearoil-2-laktilat (E481) i diacetiltartarat ili DATEM (E472e), te esteri masnih kiselina glicerola. Ovi sastojci pomažu u stvaranju stabilnih emulzija i kontroliraju teksturu proizvoda (Anton i Artfield, 2008).

Psyllium ljuskice u prahu, dobivene iz omotača sjemena indijskog trputca (*Plantago psyllium* L.), postaju sve popularniji sastojak u proizvodnji bezglutenskih pekarskih proizvoda, posebno kruha. Psyllium ljuskice sadrže topiva vlakna koja imaju sposobnost zadržavanja vode i stvaranja gela. Ovo svojstvo pomaže u očuvanju vlage u bezglutenskom tijestu i kruhu, čime se sprječava isušivanje i čini proizvod mekšim i sočnijim. Bogate su prehranbenim vlaknima, što je važno za prehrambenu vrijednost bezglutenskih proizvoda. Dodatak psylliuma povećava ukupan sadržaj vlakana u kruhu, što može imati pozitivan utjecaj na probavu i zdravlje. Psyllium ima potencijal za smanjenje glikemijskog indeksa bezglutenskog kruha. To znači da hrana koja sadrži psyllium može doprinijeti boljoj kontroliranoj razini šećera u krvi nakon obroka, što je posebno važno za osobe s dijabetesom i one koji prate svoj unos šećera. Kruh s psylliumom često ima zadovoljavajuću teksturu i mekoću. Psyllium može ograničiti retrogradaciju škroba, proces u kojem škrob mijenja svoju strukturu nakon pečenja, što može dovesti do stvrdnjavanja kruha. Ovo svojstvo doprinosi produženju svježine bezglutenskog kruha. Psyllium ljuskice u prahu postaju sve atraktivniji sastojak u bezglutenskim proizvodima za potrošače koji traže zdravije alternative prehrane. (Fratelli i sur., 2021).

2.2. KONCENTRAT PROTEINA SIRUTKE

Sirutka je tekućina koja predstavlja sporedni proizvod koji nastaje u procesu proizvodnje sira ili kazeina (Herceg i Režek, 2006). To je tekućina koja se izdvaja iz gruša nakon koagulacije kazeina od mlijeka. Prema određenim procjenama preko 90 % sirutke potječe od proizvodnje sira, a manje od 10 % od proizvodnje kazeina.

Sirutka se najvećim dijelom sastoji od vode koja čini oko 93 % ukupne mase. U sirutku iz mlijeka prelazi oko 50 % suhe tvari (Jeličić i sur., 2008).

Uvođenjem ultrafiltracije kao membranskog procesa u mljekarsku industriju omogućeno je dobivanje koncentrata proteina sirutke. Ovako dobiveni proteini sirutke su sto posto probavljivi, a neki autori navode i da je topljivost proteina čak malo povećana (Tratnik i Kršev, 1990). Tehnološki proces dobivanja koncentrata sirutkinih proteina ovom tehnikom je vrlo jednostavan. Cijeli proces započinje centrifugalnim separatorom gdje se odvaja mast i čestice sira, a nakon toga se vrši pasterizacija, hlađenje i održavanje na određenoj temperaturi. Nadalje, slijedi ultrafiltracija ili dijafiltracija i sušenje, a koncentrat sadrži 70 do 80 % proteina u suhoj tvari (Herceg i Režek, 2006). Osim navedenih tehnika može se koristiti i mikrofiltracija i reverzna osmoza. Koncentrat sirutkinih proteina ima najnižu vrijednost masti i kolesterola u usporedbi s drugim oblicima komercijalno dostupne sirutke (Blažić i sur., 2018). Prema Blažić i sur. (2018) tri su kategorije koncentrata proteina sirutke obzirom na koncentraciju:

1. koncentrat sirutkinih proteina s visokim udjelom proteina koji sadržava 60 do 80 % ukupnih krutih tvari,
2. koncentrat sirutkinih proteina sa srednjim sadržajem proteina koji sadrži 45 do 60 % ukupne krute tvari i
3. koncentrat sirutkinih proteina sa niskim udjelom bjelančevina koji sadržava 25 do 40 % ukupne krute tvari.

Ovakva vrsta proteina se može koristiti kao djelomična ili potpuna zamjena za obrano mlijeko u prahu. Osim toga može se koristiti i u mješavinama za pekarstvo, u jogurtu, u različitoj dijetetskoj hrani i slatkišima. Mogu se koristiti kao prehrambeni dodaci, a posebno se koriste u prehrambenim napitcima, energetskim čokoladicama, juhama i dr. (Huffman i Barros Ferreira, 2011). Svoju primjenu su našli i u mliječnoj hrani za dojenčad (Tratnik i Kršev, 1990).

Sirutka je svoju primjenu našla kod proizvodnje kruha, kolača, biskvita, krepera i drugih pekarskih i slastičarskih proizvoda. Sirutka u kolačima može djelomično ili potpuno zamijeniti jaja što je korisno i u smanjenju troškova proizvodnje. Koristi se koncentrat proteina sirutke uz dodatak određene količine vode ovisno o kojem se koncentratu rad. Osim toga ova zamjena je korisna s dijetetskog aspekta jer jaja sadrže kolesterol. Jedini problem kod ovakve zamjene je lošiji okus i suha struktura kolača (Królczyk i sur., 2016). Prema literaturi, koncentrat

proteina sirutke koji ima 80 % proteina u suhoj tvari je dobra zamjena za jaja u proizvodima kao što su kruh, kolači i fini pekarski i srodni proizvodi (Johnson, 2000).

U proizvodnji bezglutenskih proizvoda, gdje su korištena brašna s niskim udjelom proteina i škrobni preparati bez proteina, dodavanje različitih proteina može poboljšati kvalitativna i nutritivna svojstva proizvoda. To može uključivati poboljšanje volumena, boje korice i drugih karakteristika proizvoda.

Gallagher i suradnici (2003a; 2003b) u svojim istraživanjima utvrdili su da dodatak proteina sirutke u bezglutenski kruh na bazi rižinog brašna rezultira poboljšanjem volumena kruha i tamnjenja korice. Marco i Rosell (2008) sugeriraju da dodatak proteina sirutke u rižino brašno može utjecati na povećanje viskoznosti, što može doprinijeti boljim svojstvima tijesta ili konačnog proizvoda.

2.3. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM

Gluten je protein pšeničnog brašna i netopljiv je u vodi i razrijeđenim otopinama soli. Proteinske komponente u glutenu su glijadin i glutenin. Hidratizirani glijadin sirupasta je masa, jako rastezljiva, ljepljiva i neelastična, a hidratizirani glutenin predstavlja gumastu, rastezljivu masu koja je jako otporna na deformaciju, elastična i odgovarajuće čvrstoće. Vlažni gluten (lijepak) povezuje svojstva glijadina i glutenina.

Iako su postignuti znatni napretci u tehnologiji proizvodnje bezglutenskih proizvoda, neki od njih i dalje mogu pokazivati nekoliko nedostataka kao što su niska nutritivna vrijednost, visoka cijena i nezadovoljavajući okus. S obzirom na rastući interes potrošača za bezglutenskim proizvodima, istraživanja su usmjerena na poboljšanje nutritivne vrijednosti, okusa i ekonomske održivosti ovih proizvoda. Kroz daljnje istraživanje i inovacije, očekuje se da će se postići poboljšanja u kvaliteti bezglutenskih proizvoda na tržištu (Lamacchia i sur., 2014).

Poremećaji povezani s glutenom dijele se na: autoimune, alergijske i neautoimune. Od iznimne je važnosti točno identificirati poremećaje vezane uz gluten jer je njihovo liječenje različito.

Autoimune bolesti karakterizira otpornost na vlastite antigene što rezultira uništenjem vlastitog tkiva. Autoimuni poremećaji povezani s glutenom obuhvaćaju celijakiju, herpetiformni dermatitis i glutensku ataksiju.

Celijakija je autoimuna bolest uzrokovana glutenom iz pšenice, raži i ječma, dok većina pacijenata dobro podnosi zob (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.). Pojavnost celijakije veća je kod osoba s obiteljskom dijagnostikom celijakije i osoba s drugim autoimunim bolestima, kao što su šećerna bolest tip I, bolesti štitne žlijezde poput Hashimotova tiroiditisa ili Gravesove bolesti, bolesti jetre (autoimuni hepatitis, primarna bilijarna ciroza) itd. Celijakija se pojavljuje već u prvim godinama života, ali se češće dijagnosticira kod odraslih osoba i starije djece. Simptomi povezani s celijakijom mogu biti gastrointestinalni i ekstraintestinalni. Gastrointestinalni simptomi su kronični proljev, bolovi u abdominalnom dijelu, povraćanje, nadutost, anoreksija. Ekstraintestinalni simptomi su anemija, neplodnost, umor, često spontani pobačaj, itd. (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Doživotna bezglutenska dijeta dovodi do oporavka sluznice, smanjuje simptome i sprječava komplikacije te je potrebno njezino striktno provođenje. Iako su neki od potencijalnih medikamenata ispitani ili su u fazi kliničkih ispitivanja, za sada nema preporuka za njihovu primjenu (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Herpetiformni dermatitis je najčešći poremećaj povezan s glutenom koji se manifestira na koži. Kronična upalna kožna bolest koja rezultira jakim svrbežom i uglavnom zahvaća laktove i nadlaktice. Rizične skupine su sve dobne skupine, a pojavljuje se u obliku eritema, urtikarijskih plakova i papula. (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Glutenska ataksija je autoimuna bolest koju karakterizira oštećenje malog mozga. (Anderson, 2023.). Ta oštećenja mogu potencijalno dovesti do pojave ataksije hoda, ataksije udova, poteškoća u govoru, poremećaja hiperaktivnosti i deficita pažnje (ADHD).

Alergija na pšenicu je sustavna imunosna reakcija koja nastaje nakon unosa proteina pšenice – albumina, globulina i glutena (glijadini i glutenini). Nastala trenutna ili odgođena alergijska reakcija može i ne mora biti posredovana IgE (imunoglobulin E) protutijelima, a rezultira pojavom kožnih, probavnih ili dišnih simptoma (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Kod odraslih osoba alergija na pšenicu češće se manifestira respiratornim smetnjama nego klasičnim gastrointestinalnim simptomima. Kod odraslih osoba najčešće se pojavljuje okupacijska ili pekarska astma kao reakcija preosjetljivosti na proteine pšenice. Uglavnom se javlja kod osoba koje rade s pšeničnim brašnom. (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Preosjetljivost na gluten je poremećaj kojeg prate crijevni i izvancrijevni simptomi koji se pojavljuju nakon što je probavljena hrana koja sadrži gluten i ostale proteine koji se nalaze u pšenici kod osoba koje nemaju ni celijakiju niti alergiju na pšenicu. Pojavljuju se probavni simptomi kao što su nadutost, bol u abdominalnom dijelu, proljev, flatulencija, a mogu se pojaviti i glavobolja, anemija, kronični umor, itd. (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

Za razliku od celijakije i alergije na pšenicu, necelijakijska osjetljivost na gluten/pšenicu nema točnih seroloških i patohistoloških kriterija za potvrdu dijagnoze. Međutim, klinički simptomi nestaju pridržavanjem bezglutenske dijeta te se ponovno pojavljuju uvođenjem glutena u prehranu (Pozderac i Mijandrušić Sinčić 2019.).

