

Optimiranje proizvodnje krepera bez glutena na bazi rižinog i kukuruznog brašna

Božić, Barbara

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:109:854658>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

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

REPOZITORIJ

PTF

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

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



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

Barbara Božić

**OPTIMIRANJE PROIZVODNJE KREKERA BEZ GLUTENA NA BAZI
RIŽINOG I KUKURUZNOG BRAŠNA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2023.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija**Nastavni predmet:** Tehnologija proizvodnje i prerade brašna**Tema rada** je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.**Mentor:** prof. dr. sc. Marko Jukić**Pomoć pri izradi:** Ana Šušak, dipl. ing., stručna suradnica**Optimiranje proizvodnje krekeri bez glutena na bazi rižinog i kukuruznog brašna***Barbara Božić, 0113146165*

Sažetak: U radu je istraživana utjecaj dodatka različitih omjera rižinog i kukuruznog brašna na kvalitetu krekeri bez glutena. Uzorci krekeri bez glutena od rižinog i kukuruznog brašna u omjerima 0:100, 25:50, 50:50, 75:25 i 100:0. U uzorcima krekeri pratio se sadržaj vlage i aktivitet vode, boja, promjene dimenzija uzoraka, čvrstoća, odnosno lomljivost krekeri te specifični volumen, a ocjenjivala su se i senzorska svojstva krekeri.

Na temelju rezultata istraživanja utvrđeno je da kukuruzno brašno ima pozitivan utjecaj na dimenzijske parametre i teksturu krekeri bez glutena, kao i na senzorska svojstva uključujući sve promatrane parametre: vanjski izgled i boju, teksturu te miris i okus. Može se zaključiti da se kvalitetni krekeri bez glutena mogu proizvesti sa smjesom kukuruznog i rižinog brašna u omjeru 75:25 pa čak i od 100% kukuruznog brašna.

Ovo istraživanje pruža uvid u promjene u fizikalno-kemijskim karakteristikama bezglutenskih krekeri pri variranju omjera rižinog i kukuruznog brašna, te može poslužiti kao osnova za unapređenje kvalitete ovih proizvoda, posebno za ciljane potrošače s netolerancijom na gluten.

Ključne riječi: kreker, rižino brašno, kukuruzno brašno, bezglutenski proizvodi**Rad sadrži:** 41 stranice
26 slika
1 tablica
0 priloga
22 literaturne reference**Jezik izvornika:** hrvatski**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

1.	prof. dr. sc. Ana Bucić	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: 29. rujna 2023.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food technology
Sub-Department of Cereal technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of Flour Production and Processing

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

Mentor: *Marko Jukić*, PhD, Prof.

Technical assistance: Ana Šušak, B.Sc.

The Optimization of the Production of Gluten-Free Crackers from Rice and Corn Flour

Barbara Božić, 0113146165

Summary: In this study, the influence of different proportions of corn flour and rice flour on the quality of gluten-free crackers was investigated. Gluten-free cracker samples were prepared with corn and rice flours in the ratios 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0. The study evaluated the moisture content, water activity, colour, dimensional changes of the samples, hardness or fracturability and specific volume of the crackers, as well as sensory properties.

Based on the research results, it was found that corn flour has a positive influence on the dimensional parameters and texture of gluten-free crackers, as well as on the sensory properties, including all observed parameters: external appearance and colour, texture, and aroma and taste. It can be concluded that high quality gluten-free crackers can be produced with a mixture of corn and rice flour in the ratio 75:25 or even with 100% corn flour.

This study provides information on the changes in physicochemical properties of gluten-free crackers when the ratio of rice and corn flour is varied and can serve as a basis for improving the quality of these products, especially for the target group of consumers with gluten intolerance.

Key words: crackers, rice flour, corn flour, gluten-free products

Thesis contains: 41 pages
26 figures
1 table
0 supplements
22 references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | | |
|----|---------------------------------------|--------------|
| 1. | Ana Bucić, 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 29, 2023

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

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. GLUTEN	4
2.2. PROBLEMI POVEZANI S GLUTENOM	5
2.2.1. Celijakija.....	5
2.2.2. Alergija na pšenicu	6
2.2.3. Necelijakična osjetljivost na gluten	7
2.3. BEZGLUTENSKI PROIZVODI	7
2.3.1. Funkcionalni sastojci za poboljšanje bezglutenskih pekarskih proizvoda	8
2.4. KREKERI	11
2.4.1. Tehnologija proizvodnje krekeru	12
3. EKSPERIMENTALNI DIO	14
3.1. ZADATAK	15
3.2. MATERIJALI	15
3.3. METODE	16
3.3.1. Postupak proizvodnje krekeru	16
3.3.2. Određivanje visine i dužine krekeru	19
3.3.3. Određivanje sadržaja vlage	20
3.3.4. Određivanje boje	21
3.3.5. Određivanje aktiviteta vode	22
3.3.6. Senzorska ocjena krekeru	22
3.3.7. Ispitivanje teksturalnih svojstava krekeru	23
4. REZULTATI	24
4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA	25
4.2. REZULTATI SENZORSKIH SVOJSTAVA	30
5. RASPRAVA	33
6. ZAKLJUČCI	37
7. LITERATURA	39

1. UVOD

Gluten zajednički je naziv za bjelančevine u zrnima nekih vrsta žitarica. Nalazimo ga u endospermu zrna pšenice, ječma, raži te srodnih žitarica (pir, dvozrni pir, pšenoraž, jednozrna pšenica, durum pšenica). Možemo ga pronaći u proizvodima napravljenim od pšenice te se zbog svojih svojstava često koristi u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji (Dolinšek i sur., 2021). Zbog sve veće učestalosti pojave alergija i intolerancije na gluten postoji velika potreba za razvojem proizvoda za osobe s poremećajima povezanim s glutenom (Peñalver i sur., 2023)

Celijakija je genetski uvjetovan autoimuni poremećaj karakteriziran neželjenom reakcijom na gluten. Procijenjena prevalencija ove bolesti u općoj populaciji je približno 1%. Veća učestalost celijakije primijećena je u žena, tipično dijagnosticirana tijekom djetinjstva i adolescencije ili u dobi od 40 do 60 godina, iako se može pojaviti u bilo kojoj fazi života (Wang i sur., 2023). To je bolest na koju uvelike utječu i genetski i okolišni čimbenici, uz širok raspon kliničkih manifestacija. Uglavnom uzrokuje probleme crijevne malapsorpcije koji utječu na druga područja zdravlja pacijenata zbog prehrambenih nedostataka. Prosječna stopa konzumiranja glutena je 5 - 20 g dnevno, a prisutan je u mnogim osnovnim namirnicama, poput kruha i tjestenine. Jedini način liječenja ove bolesti je pridržavanje dijete bez glutena tijekom cijelog života (Peñalver i sur., 2023). Ako u hrani nema glutena, imunološki sustav nema protiv čega reagirati i simptomi se obično povlače (Dolinšek i sur., 2021).

Zamjena glutena u različitim proizvodima na bazi brašna predstavlja veliki tehnološki izazov zbog uloge glutena u formiranju njihove strukture. Zamjene za gluten moraju biti sposobne oblikovati elastično tijesto kako bismo dobili prehrambeni proizvod ugodnog okusa i prihvatljive teksture. Uklanjanje proteina pšenice iz krekeri bez glutena uzrokuje značajne promjene u volumenu, reološkim svojstvima te lomljivosti (Nammakuna i sur., 2016).

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog i kukuruznog brašna na kvalitetu krekeri bez glutena.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. GLUTEN

Sadržaj proteina i njihova struktura najvažniji su faktori koji određuju, kako kvalitetu brašna, tako i kvalitetu gotovog proizvoda (Šarić, 2016). Gluten se odnosi na kombiniranu frakciju glijadina (prolamina) i glutenina (glutelina) pšenice. Proteini glutena nalaze se isključivo u endospermu zrna i čine oko 70-80% ukupnih proteina zrna. Prema razlikama u topljivosti, proteini glutena su podijeljeni u dvije frakcije, prolamine i gluteline. Frakcija prolamina netopljiva je u vodi i otopinama soli, ali je topljiva u alkoholu. Glutelini su polimerizirani međulančanim disulfidnim vezama i netopljivi su u vodi, otopinama soli i alkoholu (Rai i sur., 2018). Gluten u pšeničnom brašnu stvara trodimenzionalnu proteinsku mrežu nakon pravilne hidratacije i miješanja. Osim stvaranja mreže, funkcionalnost glutena u hrani uključuje vezanje vode i povećanje viskoznosti (El Khoury i sur., 2018). Gluten je sastojak koji je vrlo poznat po svojoj viskoelastičnosti karakterističnoj u raznim prehrambenim proizvodima, posebice u kruhu jer pomaže u procesu dizanja tijesta i razvoju mjehurića zraka što rezultira poroznom strukturom sredine kruha (Ronie i sur., 2021). Gotovom proizvodu daje elastičnost, viskoznost i bolju konzistenciju. Njegova je primjena česta u pekarskoj industriji jer pekarskim proizvodima daje volumen i rahlost (Dolinšek i sur., 2021). Odsustvo glutena u proizvodima na bazi pšenice značajno utječe na reologiju tijesta. Bezglutensko tijesto je manje elastično u usporedbi s tijestom koje sadrži gluten, teško je za oblikovanje, ljepljivo je i rijetko, a u postupku odležavanja i narastanja slabije se zadržava ugljikov dioksid, što rezultira manjim volumenom krajnjeg proizvoda. Nedostatak glutena otežava sam tehnološki postupak proizvodnje, dok gotov proizvod ima niz kvalitetnih nedostataka kao što su mrvljiva struktura, slab intenzitet boje i suh/pjeskovit osjećaj u ustima prilikom konzumiranja (Šarić, 2016). Važnija je uloga glutena u izradi tjestenine, gluten stvara čvrstu proteinsku mrežu koja sprječava raspadanje tjestenine tijekom kuhanja. Rizik od takvih posljedica je nizak tijekom pripreme bezglutenskih keksa i kolačića, jer je minimalno potreban razvoj glutenske proteinske mreže u tijestu (Rai i sur., 2018). Po senzorskim i tehnološkim parametrima kvalitete, bezglutenski proizvodi značajno se razlikuju od sličnih proizvoda namijenjenih zdravoj populaciji (Šarić, 2016).

2.2. PROBLEMI POVEZANI S GLUTENOM

Gluten može uzrokovati više različitih poremećaja koji se dijele na autoimune, alergijske i neautoimune – nealergijske. Imajući na umu raznolikost ovih stanja, ključno je precizno dijagnosticirati poremećaje povezane s glutenom, budući da se terapijski pristup i postupci značajno razlikuju. Autoimuno posredovani poremećaji povezani s glutenom obuhvaćaju celijakiju, herpetiformni dermatitis (kroničnu upalnu kožnu bolest koja izaziva jak svrbež) i glutensku ataksiju, što predstavlja najčešću neurološku manifestaciju celijakije. S druge strane, alergija na gluten nastaje kao posljedica imunološke reakcije preosjetljivosti, dok necelijakična preosjetljivost na gluten predstavlja poremećaj koji ne ulazi ni u alergijske ni u autoimune mehanizme (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

2.2.1. Celijakija

Celijakija se pojavljuje u genetski predisponiranih osoba te se manifestira crijevnim, ali i brojnim izvancrijevnim manifestacijama. Ona predstavlja jednu od najčešćih kroničnih bolesti koja zahvaća djecu i odrasle, utječući na otprilike 1% europske populacije. Kod oboljelih, unos glutena hranom rezultira kroničnim oštećenjem tankog crijeva, što dovodi do oslabljene funkcionalnosti crijeva te manifestacija malapsorpcije, odnosno poremećene apsorpcije hranjivih tvari. Pacijente oboljele od celijakije možemo razvrstati u dvije glavne kategorije: one sa simptomatskim oblikom bolesti te one s asimptomatskim oblikom. Simptomatska celijakija obično se očituje kroz crijevne ili izvancrijevne simptome. Pojam asimptomatska celijakija koristi se za opisivanje pacijenata kod kojih je dijagnoza postavljena na temelju promjena u crijevnoj sluznici karakterističnih za celijakiju, iako sami ne pokazuju nikakve simptome (Dolinšek i sur., 2021).