2.4. PROCJENA IZGLEDA SREDINE KRUHA RAČUNALNOM ANALIZOM SLIKE

Računalna analiza slika, kao nedestruktivna metoda analize, koristi se za dobivanje informacija iz vizualnih podataka pomoću algoritama i računalnih tehnika. U kontekstu prehrambene industrije, ova tehnologija omogućuje brzu i preciznu analizu različitih karakteristika prehrambenih proizvoda. Računalna analiza slika postaje nezamjenjiv alat u kontroli kvalitete, procesima proizvodnje te istraživanju i razvoju u prehrambenoj industriji. Ova tehnologija omogućuje brzu i točnu analizu velike količine podataka, čime doprinosi poboljšanju efikasnosti i kvalitete proizvodnje (Pranjić, 2005).

Pekari procjenjuju gustoću šupljina unutar sredine kruha. Ova karakteristika odnosi se na koliko šupljina postoji u jedinici volumena kruha. Vizualno se procjenjuje ujednačenost šupljina, odnosno kako su raspoređene po presjeku kruha. Ujednačen kruh često rezultira ravnomjernom strukturom. Pekari ocjenjuju veličinu pojedinih šupljina unutar sredine kruha. Ova karakteristika može varirati i može biti ključna za teksturu proizvoda. Vizualno se procjenjuje oblik šupljina. Različite vrste kruha mogu imati različite oblike šupljina, a oblik može utjecati na doživljaj okusa i teksture. Pekari procjenjuju debljinu stjenke između šupljina. Debljina stjenke može utjecati na ukupnu teksturu kruha. Ovi vizualno opaženi elementi omogućuju pekarima da steknu informacije o strukturi kruha. Međutim, važno je napomenuti da ova tradicionalna metoda može biti subjektivna i ovisi o iskustvu i percepciji pojedinog pekara. U suvremenim pristupima, kao što je računalna analiza slika, koriste se objektivniji alati za kvantitativnu procjenu strukture kruha (Rogers i sur., 1995; Pyle 1988).

Računalna analiza slika postala je važan alat za kvantitativnu procjenu izgleda strukture kruha, posebno sredine kruha. Računalna analiza slike omogućuje precizno mjerenje veličine pojedinih šupljina unutar kruha. To može pridonijeti razumijevanju raspodjele šupljina i njihovog utjecaja na teksturu proizvoda. Analiza distribucije veličina šupljina pruža informacije o raznolikosti veličina šupljina u kruhu. Ovo može biti važno za razumijevanje strukture i ujednačenosti proizvoda. Mjerenje broja šupljina po jedinici površine omogućuje procjenu poroznosti kruha. Računalna analiza slike može precizno izmjeriti debljinu stijenki između šupljina. Ova informacija može biti relevantna za procjenu strukture i čvrstoće proizvoda. Analiza udjela praznina pomaže u procjeni koliki postotak volumena proizvoda čine šupljine. Ovo je važno za razumijevanje teksture i sastava kruha. RAS može ocijeniti oblik pojedinih šupljina, što može biti relevantno za estetske karakteristike proizvoda (Calderón-Domínguez i sur., 2008; Rosales-Juárez i sur., 2008; Gonzales-Barron i Butler, 2006; Lagrain i sur., 2006; Takano i sur., 2002).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj različitih udjela koncentrata proteina sirutke na kvalitetu kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba. Koncentrat proteina sirutke dodavao se u količinama 5, 10 i 15 % u odnosu na ukupnu masu brašna i škroba.

3.2. MATERIJALI

Za proizvodnju kruha bez glutena su korišteni:

- koncentrat proteina sirutke WPC 80 (SFD Nutrition, Opole, Poljska),
- ksantan guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK),
- kukuruzni škrob Gustin (Dr. August Oetker KG, Bielfeld, Njemačka),
- rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska),
- suhi pekarski kvasac (Dr. August Oetker KG, Bielfeld, Njemačka),
- sol,
- suncokretovo ulje,
- šećer,
- voda.

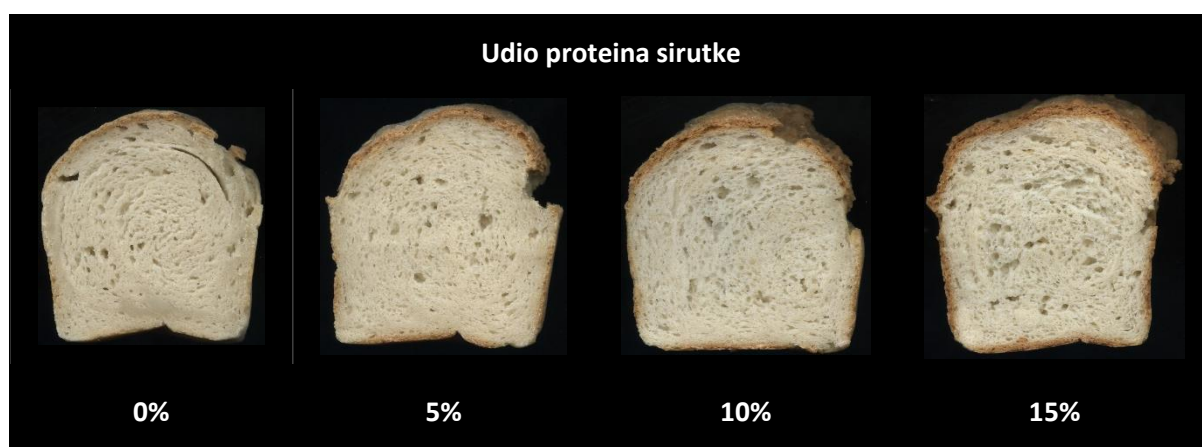
3.3. METODE

3.3.1. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena

Zamjes sirovina danih u **Tablici 1** trajao je ukupno sedam minuta, od čega dvije minute manjom brzinom i pet minuta većom brzinom. Nakon zamjesa sirovina se tijesto podijelilo na dva dijela i stanjivalo valjkom za tijesto. Rolanjem tijesta formirane su dvije štruce koje su stavljene u kalup za pečenje i prenesene u fermentacijsku komoru gdje se proces fermentacije odvijao 45 min pri 30 °C i relativnoj vlažnosti zraka od 85 %. Nakon fermentacije, uslijedilo je pečenje na ukupno 45 min – 3 min na 200 °C i 42 min na 175 °C. Nakon pečenja uzorci su se hladili minimalno 1 h nakon čega su provedene ostale analize.

Tablica 1 Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena s dodatkom koncentrata proteina sirutke

Sastojci (g)	0% PKS	5% PKS	10% PKS	15% PKS
Rižno brašno	360	342	324	306
Kukuruzni škrob	40	38	36	34
Koncentrat proteina sirutke	0	20	40	60
Ksantan guma	16	16	16	16
Suhi kvasac	12	12	12	12
Ulje	20	20	20	20
Šećer	12	12	12	12
Sol	8	8	8	8
Voda	320	320	320	320



Slika 1 Izgled uzoraka kruha bez glutena s različitim udjelima koncentrata proteina sirutke

3.3.2. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena

Iz svakog su uzorka kruha izrezane dvije šnite debljine 25 mm. Teksturalni profil (TPA) kruha određivan je pomoću analizatora teksture TA.XT2i (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK), a dobiveni rezultati su analizirani s Texture Exponent 32 softverom (verzija 3.0.5.0.).

Boja sredine, tj. presjeka kruha mjerena je u CIELab sustavu kolorimetrom CR-400 (Konica Minolta, Japan) pri čemu je L *vrijednost predstavljala svjetlinu koja se može kretati u rasponima od 0 (crna) do 100 (bijela). a* vrijednost predstavljala je vektor između crvene i zelene boje čije vrijednosti mogu biti od -128 do 127, a b* predstavlja vrijednost između žute i plave boje čije su vrijednosti od -128 do 127.

Specifični volumen (cm/g^3) određivan je pomoću metode laserske topografije s laserskim uređajem Volscan Profiler (Stable Microsystem Ltd., Surrey, UK) prema naputcima proizvođača.

3.3.3 Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena

Senzorska svojstva kruha bez glutena s dodatkom koncentrata proteina sirutke proveo je panel od pet ocjenjivača. Svi su ocjenjivači imali prethodnog iskustva sa senzorskom analizom te nisu imali zdravstvenih problema koji bi mogli utjecati na senzorsku procjenu poput daltonizma ili anozmije. Ocjenjivači su upoznati sa zadatkom i ciljem istraživanja te uzorcima koje će testirati. Korištena je hedonistička skala, a ocjenjivani su vanjski izgled, izgled sredine, tekstura, miris, okus i ukupni dojam. Ocjene su bile u vrijednosti od jedan do devet, pri čemu je jedan naročito nepoželjno, a devet naročito visoko poželjno.

3.3.4. Računalna analiza slike poroznosti bezglutenskog kruha

Štruce kruha presječene su poprečno kako bi se dobile šnite debljine 2,5 centimetara. Dvije središnje šnite svakog kruha obostrano su skenirane pomoću Epson Perfection V500 Photo skenera. Slike su spremljene u TIFF formatu na računalu, a prethodno skenirane u rezoluciji od 1200 piksela po inču i zabilježene u 24-bitnom RGB formatu. Za daljnju analizu svakog uzorka, slike su podvrgnute odabiru reprezentativne površine dimenzija 1,5x1,0 inča. Program ImageJ v1.53g korišten je za računalnu analizu slike. Za analizu šupljina na slikama korišten je Default algoritam. Rezultat analize unutarnje strukture kruha obuhvatio je prikupljanje sljedećih podataka: prosječna površina koju zauzimaju šupljine (poroznost), prosječna veličina šupljina

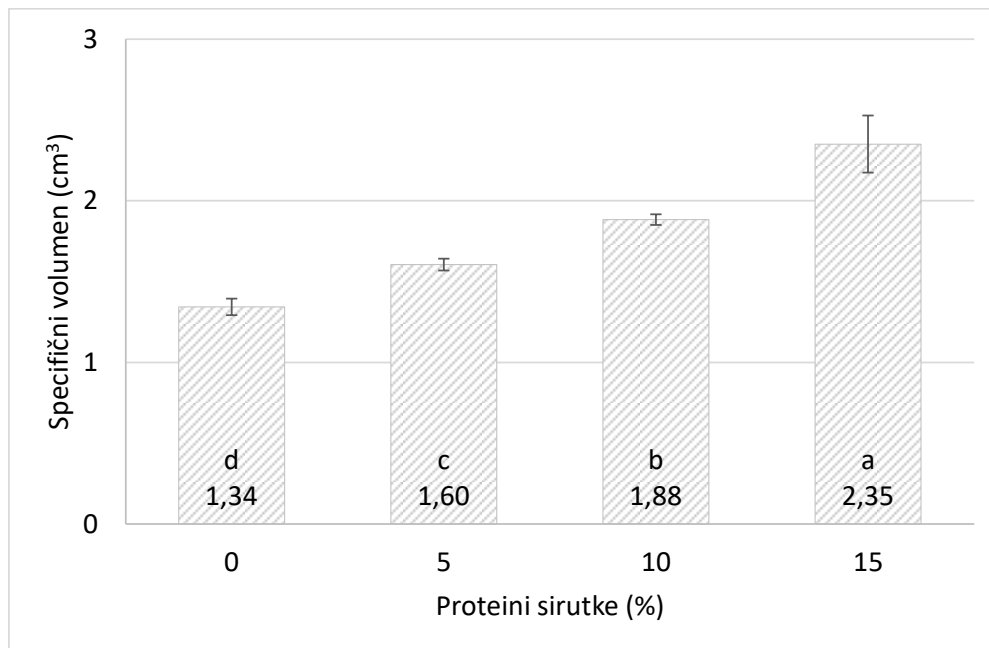
i ukupan broj šupljina. Pomoću podataka prikupljenih tijekom segmentacije provedena je usporedba različitih uzoraka s različitim udjelima proteina sirutke. (0, 5, 10 i 15%). Ovaj pristup omogućuje objektivnu analizu unutarnje strukture kruha bez glutena pomoću računalne analize slike, što može pridonijeti boljem razumijevanju promjena u strukturi uzoraka uz različite dodatke proteina.