Celijakija predstavlja specifično oboljenje koje može započeti u bilo kojem životnom dobu, a u slučaju nedostatka liječenja može uzrokovati ozbiljne komplikacije (Šarić, 2016). Ova bolest može utjecati na gotovo sve organe tijela. Klasični simptomi uključuju kronični proljev, abdominalne bolove, povraćanje, nadutost, gubitak tjelesne mase, anoreksiju i ozbiljnu malapsorpciju. Izvancrijevne manifestacije celijakije proizlaze iz kompleksnog međudnosa kronične upale, deficita hranjivih tvari i odgovora stečenog imunskog sustava. Najčešće izvancrijevne manifestacije uključuju umor, zaostajanje u rastu, odgođeni pubertet, česte

spontane pobačaje, neplodnost, epilepsiju, depresiju, tjeskobu i halucinacije (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Jedina efikasna terapija za pacijente s celijakijom je trajna i apsolutna eliminacija glutena iz njihove prehrane. Doživotna bezglutenska dijeta rezultira obnovom zdravog stanja sluznice crijeva, smanjuje simptome i sprečava razvoj potencijalnih komplikacija, te zahtijeva dosljednu posvećenost. Smanjenje simptoma ne ukazuje na potpuni oporavak od bolesti, budući da bilo kakva izloženost glutenom iznova aktivira imunološki sustav (Lamacchia i sur., 2014). Nedostatak pravodobnog liječenja, što uključuje dosljednu bezglutensku prehranu, može predisponirati pacijente na pojavu drugih oboljenja, kao što su maligni tumori, osteoporoza i dijabetes, na koje osobe s celijakijom imaju povećanu genetsku predispoziciju (Šarić, 2016).

2.2.2. Alergija na pšenicu

Alergija na pšenicu predstavlja sistemska imunološku reakciju koja se javlja nakon konzumacije različitih pšeničnih proteina, uključujući albumine, globuline, glijadin i glutenin. Alergeni iz pšenice mogu ući u organizam putem kože, sluznice gastrointestinalnog ili respiratornog sustava, a probava pšenice može uzrokovati alergijske reakcije kako kod djece tako i kod odraslih osoba. Ovaj tip alergije češće se dijagnosticira kod školske djece koja pate od umjerenog do teškog oblika atopijskog dermatitisa. Konzumacija pšenice može rezultirati tipičnim simptomima, uključujući pojavu urtikarije, angioedema, bronhalne opstrukcije, mučnine te abdominalnih bolova, a u ozbiljnijim slučajevima čak i razvojem sistemske anafilaksije. Također, mogu se pojaviti i reakcije s odgođenim početkom (do 24 sata nakon izlaganja alergenu), koje manifestiraju probavne tegobe i promjene na koži. Kod odraslih osoba, alergija na pšenicu često dovodi do respiratornih alergija, a često se javlja kod osoba koje su izložene pšeničnom brašnu u radnom okruženju, što može rezultirati respiratornim problemima (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Bitno je napomenuti da se alergija na pšenicu razlikuje od celijakije, jer kod alergije na pšenicu dolazi do alergijske reakcije na bjelančevine iz pšenice. Incidencija novih slučajeva alergije na pšenicu varira između 0,4% i 9%. Liječenje alergije na pšenicu podrazumijeva eliminaciju pšenice iz prehrane (Dolničević i sur., 2021).

2.2.3. Necelijakična osjetljivost na gluten

Određeni broj pojedinaca doživljava reakcije na gluten u prehrani, iako nemaju dokazane alergijske ili autoimune reakcije. Ovo stanje je poznato kao necelijakična nealergijska osjetljivost na gluten, ili jednostavno, intolerancija/osjetljivost na gluten, i bitno se razlikuje od celijakije i alergije na pšenicu. Često se dijagnosticira u odraslih osoba nego u djece, s procijenjenom incidencijom u općoj populaciji koja varira između 0,63% i 6%. U suprotnosti s celijakijom, ovo stanje ne uzrokuje oštećenje sluznice tankog crijeva. Važno je napomenuti da ne postoje specifični testovi koji se koriste za postavljanje dijagnoze intolerancije na gluten.

Simptomi necelijakične osjetljivosti na gluten obično se manifestiraju nekoliko sati nakon konzumacije glutena i mogu uključivati bolove u trbuhu, nadutost, poremećaje u radu crijeva (proljevi ili zatvor), umor, anemiju, depresiju, anksioznost te različite druge manifestacije. Pridržavanjem bezglutenske prehrane, simptomi ovog stanja se povlače, dok se njihov povratak javlja nakon ponovnog unosa hrane koja sadrži gluten (Balakireva i Zamyatnin, 2016).

2.3. BEZGLUTENSKI PROIZVODI

Hrana koja nije prikladna za konzumaciju u okviru bezglutenske prehrane obuhvaća razne vrste kruha i prehrambenih proizvoda pripremljenih od pšeničnog brašna, kao i proizvode koji sadrže pšenicu ili njene derivacije glutena koje se koriste kao zgušnjivači (kao što su hrenovke, preljevi za salatu, umaci, i slično). Bezglutenska prehrana donosi značajna ograničenja, posebno u društvenim situacijama povezanim s prehranom. Ovaj režim prehrane često karakterizira nizak sadržaj vitalnih nutrijenata, uključujući vitamine B i D, kalcij, željezo, cink i magnezij, kao i vlakna. Jedan od glavnih izazova s kojima se suočava bezglutenska prehrana je rizik od pretilosti. Gluten ima visoku tehničku vrijednost u proizvodnji pekarskih proizvoda, te njegova zamjena kao strukturnog proteina predstavlja značajan tehnološki izazov za prehrambenu industriju. Iako su postignuti znatni napreci u procesima proizvodnje bezglutenskih proizvoda, uz primjenu škroba, hidrokoloida, guma i novih sastojaka, mnogi industrijski proizvodi bez glutena dostupni na tržištu i dalje pokazuju nisku nutritivnu vrijednost, nezadovoljavajući okus i visoke cijene. Stoga je u posljednjim

godinama zabilježen porast istraživačkog interesa za razvojem visokokvalitetnih bezglutenskih proizvoda (Lamacchia i sur., 2014).

Tijekom proteklih nekoliko godina, provedena su mnoga istraživanja s ciljem poboljšanja karakteristika bezglutenske hrane, posebice pečenih i fermentiranih proizvoda. Ova poboljšanja se postižu kroz kombinaciju različitih sastojaka i aditiva, koji se koriste kako bi simulirali svojstva glutena. Predloženi pristupi za pripremu bezglutenskih pečenih proizvoda uključuju upotrebu raznovrsnih bezglutenskih brašna, poput onih od riže, kukuruza, sirka, soje i heljde, kao i škrobova, uključujući kukuruz, krumpir, kasavu i rižu. Osim toga, uključuju se i mliječni sastojci kao što su kazeinat, obrano mlijeko u prahu i sirutka, te različite gume i hidrokoloidi kao što su guar guma, ksantan guma, alginat i karboksimetil celuloza. Emulgatori, enzimi poput transglutaminaza, proteaza, glukoza oksidaze i lakaze, te neškrobni polisaharidi kao što su inulin i galaktooligosaharidi, također igraju ključnu ulogu u ovom procesu. Kombinacijom ovih sastojaka i optimizacijom procesa pečenja pekarskih proizvoda, tehnološki izazovi su prevladani, rezultirajući bezglutenskim proizvodima koji ispunjavaju očekivanja potrošača u pogledu teksture i izgleda proizvoda (Rai i sur., 2018).

2.3.1. Funkcionalni sastojci za poboljšanje bezglutenskih pekarskih proizvoda

Funkcionalni sastojci za poboljšanje bezglutenskih pekarskih proizvoda igraju ključnu ulogu u nadomještanju nedostajućih svojstava glutena te unaprjeđuju kvalitetu i teksturu takvih proizvoda. Ovdje su neki od ključnih sastojaka i aditiva koji se koriste:

2.3.1.1 Škrob

Pšenično brašno prirodno sadrži veliku količinu škroba, koji je od vitalnog značaja za strukturu kruha. Bezglutenski izvori škroba koriste se za želiranje, zgušnjavanje, zadržavanje vlage i stabilizaciju bezglutenskih proizvoda. Različiti škrobovi iz različitih izvora poboljšavaju karakteristike pečenja i teksture proizvoda (Rai i sur., 2018.). Uklanjanjem pšeničnog brašna također se uklanja škrob iz recepture proizvoda (El Khoury i sur., 2018).

2.3.1.2 Hidrokoloide

Hidrokoloide su ključni za zamjenu funkcije glutena u bezglutenskim proizvodima. Funkcija koju gluten ima u tijestu od pšeničnog brašna, kod bezglutenskih proizvoda nadomještena je upotrebom hidrokoloida (Šarić, 2016.). Tipični hidrokoloide uključuju hidroksipropil metilcelulozu i ksantan gumu (Ronie i sur., 2021). Oni poboljšavaju viskoznost tijesta, zadržavanje plinova i povećavaju volumen pečenih proizvoda (Šmídová i Rysová, 2022; El Khoury i sur., 2018).

2.3.1.3 Proteini

Nedostatak glutena nadoknađuje se dodavanjem alternativnih proteina iz različitih izvora, uključujući biljne, životinjske i mikrobiološke izvore. Odabir brašna i proteina utječe na reološka svojstva tijesta i vezanje vode u tijestu (Šmídová i Rysová, 2022). Sojini proteini, bjelanjak i proteini mlijeka često se koriste kako bi se unaprijedili nutritivni profil, tekstura i izgled bezglutenskih proizvoda. Bjelanjak, primjerice, ima sposobnost stabiliziranja mjehurića plina tijekom izrade proizvoda, što povećava volumen (Ronie i sur., 2021). Sličnost kemijske strukture, sposobnost bubrenja i formiranja mrežastih struktura sličnih glutenskim, izdvaja proteine mlijeka i čini ih jednim od najzastupljenijih u bezglutenskim proizvodima. Različiti parametri kvalitete proizvoda mogu se poboljšati ovisno od vrste dodanih mliječnih proteina. Njihovim dodatkom smanjuje se ljepljivost, kao jedan od najvećih nedostataka bezglutenskog tijesta, postiže se povećanje volumena gotovog proizvoda i poboljšava tekstura, ukus i boja proizvoda. U proizvodima poput kruha i peciva proteini mlijeka pokazali su pozitivan utjecaj na održivost proizvoda (Šarić, 2016). Ovi alternativni proteini/izvori proteina često pokazuju bolji profil aminokiselina od glutena, koji ima manjak esencijalnih aminokiselina kao što je lizin. Kao rezultat toga, ovi proteini imaju prednost u odnosu na gluten, iz prehrambene perspektive. Proteini također dovode do poboljšanja izgleda proizvoda jer su uključeni u Maillardove reakcije posmeđivanja, koje ne samo da poboljšavaju boju proizvoda već i okus (El Khoury i sur., 2018).

2.3.1.4 Enzimi

Enzimi igraju ključnu ulogu u modificiranju svojstava bezglutenskih pekarskih proizvoda. Oni mogu poboljšati teksturu, elastičnost i senzorska svojstva proizvoda. Primjena enzima

pomaže u stvaranju poprečnih veza između polimera u tijestu, što rezultira boljom ekspanzijom i većim volumenom pečenih proizvoda (Ronie i sur., 2021).

2.3.1.5 Dijetalna vlakna

Dodatak dijetalnih vlakana, kao što su β -glukan, inulin, oligofruktoza i rezistentni škrob, ne samo da nadoknađuje nutritivne gubitke bez glutena, već i poboljšava zgušnjavanje i teksturu proizvoda (El Khoury i sur., 2018). Također pomažu u stvaranju gela i povećavaju viskoznost tijesta. Postoji mnogo alternativnih brašna s posebnim svojstvima za zamjenu ili smanjenje upotrebe pšeničnog brašna. Jedna od žitarica koja se može koristiti u ovom tipu proizvoda je kukuruz.