3.3.5. Statistička obrada rezultata

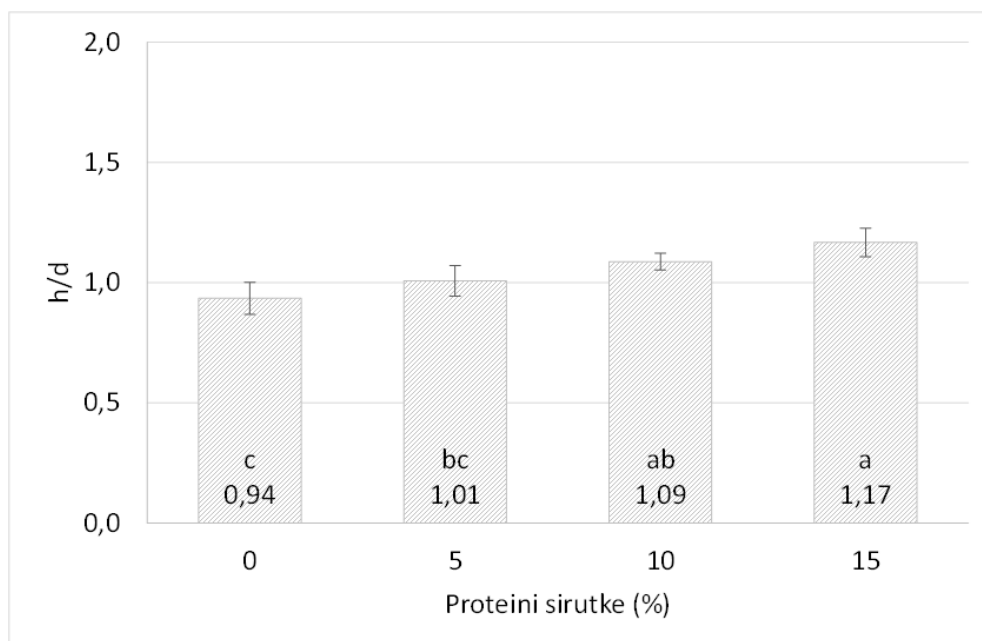
Eksperimentalni podaci analizirani su analizom varijance (ANOVA), a razlike između uzoraka ispitane su Tukey-evim HSD (honestly significant difference) testom ($p < 0,05$). Statistička analiza provedena je pomoću softvera XLSTAT (Addinsoft, New York, SAD).

4. REZULTATI

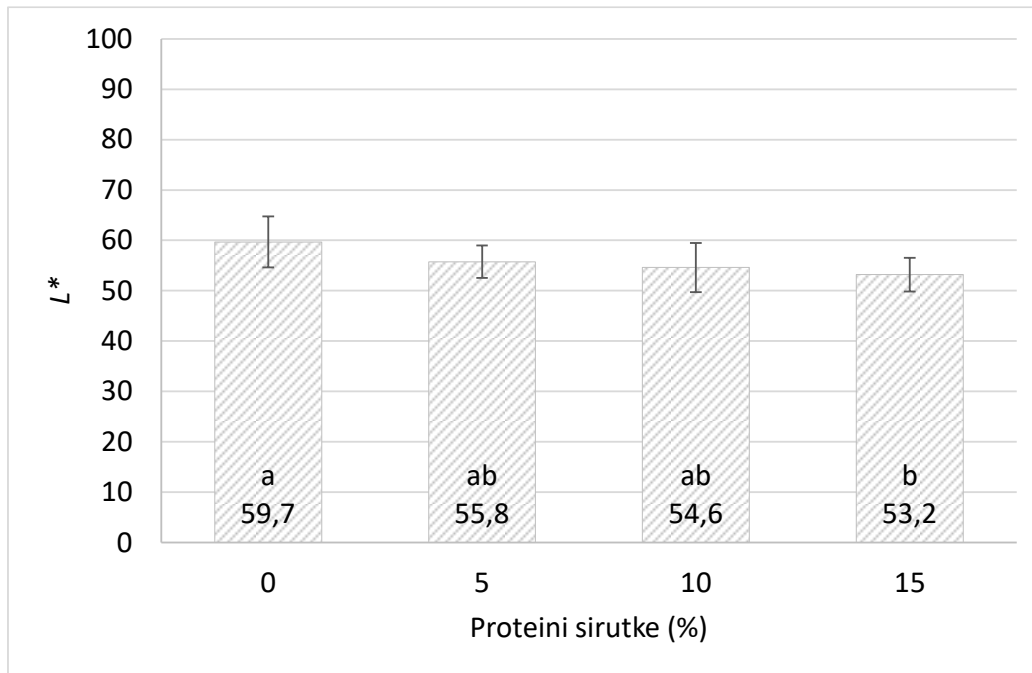
4.1. REZULTATI ODREĐIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA KRUHA BEZ GLUTENA



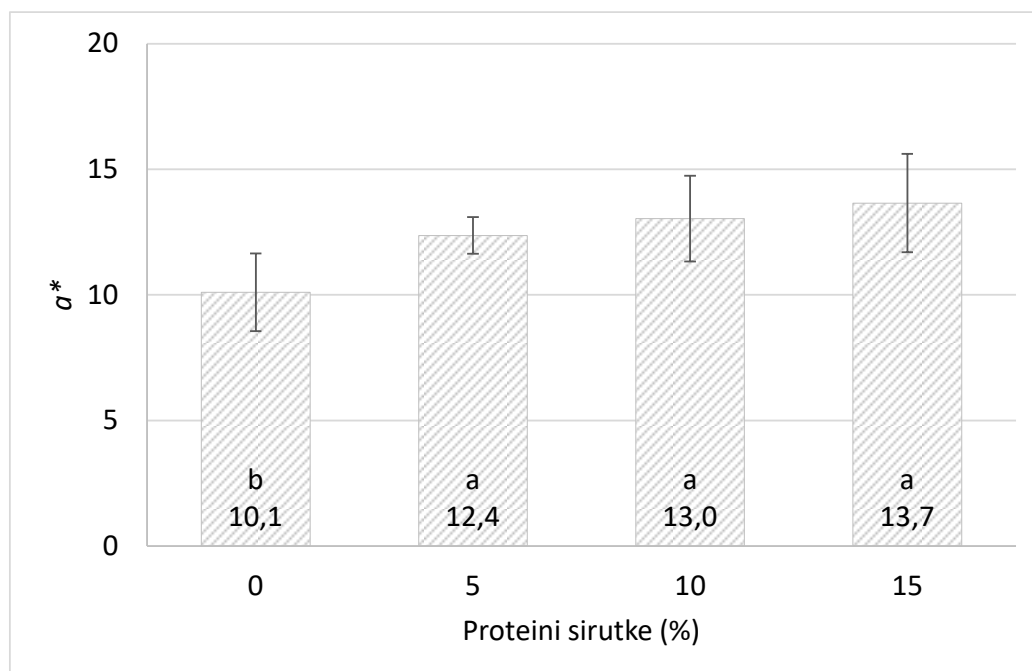
Slika 2 Analiza specifičnog volumena bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



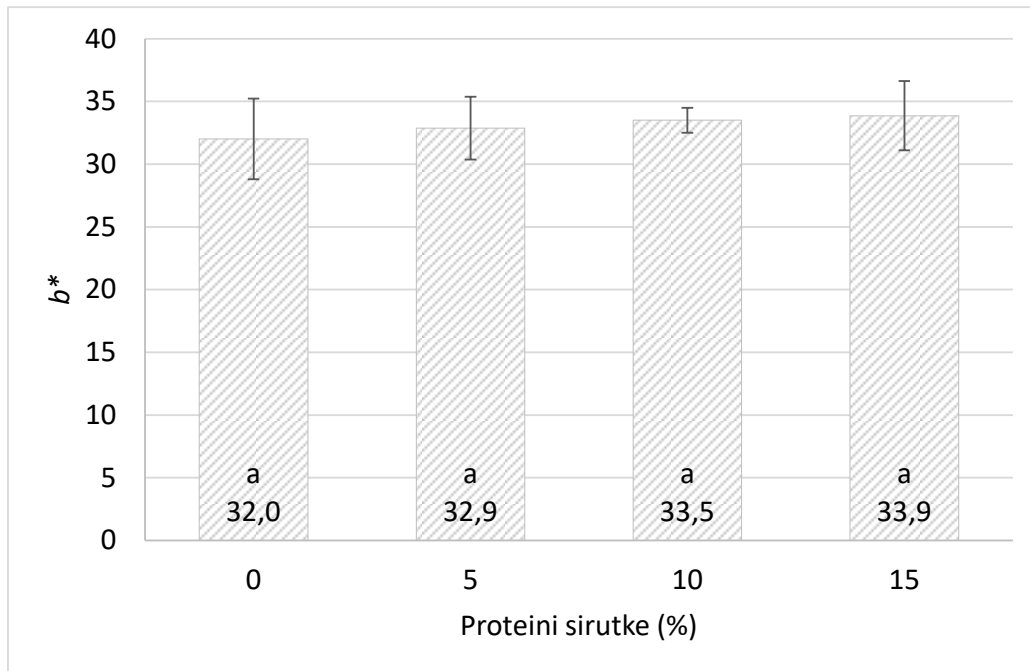
Slika 3 Analiza h/d omjera bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



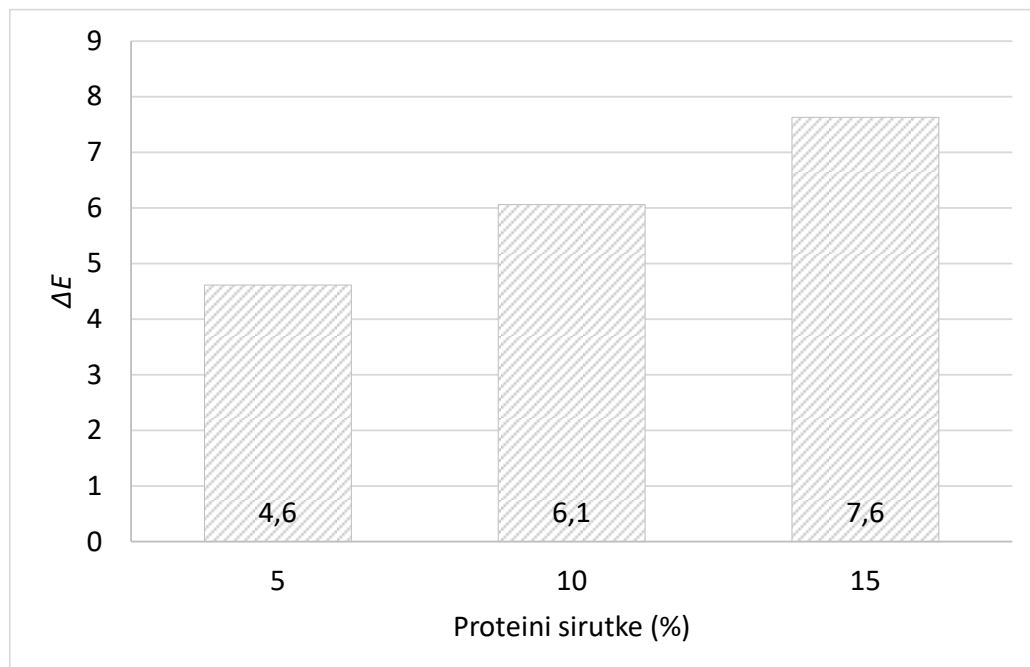
Slika 4 Analiza svjetline površine kore bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