2.3.1.6 Alternativna brašna

Kukuruzno, rižino, sirak i druga alternativna brašna koriste se za zamjenu ili smanjenje upotrebe pšeničnog brašna. Svako od ovih brašna ima svoje karakteristične prednosti, kao što su okus, nutritivna vrijednost i lako probavljivost. Kukuruzno brašno sastoji se od endosperma koji općenito sadrži između 75% i 87% škroba i 6-8% proteina. Kukuruzno brašno se sve više koristi u prehrani zbog njegovog okusa i nutritivnih vrijednosti. Koristi se kao poželjna zamjena pšeničnog brašna te je sasvim sigurno kao sastojak u formulaciji proizvoda bez glutena kao što su kruh, kukuruzne tortilje, čips i krekeri (Rai i sur., 2018). Riža je jedna od vodećih prehrambenih kultura u jugoistočnoj Aziji. Rižino brašno posjeduje svojstva kao što su blag okus, bijela boja, lakoća probave i hipoalergena svojstva. Odsutnost glijadina i prisutnost lako probavljivih ugljikohidrata učinili su ga jednim od najprikladnijih brašna za proizvodnju bezglutenskih proizvoda. Međutim, riža također ima male količine proteina, koji nemaju viskoelastična svojstva tipična za pšenični gluten. Stoga proteini riže ne mogu zadržati plin proizveden tijekom procesa fermentacije, a to ograničava upotrebu rižinog brašna u proizvodnji pekarskih proizvoda. Iz tog razloga hidrokoloidi su bitni u svakoj recepturi kako bi se proizveli rižini kruhovi dobrog volumena i teksture (Gallagher, 2009). Žitarica koja se također smatra sigurnom za bolesnike s celijakijom je sirak jer je njegov protein sličniji kukuruzu nego pšenici, raži i ječmu. Prosječni sadržaj bjelančevina u sirku je 11-12%. Sirak ima izvrstan potencijal kao funkcionalni sastojak hrane. Proučavana su funkcionalna svojstva brašna dobivenih od proklijalog sjemena sirka, a za kontrolu korišteno je neprokljalo sjeme. Proklijali uzorci imali su veću emulgirajuću aktivnost i stabilnost u

usporedbi s neprokljalom kontrolom. Poboljšana funkcionalna svojstva sirkovog brašna kljanjem zrna ne samo da ga čine korisnim i prikladnim za različite recepture za preradu hrane, već također poboljšavaju kvalitetu prehrambenih proizvoda. Odabir sorti s dobrim pekarskim potencijalom i daljnja istraživanja dodavanja funkcionalnih sastojaka bezglutenskim formulacijama na bazi sirkova brašna mogla bi dovesti do razvoja kruha visoke kvalitete (Rai i sur., 2018).

2.3.1.7 Pseudožitarice

Pseudožitarice poput amaranta, kvinoje i heljde su bogate nutrijentima i visokokvalitetnim proteinima. Dodavanje ovih pseudožitarica u bezglutenske proizvode povećava nutritivnu vrijednost i teksturu, bez utjecaja na senzorsku kvalitetu. Proteini u pseudožitaricama obogatili su bezglutenske proizvode esencijalnim aminokiselinama i poboljšali njihovu kvalitetu. Proteini pseudožitarica odlikuju se znatno većom bioraspoloživostu u odnosu na proteine ostalih žitarica (Šarić, 2016). Zabilježeno je da je zamjena kukuruznog škroba brašnom od amaranta uvelike povećala proteine i sadržaj vlakana u kruhu bez glutena bez utjecaja na senzorsku kvalitetu. Proteini glutena nisu prisutni u zrnima pseudožitarica, ali su albumini i globulinski proteini visoke biološke vrijednosti u pseudožitaricama. Korištenje kvinoje i amaranta značajno je poboljšalo kvalitetu kruha (volumen štruce i mekoću), nutritivnu vrijednost i sadržaj dijetalnih vlakana (Rai i sur., 2018).

Svi ovi sastojci i aditivi kombiniraju se i optimiziraju kako bi se postigli željeni rezultati u bezglutenskim pekarskim proizvodima, uključujući bolju teksturu, okus i nutritivnu vrijednost (Rai i sur., 2018).

2.4. KREKERI

Kreker je proizvod dobiven pečenjem tijesta, specifične lisnate i hrskave teksture, a ima najmanje 10% masti ili ulja, računato na ukupnu masu gotovog proizvoda te sadrži najviše 5% vode (Pravilnik NN 101/2022). Krekeri su vrsta pekarskih proizvoda koji zauzimaju značajan dio tržišta grickalica, a obično se karakteriziraju kao suhi, tanki, ljuskavi i hrskavi te se mogu proizvoditi kao obični, slatki ili slani.

Jedan od ključnih izazova u proizvodnji bezglutenskih krekeri je nedostatak glutena. Gluten je odgovoran za formiranje trodimenzionalne mreže u tijestu za pšenične krekeri, koja je

ključna za stvaranje njihove karakteristične laminarne strukture. Stoga je proizvodnja bezglutenskih krekeri tehnički složenija. Istraživanja reoloških svojstava tijesta za kekere bez glutena i strukture samih krekeri su ograničena u usporedbi s istraživanjima kruha bez glutena (Ren i sur., 2021).

Osnovne sirovine za proizvodnju krekeri uključuju brašno, masti, šećer, sol, sredstvo za dizanje i vodu. Dodatne sirovine koje se koriste u proizvodnji uključuju zaslađivače, mlijeko u prahu, jaja, začine, arome, proteolitičke enzime i emulgatore. U proizvodnji bezglutenskih krekeri, najčešće se koristi rižino brašno u kombinaciji s brašnom, škrobom i bjelančevinama drugih žitarica, pseudožitarica i mahunarki kako bi se postigla optimalna svojstva tijesta i kvaliteta gotovog proizvoda (Varga, 2021).

2.4.1. Tehnologija proizvodnje krekeri

Proces proizvodnje krekeri uključuje nekoliko ključnih koraka, uključujući miješanje, oblikovanje, pečenje tijesta i hlađenje. Tijesto za kekere može biti fermentirano ili nefermentirano, a postupci variraju ovisno o odabranoj metodi (Kolak, 2020).

Fermentirano tijesto: U prvom načinu pripreme fermentiranog tijesta, svi sastojci, uključujući brašno, masti, sol, kvasac (pekarski kvasac ili suhi instant kvasac) i voda, miješaju se zajedno kako bi se stvorilo tijesto. Tijesto se potom ostavlja da fermentira između 4 i 16 sati, što mu daje poseban okus i strukturu. U drugoj metodi fermentacije, prvo se priprema kvasno tijesto koristeći kvasac, brašno, vodu i sol. Nakon fermentacije kvasnog tijesta, dodaju se preostali sastojci prema recepturi.

Nefermentirano tijesto: Nefermentirano tijesto se priprema tako da se miješaju sol, šećer, proteolitički enzimi, biljna mast, sladni ekstrakt i voda dok se ne dobije homogena smjesa. Zatim se dodaje brašno i sredstvo za narastanje tijesta.

Nakon pripreme tijesta, ono se obrađuje tako da se oblikuje tijesto u trake pomoću laminatora, uređaja za uslojavanje. Trake se preklapaju pod kutom od 90° u nekoliko slojeva (obično 4 do 5 slojeva), što rezultira slojevitom i hrskavom strukturom krekeri. Oblikovanje se vrši upotrebom valjka s formama koji utiskuje oblik krekeri i stvara rupice u tijestu, što sprečava razdvajanje slojeva. Nakon oblikovanja, tijesto se premazuje vodom ili smjesom mlijeka i jaja te se posipa sezamom, solju ili kimom za dodatni okus i teksturu (Gavrilović, 2003).

Proces pečenja tijesta traje između 3 i 6 minuta, pri čemu se temperatura u prvom dijelu peći održava između 220 i 250 °C, dok se temperatura u drugom dijelu kreće između 200 i 230 °C. Fermentacija se zaustavlja kada tijesto dosegne određenu temperaturu tijekom pečenja.

Hlađenje krekeri obično se provodi prirodno na transportnoj traci. Nakon djelomičnog hlađenja, otopljena biljna mast se raspršuje na površinu pojedinih vrsta krekeri, čime se postiže sjajna površina i poboljšava njihov okus. Kada temperatura krekeri izjednači s temperaturom okoline i postigne se ravnotežna vlaga, proizvod se pakira u ambalažu za distribuciju (Gavrilović, 2003).

Navedeni postupci opisuju tehnologiju proizvodnje krekeri, uključujući opcije za fermentirane i nefermentirane tijesto, oblikovanje, pečenje i završni proces hlađenja te pripremu za pakiranje.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog diplomskog rada bio je analizirati utjecaj različitih omjera rižinog i kukuruznog brašna na kvalitetu bezglutenskih krekeri. Ispitivanje je provedeno u laboratorijskim uvjetima koristeći dvostupanjski postupak s masnim predtjestom i probnim pečenjem. Specifično, omjeri rižinog i kukuruznog brašna bili su u rasponu od 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 do 100:0.

3.2. MATERIJALI

Sirovine korištene za proizvodnju bezglutenskih krekeri uključivali su kukuruzno brašno (Podravka), rižino brašno (Nutrigold), protein-sirutka (WPC 80, SFD Nutrition), ksantan guma (Nutrimedica), margarin (Zvijezda), šećer (Viro), kuhinjska sol, prašak za pecivo (Dr.Oetker) i voda (destilirana). Ovi materijali korišteni su za pripremu različitih formulacija krekeri (**Tablica 1**) kako bi se istražio njihov utjecaj na kvalitetu konačnog proizvoda.

Tablica 1 Receptura za proizvodnju krekeri

Sastojci (g)	OSNOVNO TIJESTO					MASNO TIJESTO				
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0
Omjer kukuruznog i rižinog brašna										
Rižino brašno	100	75	50	25	-	25	16,9	11,25	5,63	-
Kukuruzno brašno	-	25	50	75	100	-	5,60	11,25	16,87	25
Protein (sirutka)	-	10	10	10	-	-	2,5	2,5	2,5	-
Ksantan guma	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-
Margarin	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Šećer	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	-	-	-	-	-
Sol	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Prašak za pecivo	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
Voda	65	65	65	65	60	-	-	-	-	-

3.3. METODE

3.3.1. Postupak proizvodnje krekeri

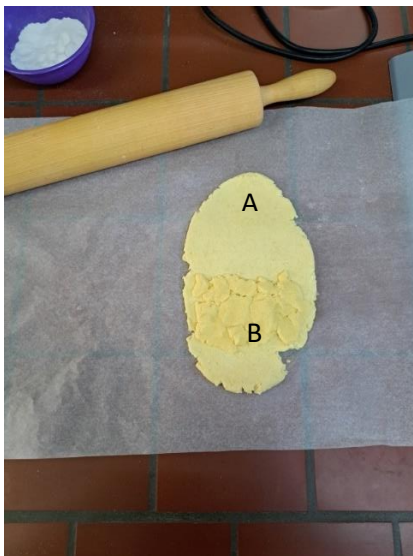
Proces proizvodnje bezglutenskih krekeri započinje odvagom sirovina na tehničkoj laboratorijskoj vagi prema zadanoj recepturi (**Tablica 1**). Nakon odvage sirovina slijedi zamjes tijesta uz pomoć električne mjesilice MMC700W (Gorenje doo, Velenje, Slovenija) (**Slika 1**). Postupak počinje dodavanjem margarina, soli i šećera u posudu, a zatim miješanje oko 30 sekundi. Nakon toga dodaje se brašno (kukuruzno, rižino ili njihova kombinacija, ovisno o recepturi) i mijesi oko jedne minute. Slijede dodatni sastojci iz recepture (protein, ksantan guma, prašak za pecivo i voda) i mijesi se oko 1 i pol minute. Tijekom procesa mijesenja, potrebno je osigurati da se tijesto ne zalijepi za stijenke posude. Nakon što se dobije kompaktno tijesto, ono se ručno oblikuje i zamata u foliju.



Slika 1 Električna mjesilica

Kao i osnovno tijesto, masno tijesto se mijesi pomoću električne mjesilice. Početno se miješa margarin i sol oko 30 sekundi kako bi se bolje inkorporirali u brašno. Nakon pola minute, dodaje se brašno pomiješano s praškom za pecivo te se mijesi oko 2 i pol minute. Ponovno, tijekom procesa mijesenja, pazi se da se tijesto ne zalijepi za stijenke posude. Prije postupka laminiranja na laminatoru LMP500 (Electrolux, Stockholm, Sweden) potrebno je dobiveno tijesto ručno premijesiti i razvući uz pomoć valjka kako bi se dobila tanja tjestena traka.

Nakon toga slijedi povezivanje osnovnog i masnog tijesta. Masno tijesto treba prekriti više od polovine tjestene trake osnovnog tijesta (**Slika 2**).



Slika 2 Prikaz povezivanja osnovnog (A) i masnog tijesta (B)

Nakon spajanja ta dva tijesta slijedi provlačenje tijesta kroz laminator (**Slika 3**) kako bi se postigla željena lisnatost krekerja. Postupak se ponavlja tri puta (na stupnju VII na laminatoru) kako bi se osigurala slojevitost krekerja. Nakon trećeg preklapanja, tijesto se postupno stanjuje podešavajući debljinu tjestene trake (stupanj V na laminatoru).