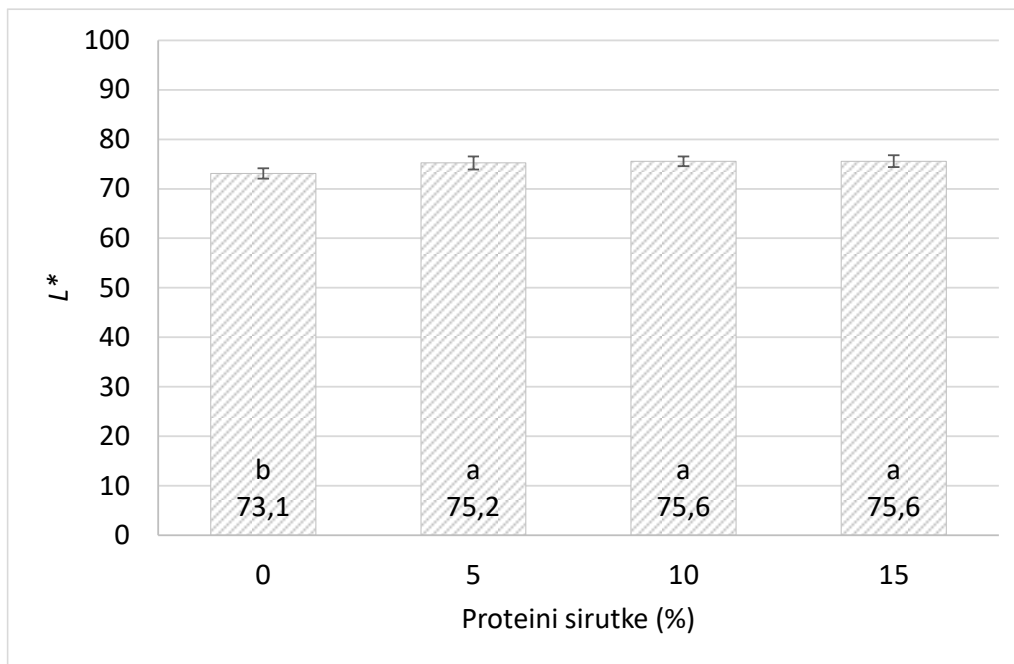
Slika 5 Analiza kromatske komponente zeleno-crvene boje površine kore bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



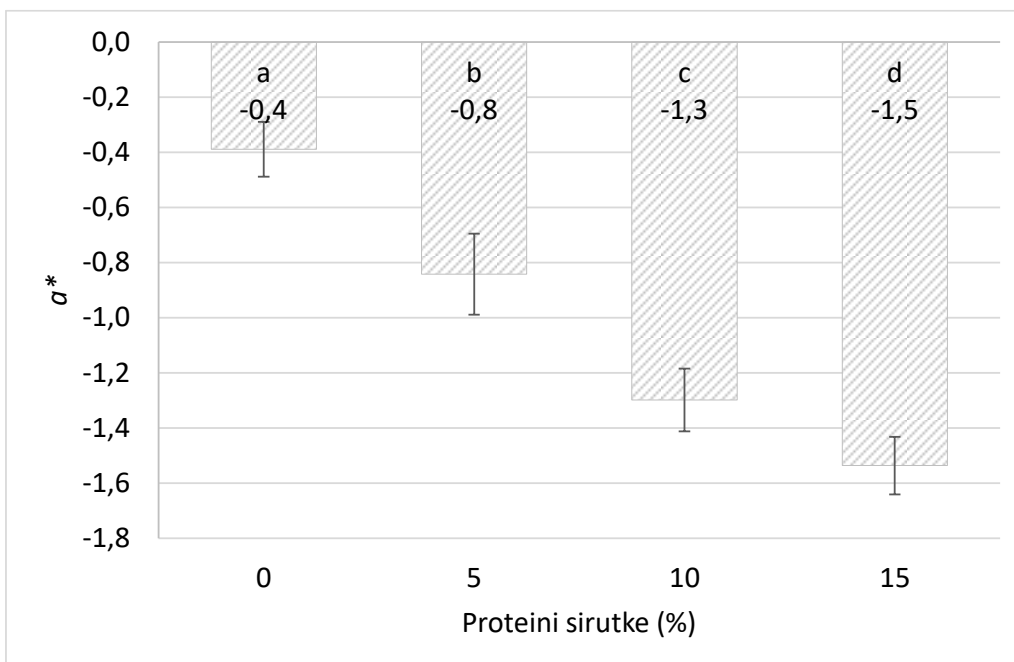
Slika 6 Analiza kromatske komponente plavo-žute boje površine kore bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



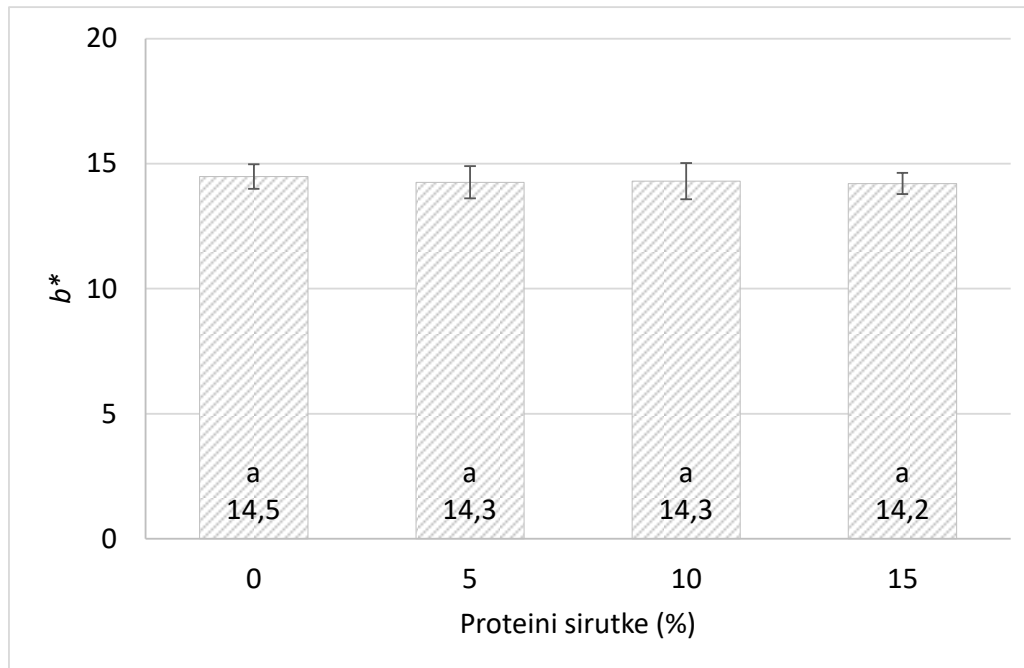
Slika 7 Analiza ukupne promjene boje površine kore bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke



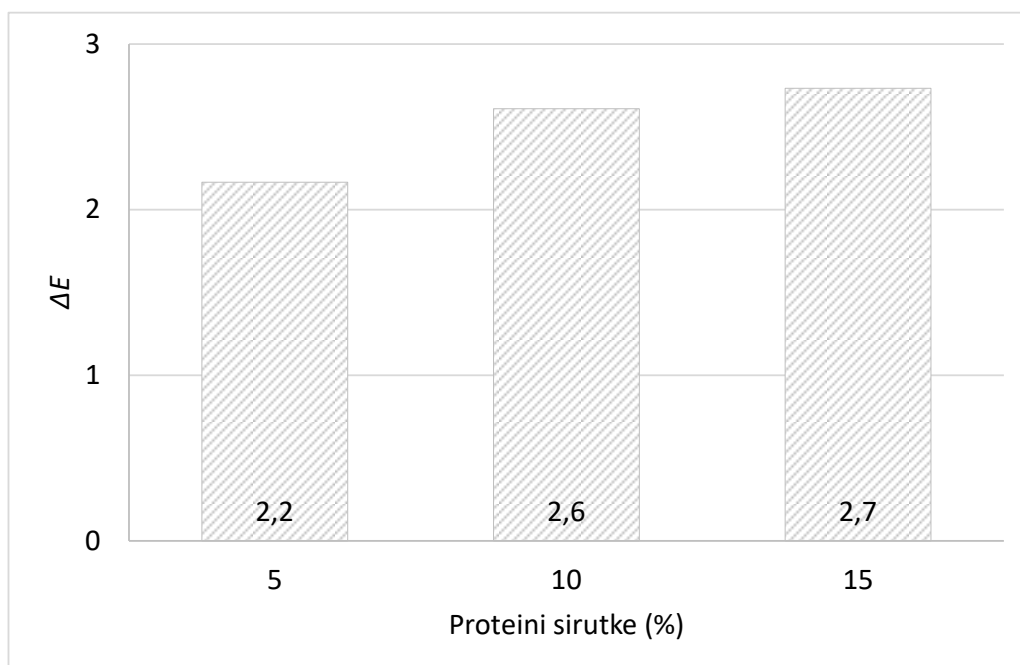
Slika 8 Analiza svjetline sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



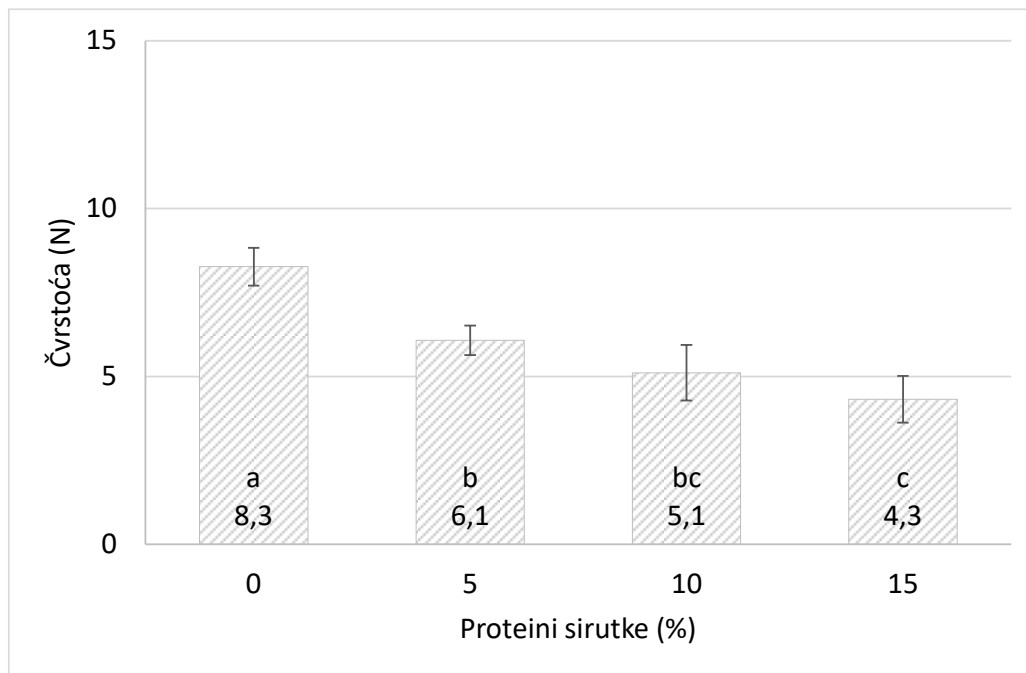
Slika 9 Analiza kromatske komponente zeleno-crvene boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



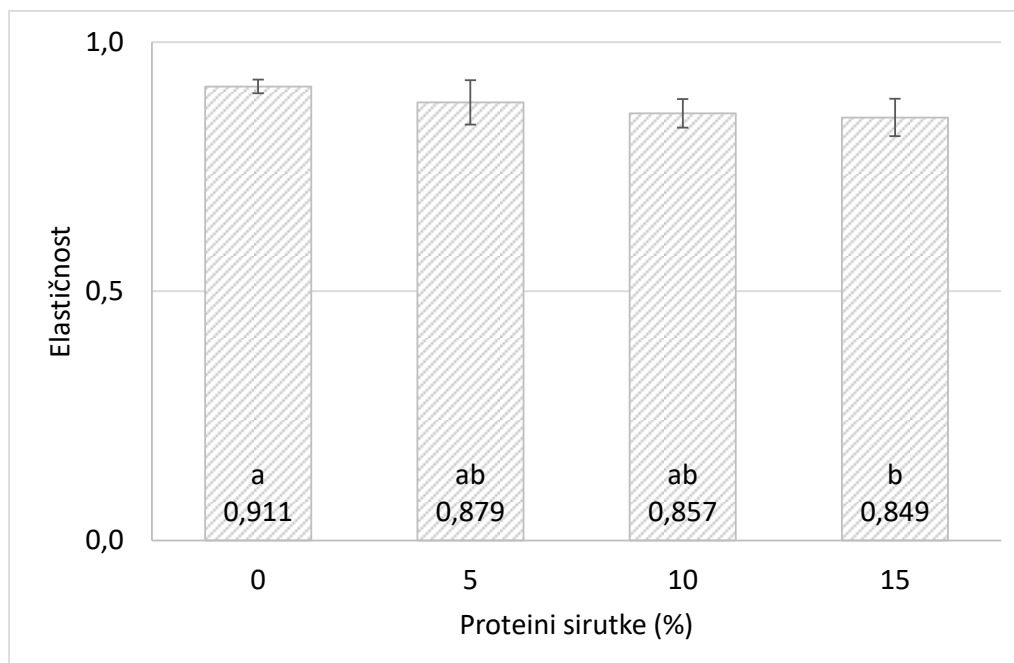
Slika 10 Analiza kromatske komponente plavo-žute boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



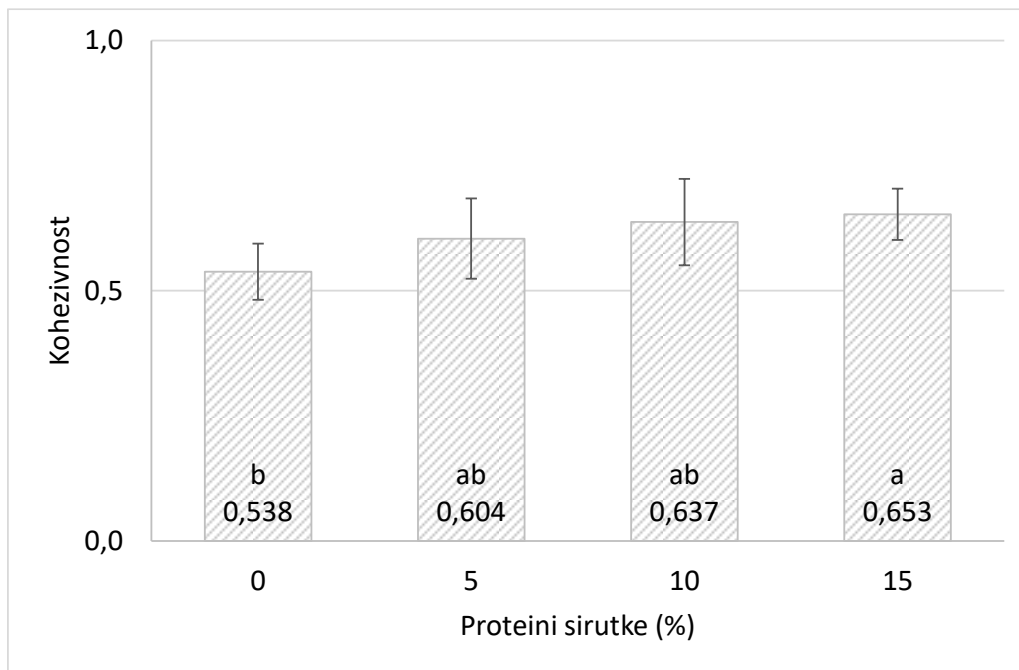
Slika 11 Analiza ukupne promjene boje sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke



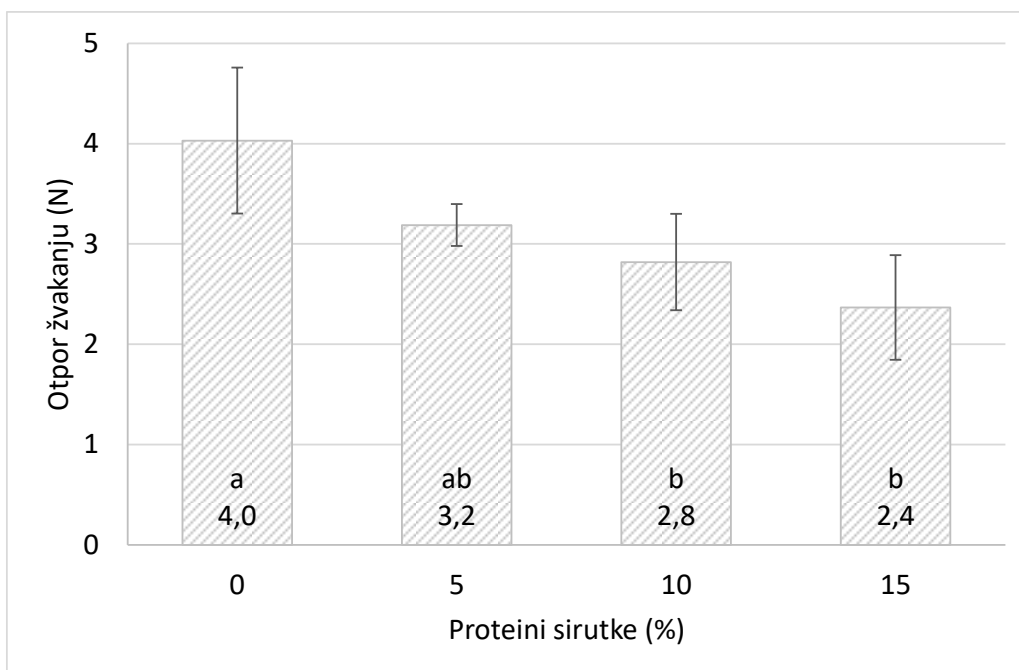
Slika 12 Rezultati čvrstoće bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



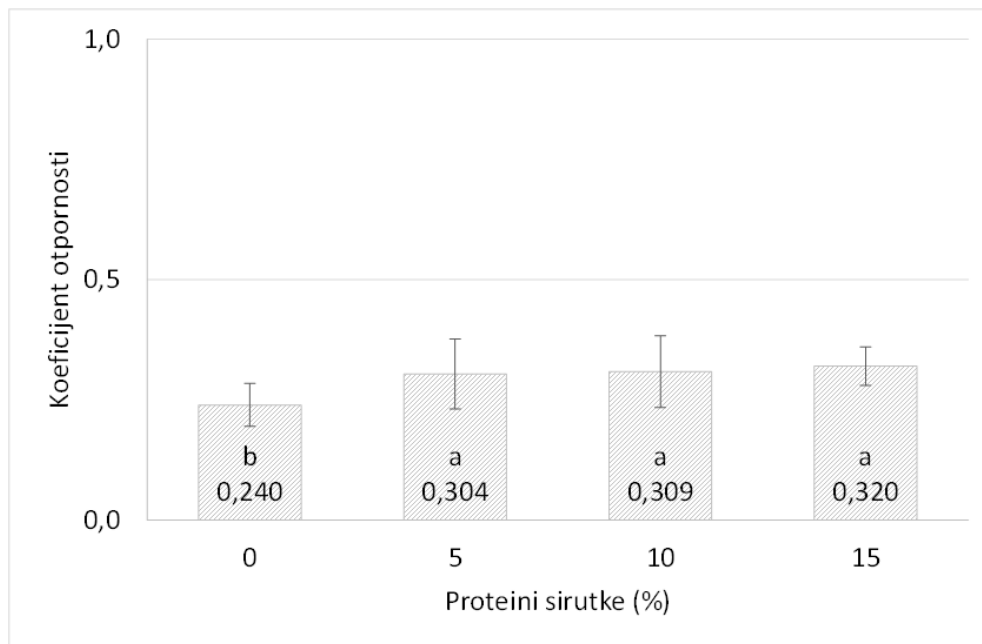
Slika 13 Rezultati elastičnosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



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

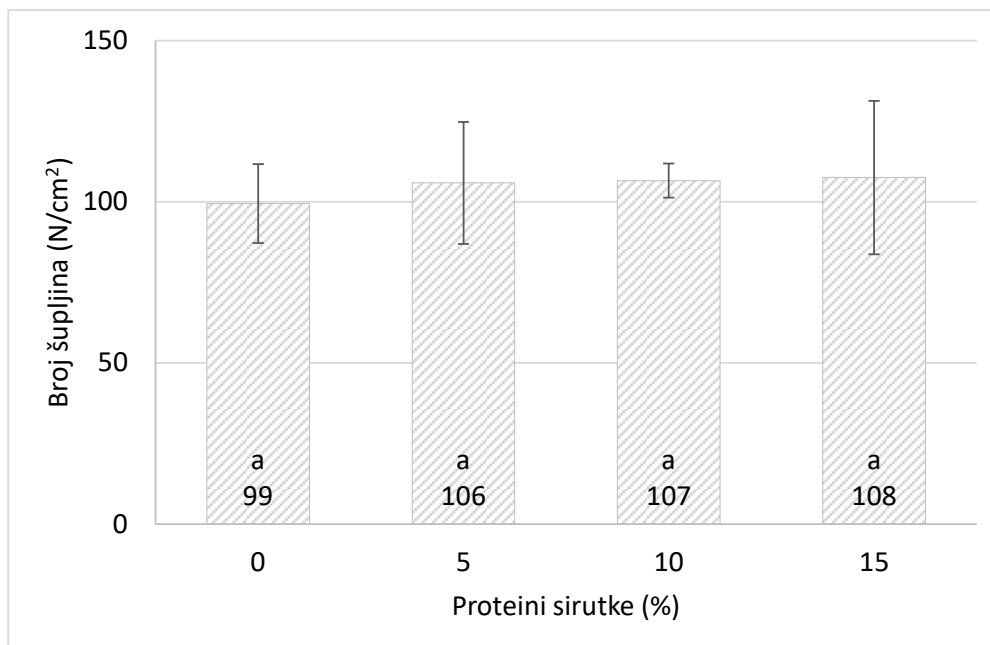


Slika 15 Rezultati otpora žvakanju bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti ± standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)