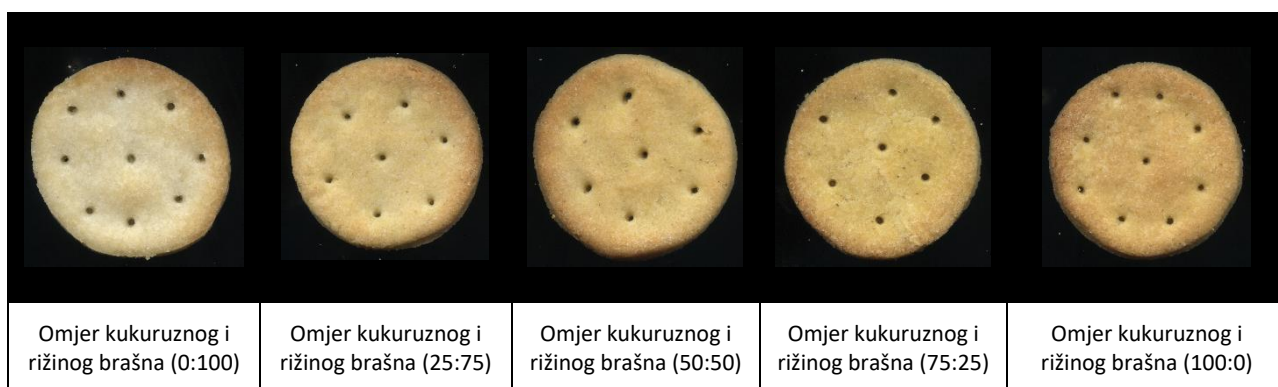


Slika 3 Postupak laminiranja

Nakon laminiranja, iz dobivene tjestene trake tijesto se izrezuje kalupima u željene oblike krekeri. Također, potrebno je napraviti rupice u tijestu kako bi se spriječilo razdvajanje slojeva tijekom pečenja. Oblikovani krekeri pekli su se u peći (Wiesheu Minimat Zibo, Wiesheu GmbH, Njemačka) 6 minuta pri temperaturi od 190 °C kako bi se postigla željena hrskavost i zlatno smeđa boja (Slika 4-5).



Slika 4 Pečenje krekeri



Slika 5 Uzorci krekeri bez glutena

Nakon pečenja, krekeri se ostavljaju ohladiti kako bi se postigla željena tekstura. Ohlađeni krekeri pakiraju se u plastične vrećice sa zip zatvaračem kako bi se osigurala svježina krekeri i spriječili vanjski utjecaji na proizvod (Slika 6).



Slika 6 Krekeri pakirani u plastične vrećice

3.3.2. Određivanje visine i dužine krekeri

Za mjerenje visine i dužine krekeri koristi se precizna metoda kako bi se osigurala pouzdana i točna ocjena njihovih karakteristika. Za svaku seriju krekeri, uzima se uzorak od 6 pečenih krekeri.

Određivanje debljine krekeri: Krekeri se pažljivo poredaju jedan na drugi, tako da su postavljeni paralelno. Zatim se korištenjem ravnala izmjeri visina krekeri. Ovaj postupak se izvodi za svaku seriju krekeri. Nakon toga, postupak mjerenja visine se ponavlja koristeći istu seriju krekeri, ali prethodno izmiješane kako bi se dobio drugačiji raspored. Ponavljanje mjerenja na ovaj način osigurava konzistentne rezultate i eliminira eventualne varijacije u rasporedu krekeri.

Određivanje dužine krekeri: Za mjerenje dužine krekeri, uzorak također sadrži 6 pečenih krekeri. Krekeri se pažljivo poredaju jedan do drugoga, tako da su postavljeni paralelno. Zatim se korištenjem ravnala izmjeri dužina uzorka krekeri. Nakon toga, postupak mjerenja dužine se ponavlja koristeći istu seriju krekeri, ali ih ovaj put uzorci se zarotiraju za 90° prije mjerenja. Ponavljanje mjerenja na ovaj način omogućuje dobivanje konzistentnih rezultata i isključuje bilo kakva eventualna odstupanja uzrokovana kutnom orijentacijom krekeri. Prosječna širina i debljina krekeri dobije se dijeljenjem sa 6. Iz ovih parametara izračunava se i faktor širenja krekeri kao omjer širine i debljine pomnožen s 10.

3.3.3. Određivanje sadržaja vlage

Vlaga je određena halogenim analizatorom vlage MOC-120H (Shimadzu, Japan). Najprije je potrebno pripremiti uređaj za mjerenje tako da se provjeri točnost postavki i izvrši tariranje vage kako bi se osigurala preciznost mjerenja. Zatim slijedi priprema uzorka. Krekeri koji se analiziraju moraju biti pažljivo usitnjeni kako bi se osigurala ravnomjerna distribucija vlage tijekom mjerenja. Usitnjeni uzorak, u količini od 2 do 3 grama, ravnomjerno se raspoređuje na posudu od aluminijske folije. Nakon što je uzorak pripremljen, uređaj se aktivira, a poklopac se spusti. Pritiskom na tipku za pokretanje analize, uređaj započinje postupno zagrijavanje i sušenje uzorka. Tijekom tog procesa, uređaj neprekidno mjeri masu uzorka putem ugrađene precizne vage. Voda iz uzorka isparava tijekom sušenja. Kada mjerenje završi, uređaj emitira zvučni signal kako bi obavijestio korisnika da je postupak dovršen. Rezultat mjerenja temelji se na razlici u masi uzorka prije i nakon sušenja, pružajući precizne informacije o udjelu vlage u krekerima.

Ovaj postupak provodi se najmanje dvaput za svaki uzorak kako bi se osigurala pouzdanost rezultata. Mjerenje sadržaja vlage ključno je za procjenu kvalitete krekeri te za praćenje stabilnosti tijekom skladištenja. **Slika 7** prikazuje vizualni prikaz ovog postupka korištenjem halogenog analizatora vlage.



Slika 7 Određivanje sadržaja vlage halogenim analizatorom vlage

3.3.4. Određivanje boje

Boja uzoraka krepera određena je uz pomoć kolorimetra CR-400 (Konica Minolta, Japan) (Slika 8). Prije svakog mjerenja uređaj se kalibrira koristeći standardnu bijelu keramičku pločicu, osiguravajući točnost i preciznost rezultata.

Postupak mjerenja boje kolorimetrom temelji se na analizi reflektirane svjetlosti s površine osvjetljenog uzorka. Uzorak, za koji se želi odrediti boja, postavlja se na otvor mjerne glave uređaja kroz koju prolazi svjetlost pulsirajuće ksenonske lampe koja emitira difuzno svjetlo okomito na površinu uzorka. Svjetlost koja se reflektira s površine uzorka bilježi se pomoću šest visoko osjetljivih silikonskih fotoćelija.