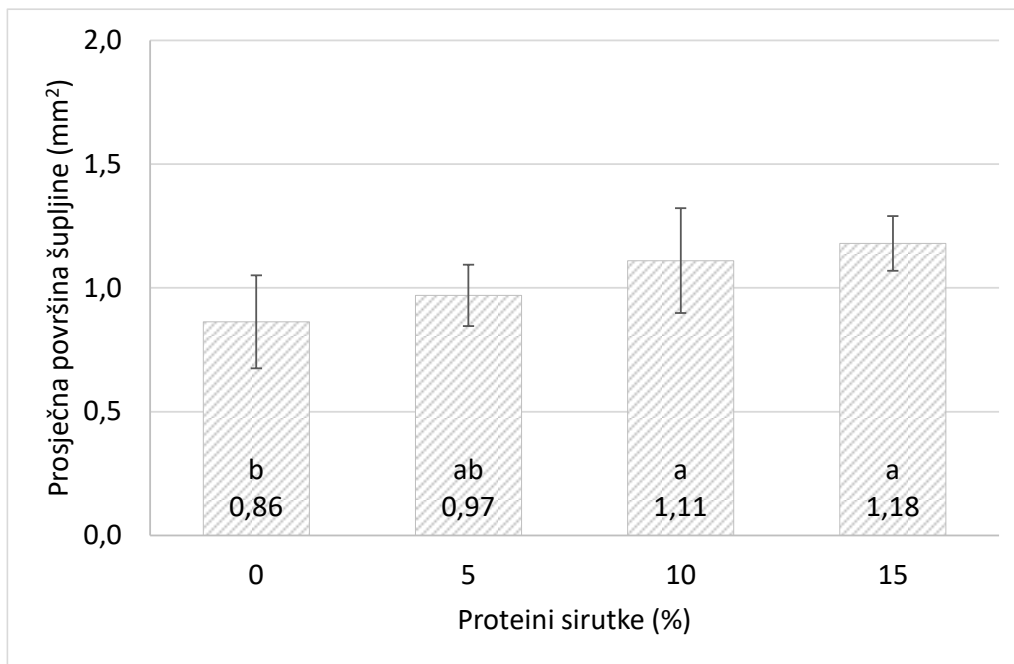


Slika 16 Rezultati koeficijenta otpornosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)

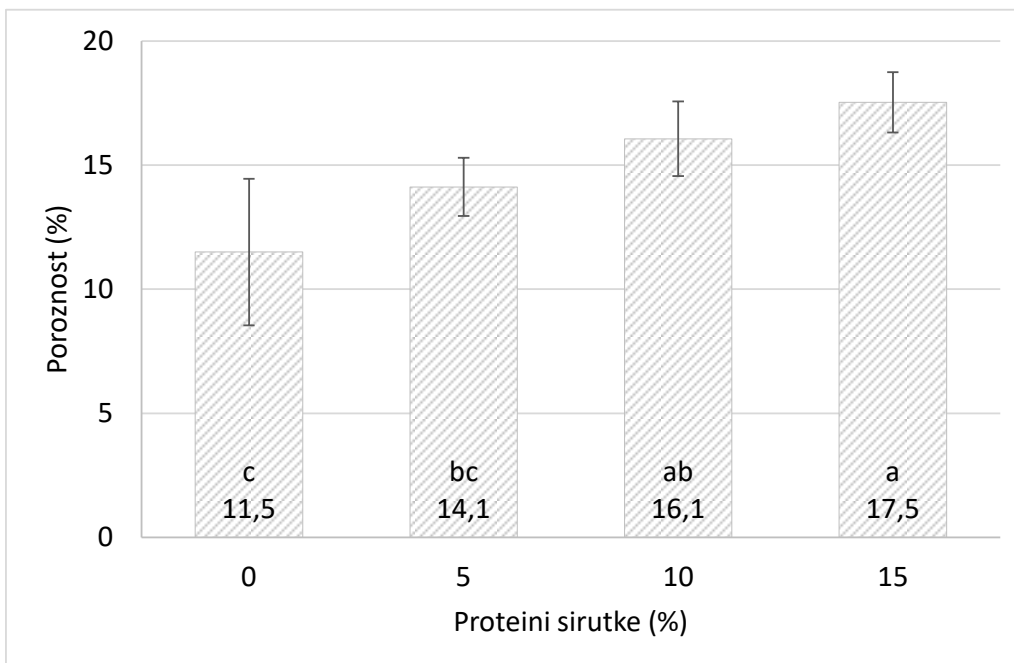
4.2. REZULTATI POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA



Slika 17 Broj šupljina određen računalnom analizom slike bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)

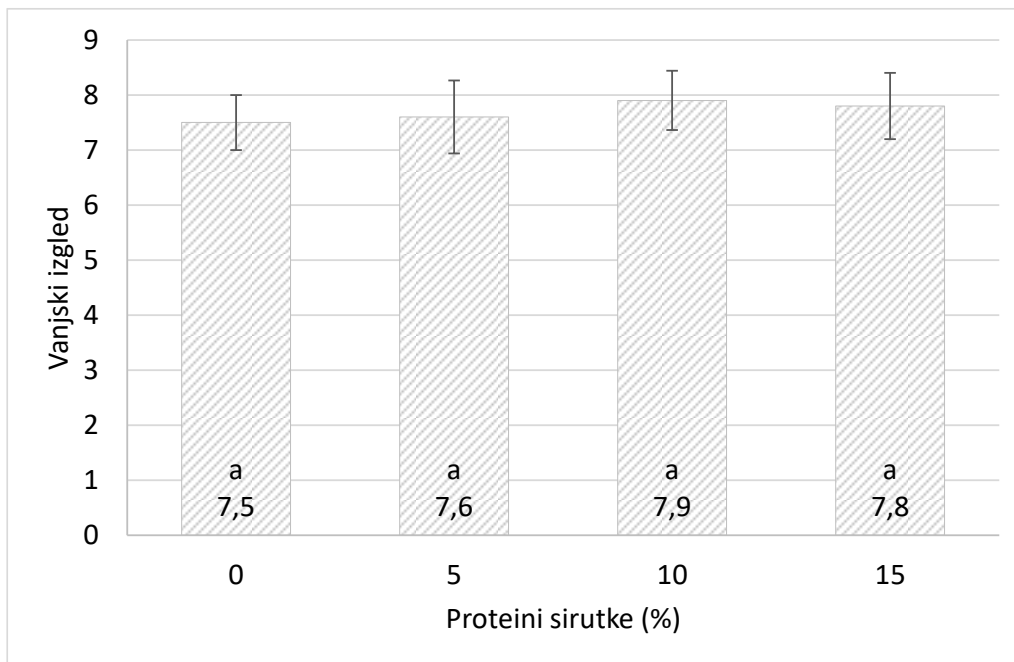


Slika 18 Rezultati prosječne površine šupljine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)

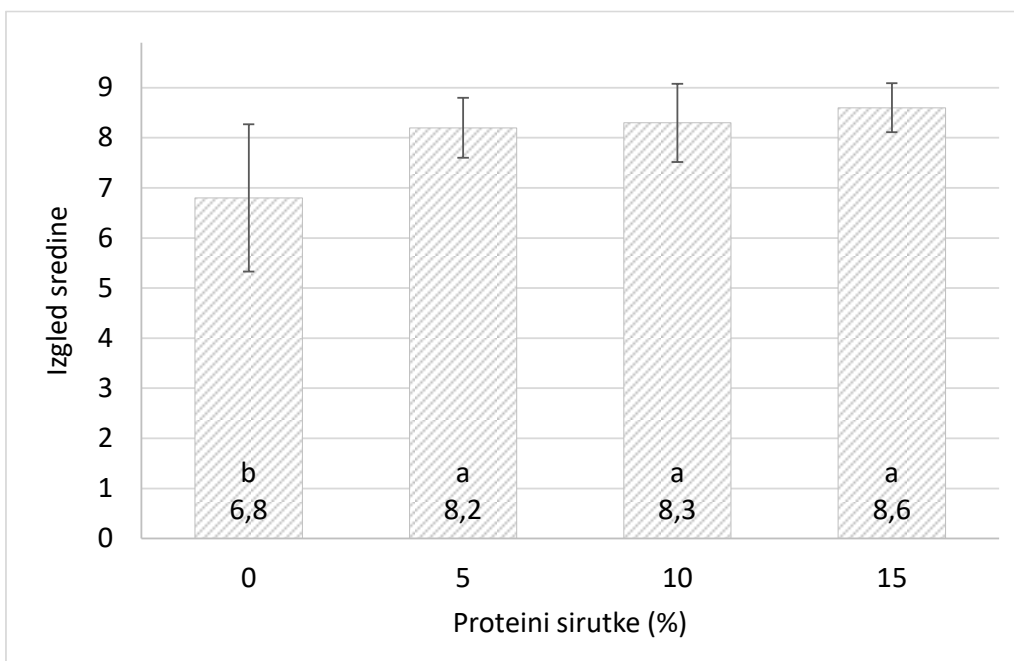


Slika 19 Rezultati poroznosti bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)

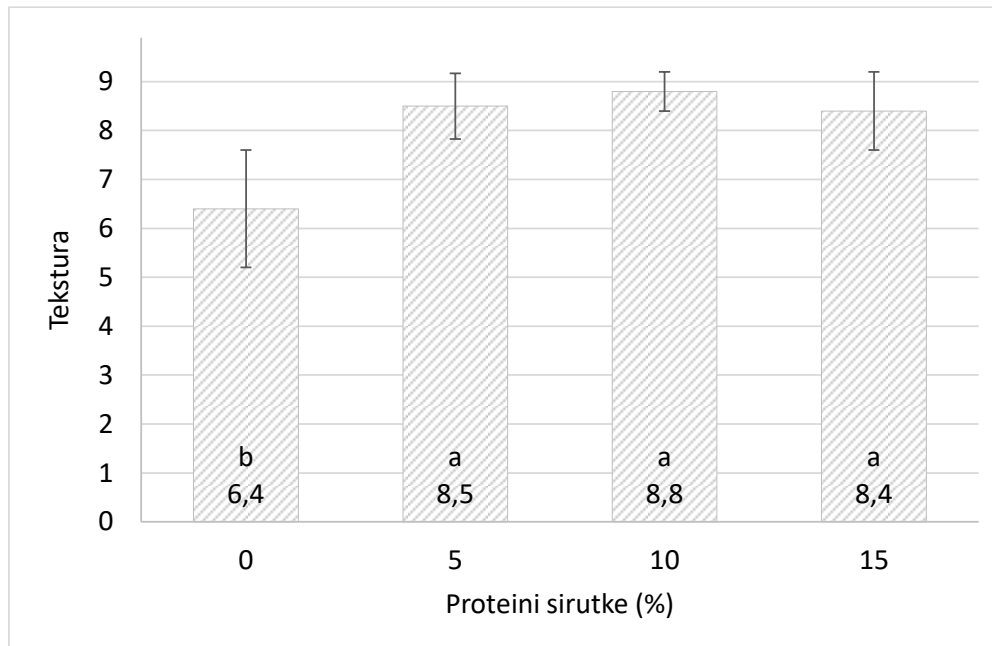
4.3. REZULTATI SENZORSKE OCJENE KRUHA BEZ GLUTENA



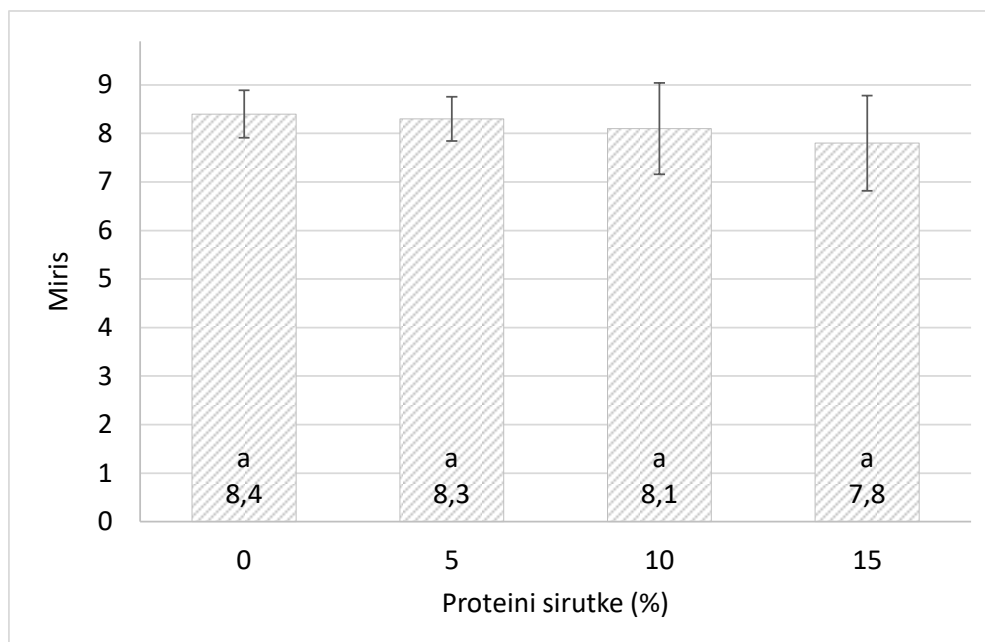
Slika 20 Rezultati senzorske ocjene vanjskog izgleda bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



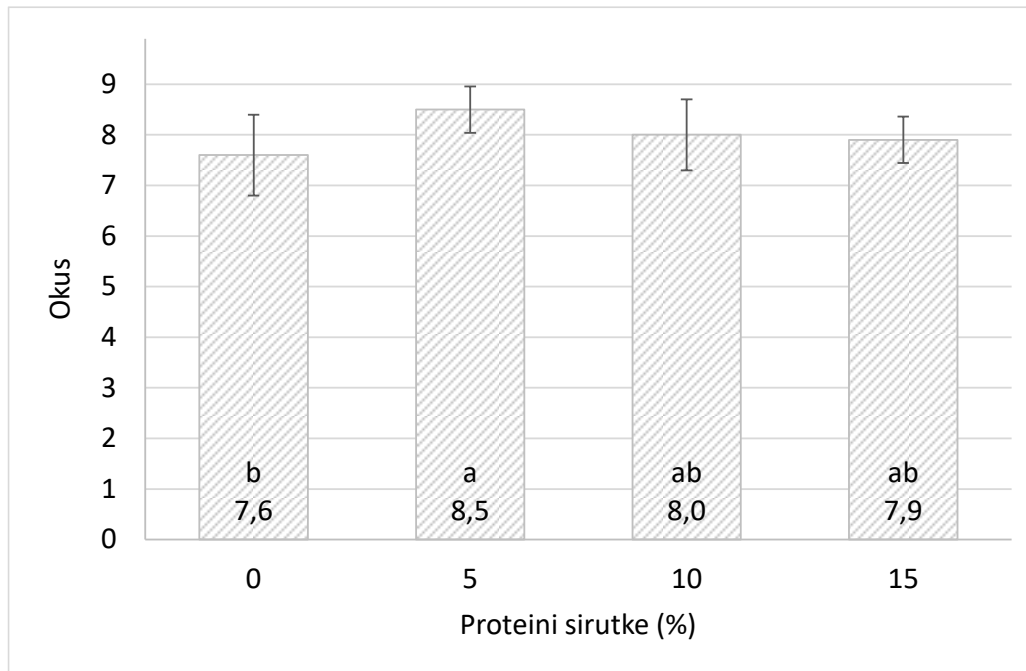
Slika 21 Rezultati senzorske ocjene izgleda sredine bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



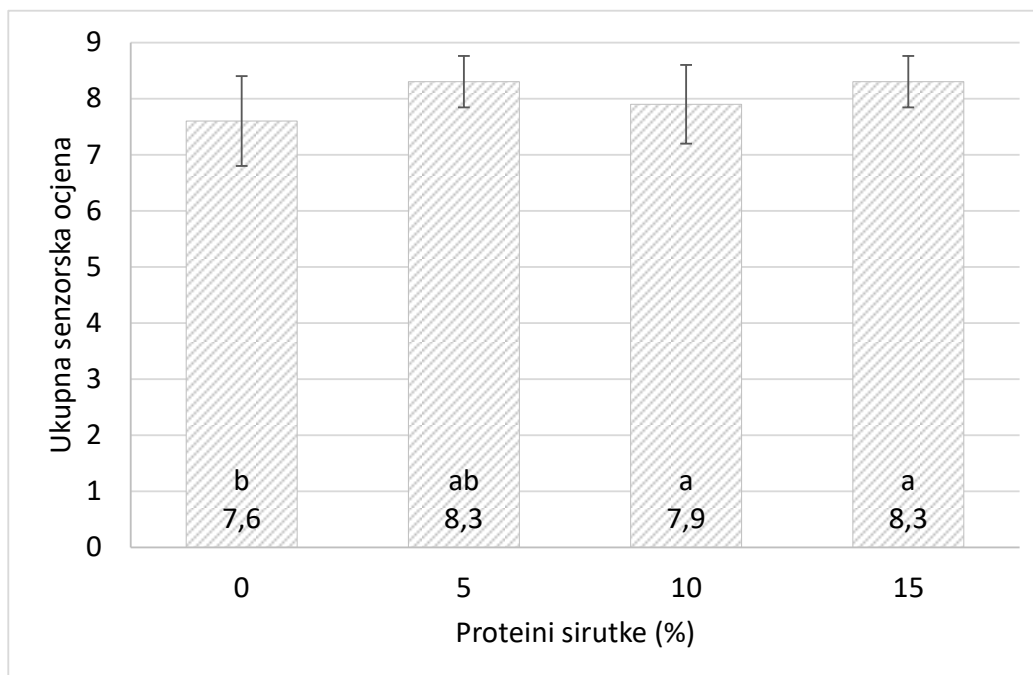
Slika 22 Rezultati senzorske ocjene teksture bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke (prikazane su srednje vrijednosti \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovom nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Tukey-evom HSD testu)



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

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

Iz rezultata analize specifičnog volumena bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke prikazanih na **Slici 2**, utvrđeno je da je povećanjem udjela dodatka proteina sirutke došlo do porasta specifičnog volumena od $1,34 \text{ cm}^3$ (za kontrolni uzorak) do $2,35 \text{ cm}^3$ (za uzorke s 15% dodatka proteina sirutke). To se može pripisati proteinskim svojstvima sirutke koja doprinose boljem zadržavanju plinova tijekom pečenja, što rezultira povećanim volumenom kruha. Istraživanje utjecaja različitih ne-glutenskih proteina na kruh bez glutena istraživali su također Ziobro i sur. (2013) te su dobili da specifični volumen kruha raste pri dodatku proteina lupine i proteina albumina, što je u skladu s istraživanjima u ovom diplomskom radu. Suprotan utjecaj, odnosno smanjenje specifičnog volumena Ziobro i sur. (2013) dobili su kod dodatka proteina soje i kolagena, što je suprotno rezultatima koji su dobiveni u ovim mjerenjima.

Iz rezultata analize omjera visine i širine (h/d) bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke prikazanih na **Slici 3** utvrđeno je da je povećanjem udjela dodatka proteina sirutke došlo do statistički značajnih razlika između analiziranih uzoraka. Veći udio dodatka proteina sirutke povećavao je h/d omjer. Najmanje vrijednosti h/d omjera od 0,94 zabilježene su kod kontrolnog, dok su najveće vrijednosti zabilježene kod uzoraka s 15% dodatka proteina sirutke uzorka, 1,17. Rezultat upućuje da je kruh postao viši i manje kompaktan. Navedeno povećanje omjera visine i širine kruha obično se povezuje s poboljšanjem teksture i strukture. To može rezultirati mekanijim, zračnijim ili manje kompaktnim kruhom, što su često željene karakteristike kod pekarskih proizvoda.

Iz rezultata prikazanih na **Slikama 4-7** utvrđeno je da je protein sirutke utjecao na gotovo sve CIELab parametre boje površine kruha bez glutena, kao i na ukupnu promjenu boje. Vrijednosti svjetline površine kretale su se u rasponu od 53,2 (za uzorke s 15% proteina sirutke) do 59,7 (za kontrolni uzorak). Porast udjela proteina sirutke uzrokovao je smanjenje svjetline površine kruha, odnosno smanjenje L^* vrijednosti. Osim toga, utvrđeno je povećanje kromatske komponente zeleno-crvene boje (a^*) kao i kromatske komponente plavo-žute boje (b^*), u odnosu na kontrolni uzorak, što znači da je površina kore uzoraka s dodatkom proteina nešto malo crvenija i žuća u odnosu na kontrolni uzorak. Ukupna promjena boje kore kruha uzoraka

s dodatkom proteina sirutke u odnosu na kontrolni uzorak raste s povećanjem udjela proteina sirutke u bezglutenskom kruhu.

Rezultati prikazani na **Slikama 8-11** ukazuju da je protein sirutke utjecao na gotovo sve CIELab parametre boje sredine kruha bez glutena, kao i na ukupnu promjenu boje. Svjetlina sredine kruha kretala se u rasponu od 73,1 (za kontrolni uzorak) do 75,6 (za uzorke s 10 i 15% proteina sirutke). Porast udjela proteina sirutke uzrokovao je povećanje svjetline površine sredine kruha, odnosno povećanje L^* vrijednosti, pri čemu su najtamniji uzorci bili oni sa 0% proteina sirutke, tj. kontrolni uzorci ($L^*=73,1$). Osim toga, utvrđeno je smanjenje kromatske komponente zeleno-crvene boje (a^*) kao i kromatske komponente plavo-žute boje (b^*), u odnosu na kontrolni uzorak pa se može reći da je sredina kruha s dodatkom proteina sirutke zelenija i plavlja u odnosu na kontrolni uzorak. Rezultati ukupne promjene boje sredine kruha (**Slika 11**) ukazuju na to da povećanje udjela dodatka proteina sirutke utječe na sve veće razlike u boji sredine kruha u odnosu na kontrolni uzorak.

Na **Slikama 12-16** prikazani su rezultati analize teksturalnog profila bezglutenskog kruha. Utvrđeno je da se čvrstoća kruha smanjuje porastom udjela proteina sirutke, pri čemu su uzorci s 15% sirutke imali najmanju čvrstoću (4,3 N). Ovakvi rezultati prikazani su i u sličnim studijama. Prema autorima Song i sur. (2018) utvrđeno je da se mekoća povećava smanjenjem koncentracije dodanog proteina sirutke. Dodatak proteina bezglutenskom kruhu imao je značajan utjecaj na njegova svojstva, kako je prikazano u radu Ziobro i sur. (2013.), dodatak proteina značajno smanjuje čvrstoću kruha. Porast udjela proteina sirutke rezultirao je smanjenjem elastičnosti, dok je kohezivnost kruha bez glutena rasla. Otpor žvakanju bio je direktno proporcionalan čvrstoći i elastičnosti kruha, a obrnuto proporcionalan kohezivnosti, pri čemu su uzorci s 15% sirutke imali najmanji otpor žvakanju (2,4 N). Dodatak sirutke značajno je povećao koeficijent otpornosti, dok promjene udjela proteina sirutke u recepturi nisu utjecale na koeficijent otpornosti kruha bez glutena.

Broj šupljina (**Slika 17**) bio je najveći u uzorku koji je sadržavao 15 % sirutke (108), a najmanji kod kontrolnog uzorka (99). Međutim, nije utvrđena statistički značajna razlika u utjecaju udjela sirutke na broj šupljina bezglutenskog kruha. Prosječna površina šupljina (**Slika 18**) kod uzoraka bezglutenskog kruha rasla je povećanjem udjela sirutke, pri čemu su uzorci s 15 % sirutke imali prosječnu površinu od 1,18 mm². Rezultati poroznosti bezglutenskog kruha s dodatkom sirutke prikazani su na **Slici 19**, upućuju na povećanje poroznosti s povećanjem

udjela proteina sirutke i kretali su se u rasponu od 11,5 % (za kontrolni uzorak) do 17,5 % (za uzorke s 15% sirutke).

Na **Slikama 20-25** prikazane su ocjene senzorskog dojma kruha bez glutena s dodatkom sirutke. Uzorci s dodatkom proteina sirutke statistički se međusobno značajno ne razlikuju u ocjeni vanjskog izgleda niti od kontrolnog uzorka, niti međusobno. Uzorak s 10 % proteina sirutke dobio je najveću ocjenu u vanjskom izgledu i teksturi. Najbolji miris ocjenjen je kod kontrolnog uzorka (0 %), a u konačnici najbolja ukupna senzorska svojstva imaju uzorci s 5 % i 15 %. Uzorak s 5 % najbolje je ocjenjen u okusu, što sugerira da je 5% proteina sirutke optimalna količina koja poboljšava senzorska svojstva bezglutenskog kruha.

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

- Povećanje specifičnog volumena: Povećanjem udjela proteina sirutke došlo je do znatnog povećanja specifičnog volumena kruha jer proteini sirutke doprinose bolje zadržavanju plinova tijekom pečenja.
- Promjene u omjeru visine i širine: Dodatak proteina sirutke rezultirao je povećanjem omjera visine i širine kruha. Ovaj rezultat sugerira da je kruh postao viši i manje kompaktan, što su često željene karakteristike kod pekarskih proizvoda. Navedeno povećanje omjera visine i širine kruha obično se povezuje s poboljšanjem teksture i strukture.
- Promjene u teksturi: Dodatak proteina sirutke smanjio je čvrstoću kruha, smanjio elastičnost te povećao kohezivnost. Otpor žvakanju bio je viši u uzorcima s većim udjelom proteina sirutke. Analiza strukture sredine kruha pokazala je da je dodatak proteina sirutke povećao broj šupljina i poroznost.
- Promjene u boji: Dodatak proteina sirutke je utjecao na boju kako površine tako i sredine kruha. Svjetlina površine smanjivala se s povećanjem udjela sirutke. Kromatska komponenta zeleno-crvene boje (a^*) je rasla porastom udjela proteina sirutke, te je zasićenija crvenom bojom. Kromatska komponentna plavo-žute boje (b^*) povećavala se porastom udjela proteina sirutke, te ukazuje na zasićenje žutom bojom. Promjene u sredini kruha ukazuju da se svjetlina povećavala porastom udjela sirutke. Vrijednost kromatske komponentne a^* je rasla u negativnom smjeru, te je izraženija zelena boja. Kromatska komponentna b^* se s porastom udjela proteina sirutke smanjivala.
- Senzorska prihvatljivost: Svi uzorci bezglutenskog kruha s dodatkom proteina sirutke bili su senzorski prihvatljivi. Dodatak 5% proteina sirutke optimalna je količina koja poboljšava senzorska svojstva bezglutenskog kruha.

Ovi rezultati ukazuju da dodatak proteina sirutke poboljšava volumen, teksturu i senzorski dojam bezglutenskog kruha, a promjene u boji i strukturi kruha rezultat su proteina sirutke s ostalim sastojcima u recepturi.

- Anderson, J: Što je glutenska ataksija?, 2023. <https://hr.approby.com/sto-je-glutena-ataksija/> [08.09.2023].
- 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. Department of Food and Nutritional Sciences, Ireland, 2008
- Blažić M, Zavadlav S, Kralj E, Šarić G: Production of whey protein as nutritional valuable foods. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 10(2):255-260, 2018.
- Božanić R, Tratnik LJ: Napitci na bazi sirutke - nova generacija mliječnih proizvoda. *Mljekarstvo*, 58(3):257-274, 2008.
- Bryant, RJ, Kadan RS, Champagne, ET, Vinyard BT, Boykin D: Functional and Digestive Characteristics of Extruded Rice Flour. *Cereal Chemistry*, 78(2):131-137, 2001.
- Calderón-Domínguez G, Chanona-Pérez J, Ramos-Cruz AL, López-Lara AI., Tlapale-Valdivia AD, Gutiérrez-López GF: Fractal and image analysis of Mexican sweet bread bubble distribution; influence of fermentation and mixing time. U Campbell GM, Scanlon M, Pyle L, Niranjan K (urednik), *Bubbles in food 2: Novelty, health and luxury* (pp. 73 – 81). St.Paul: American Association of Cereal Chemists, 2008
- Culetu A, Duta DE, Papageorgiou M, Varzakas T: The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Indeks, *Foods* 10 (12): 3121., 2021.
- Čiča Hanousek K, Stanzer D, Markov K, Frece J, Mrvčić J: Mikrobiološka kvaliteta komercijalnog pekarskog kvasca na hrvatskom tržištu, *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 10(3-4), 2015.
- Elke KA, Dal Bello F: Gluten-free cereal products and beverages. Science Direct, Ireland, 2008.
- Encina-Zelada CR , Cadavez V , Teixeira JA, Gonzales-Barron U: Optimization of Quality Properties of Gluten-Free Bread by a Mixture Design of Xanthan, Guar, and Hydroxypropyl Methyl Cellulose Gums. *Foods*, 8(5):156,2019

- Feja M, Cortines J, Kessler A: Xanthan Gum i gluten-free bread. Jungbunzlauer. *From nature to ingredients*, 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.
- Filipčev B, Pojić M, Šimurina O, Mišan A, Mandić A: Psyllium as an improver in gluten-free breads: Effect on volume, crumb texture, moisture binding and staling kinetics. *LWT - Food Science and Technology*, 151:112-156, 2021.
- Gallagher E., Gormley T. R., Arendt E. K.: Crust and crumb characteristics of gluten free breads, *Journal of Food Engineering*, 56(2-3):153-161, 2003a
- Gallagher E, Kunkel A, Gormley TR, Arendt EK: The effect of dairy and rice powder addition on loaf on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten -free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology* 218:44-48, 2003b
- Gonzales-Barron U, Butler F: A comparison of seventhresholding techniques with the k-means clustering algo-rithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74 (2), 268 – 278, 2006.
- He H, Hosney RC: Gas retention of different cereal flours. *Cereal Chemistry*, 68:334–336, 1991.
- Herceg Z, Režek, A: Prehrambena i funkcionalna svojstva koncentrata i izolata proteina sirutke, *Mljekarstvo*, 56(4):379-396, 2006.
- Huffman LM, de Barros Ferreira L: Whey - based Ingredients. U *Dairy ingredients for food processing*, 179-198 Blackwell Publishing, 2011.
- Jeličić, I., Božanić, R., Tratnik, Lj. Whey-based beverages- a new generation of dairy products. *Mljekarstvo* 58 (3) 257-274, 2008
- Johnson, BR: Whey protein concentrates in low-fat applications. *U.S. Dairy Export Council, Applications Monograph. Low-fat applications* str. 1-8, 2000.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=d08a1edf3b6e02e7e5e997b5b6738d42c54abd0e> [6.1.2023]

- Królczyk JB, Dawidziuk T, Janiszewska-Turak E, Sołowiej B: Use of Whey and Whey Preparations in the Food Industry – a Review. *Polish Journal of food and Nutrition Sciences*, 66(3):157-165, 2016.
- Lagrain B, Boeckx L, Wilderjans E, Delcour JA, Lauriks W: Non-contact ultrasound characterization of bread crumb: application of the Biot-Allard model. *Food Research International*, 39 , 1067 – 1075, 2006.
- Lamacchia C, Camarca A, Picascia S, Di Luccia A, Gianfrani C: Cereal-Based Gluten-Free Food: How to Reconcile Nutritional and Technological Properties of Wheat Proteins with Safety for Celiac Disease Patients. *Nutrients*, 6, 575-590, 2014.
- Lasić D, Vujnović F, Kuharić Ž, Prskalo I, Benić M, Vasiljev V: Analiza sadržaja soli u kruhu i pecivu nakon primjene novog nacionalnog pravilnika o žitaricama i proizvodima od žitarica. *Journal of Applied Health Sciences*, 6(1):117-127,2020
- Madhu: Difference Between Gliadin and Glutenin, 2021.
<https://www.differencebetween.com/difference-between-gliadin-and-glutenin/>
[05.09.2023].
- Marco C, Rosell, CM: Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering* 84:132-139, 2008
- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schorber TJ, Arendt EK: Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry* 82(5):609-615, 2005.
- MDSS, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi RH: Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, *Narodne novine* 46/07, 2008.
- Monteiro, JS, Farage, P , Zandonadi, RP, Botelho, RBA , Oliveira L, Raposo A, Shakeel F , Alshehri S, ,Mahdi WA, Wilma M, Araújo, MCA: A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods*, 10(3):614, 2021.
- MP, Ministarstvo poljoprivrede: Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica. *Narodne novine* 101/2022

- Pozderac, I., Mijandrušić Sinčić, B. Poremećaji povezani s glutenom. *Medicina Fluminensis*, 55 (1), 53-58, 2019 (https://doi.org/10.21860/medflum2019_216320_2019.)
- Pranjić K: Optimiranje procesa prženja tijesta različitih oblika primjenom računalne analize slike. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2005.
- Pylar EJ. Baking science and technology. Sosland Publishing Company, Kansas City, 1988.
- Rogers DE, Day DD, Olewnik MC: Development of an objective crumb grain measurements. *Cereal Foods World*, 40:498 – 501, 1995.
- Rosales-Juárez M, González-Mendoza B, López-Guel EC, Lozano-Bautista, F, Chanona-Pérez JJ, Gutiérrez-López G i sur.: Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. *Food and Bioprocess Technology*, 2(1), 152 – 160, 2008.
- Sabença C; Ribeiro M, Sousa T, Poeta P, Bagulho AS, Igrejas G: Wheat/Gluten-Related Disorders and Gluten-Free Diet Misconceptions: A Review. *Foods*, 10:1765, 2021.
- Scherf KA, Köhler P: Wheat and gluten: technological and health aspects. *Ernahrungs Umschau*, 63(08): 166–175, 2016
- Schünemann C. i Treu, G. Tehnologije proizvodnje pekarskih i slastičarskih proizvoda. TIM ZIP d.o.o., Zagreb, 2012.
- Song X. , Perez-Cueto J.A.F., Wender L.P.B.: Sensory-Driven Development of Protein-Enriched Rye Bread and Cream Cheese for the Nutritional Demands of Older Adults, 2018.
- Takano H, Naito S, Ishida N, Koizumi K, Kano H: Fermentation process and grain structure of baked breads from frozen doughs. *Journal of Food Science*, 67(2), 2725 – 2733, 2002.
- Tarabella A, Francescato M: Gluten-Free Foods, u *Food Products Evolution: Innovation Drivers and Market Trends*, 2019.
- Torbica A, Hadnađev M, Dapčević T: Rheological, textural and sensory properties of glutenfree bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6- 7), 626–632, 2010.

Tratnik LJ, Kršev, Lj: Upotreba koncentrata proteina sirutke u mliječnoj hrani za dojenčad.

Mljekarstvo, 40(7):189-195, 1990.

Ziobro R, Witczak T, Juszcak L, Korus J: Supplementation of gluten-free bread with non-

gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids* 32(2):213–220, 2013.

Zoghi A., Mirmahdi RS. 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 & Technology*, 56(7):3138-3147,2021.

Žilić S., Hadži-Tašković Šukalović, V., Milašinović, M., Ignjatović-Micić, D., Maksimović, M.,

Semenčenko, V: Effect od Micronisation on the Composition and Properties od the Flour from White, Yellow and Red Maize. *Food Technology and Biotechnology* 48(2):198-206, 2010.