Rezultat mjerenja reflektirane količine svjetlosti uređaj prikazuje u CIE $L^*a^*b^*$ sustavu boja. CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja je baziran na percepciji boje standardnog promatrača, a označava trodimenzionalni prostor boja. Prednost ovog sustava je i uvođenje svjetline kao treće dimenzije (L^*). Sustav CIE $L^*a^*b^*$ je opisan s tri osi od kojih su: dvije kromatske, a^* komponenta predstavlja odnos između crvene i zelene boje (negativne vrijednosti označavaju zelenu, a pozitivne crvenu), a b^* komponenta odnos između žute i plave boje (plava je za negativne, žuta je za pozitivne vrijednosti). L^* komponenta predstavlja svjetlinu (akromatska je komponenta) i mjeri se po vertikalnoj osi u granicama od 0 do 100 (crnu boju predstavlja vrijednost 0, a bijelu boju vrijednost 100). Prema izmjerenim vrijednostima boje krepera (L^* , a^* i b^*) izračunava se ukupna promjena boje, ΔE (Lukinac Čačić, 2012.).



Slika 8 Kolorimetar Konica Minolta CR-400

Svako mjerenje provedeno je na dvije šarže proizvedenih krepera kako bi se osigurala točnost i preciznost rezultata (Slika 8).

3.3.5. Određivanje aktiviteta vode

Prije nego što se izvrši mjerenje aktiviteta vode, uzorci se usitne kako bi se osigurala homogenost. Usitnjeni uzorak se postavi u plastičnu posudicu, a zatim se ta posuda smjesti u posebno ležište uređaja za određivanje aktiviteta vode Hygropalm AW1 (New York, SAD) (Slika 9). Nakon što je uzorak postavljen, pokreće se postupak mjerenja.

Mjerenje aktiviteta vode provodi se u dva odvojena ponavljanja, pri čemu je svako mjerenje konfigurirano za trajanje od 10 minuta. Ovaj postupak omogućuje precizno određivanje aktiviteta vode u uzorcima krepera. Aktivnost vode je ključna karakteristika za procjenu stabilnosti i kvalitete proizvoda, posebno u kontekstu očuvanja svježine i sprječavanja mikrobiološkog razvoja tijekom skladištenja.



Slika 9 Uređaj za mjerenje aktiviteta vode

3.3.6. Senzorska ocjena krepera

Senzorsku ocjenu je provelo 8 ocjenjivača, a ocjenjivani su uzorci krepera s različitim udjelima kukuruznog brašna, uključujući uzorak bez kukuruznog brašna (100% rižino brašno) te uzorke s udjelima kukuruznog brašna od 25%, 50%, 75% i 100%. Senzorska ocjena obuhvaćala je procjenu vanjskog izgleda (oblika), boje, teksture, mirisa i okusa. Svaki ocjenjivač koristio je ljestvicu ocjenjivanja koja se kretala od 1 do 9, gdje je ocjena 1

označavala da je uzorak izrazito nepoželjan, dok je ocjena 9 ukazivala na to da je uzorak izrazito visoko poželjan.

Ova senzorska evaluacija omogućila je procjenu kvalitete krekeru od strane ocjenjivača te je pružila vrijedne informacije o percepciji krekeru s različitim sastavima i karakteristikama.

3.3.7. Ispitivanje teksturalnih svojstava krekeru

Za analizu teksturalnih svojstava krekeru korišten je uređaj TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK), a dobiveni podaci analizirani su pomoću Texture Exponent 32 softvera (verzija 3.0.5.0). Računalni program Texture Exponent 32 putem krivulje prikazuje kompresiju uzorka u određenom vremenu. Teksturalni profil krekeru procijenjen je putem dobivenih vrijednosti za silu lomljenja.

Uzorci krekeru fiksirani su na bazu i podvrgnuti lomljenju pomoću noža koji služi za savijanje/lomljenje uzoraka (**Slika 10**) prema sljedećim parametrima:

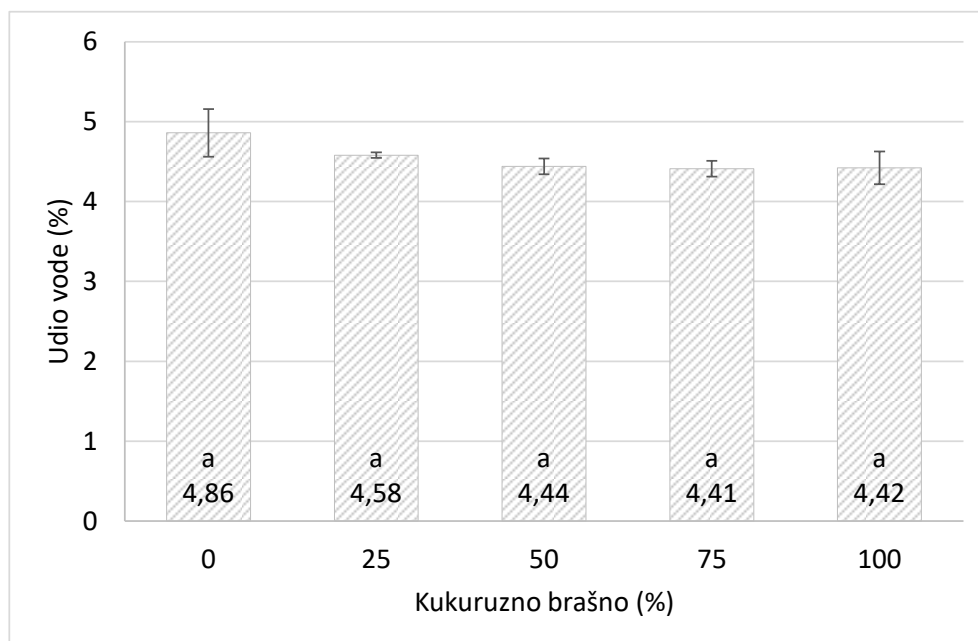
- Brzina prije mjerenja: 1 mm/s
- Brzina mjerenja: 1 mm/s (specificirana brzina mjerenja)
- Brzina poslije mjerenja: 10 mm/s
- Dubina prodiranja sonde: do trenutka pucanja uzorka



Slika 10 Analizator teksture TA.XT Plus s opremom za lomljenje uzoraka

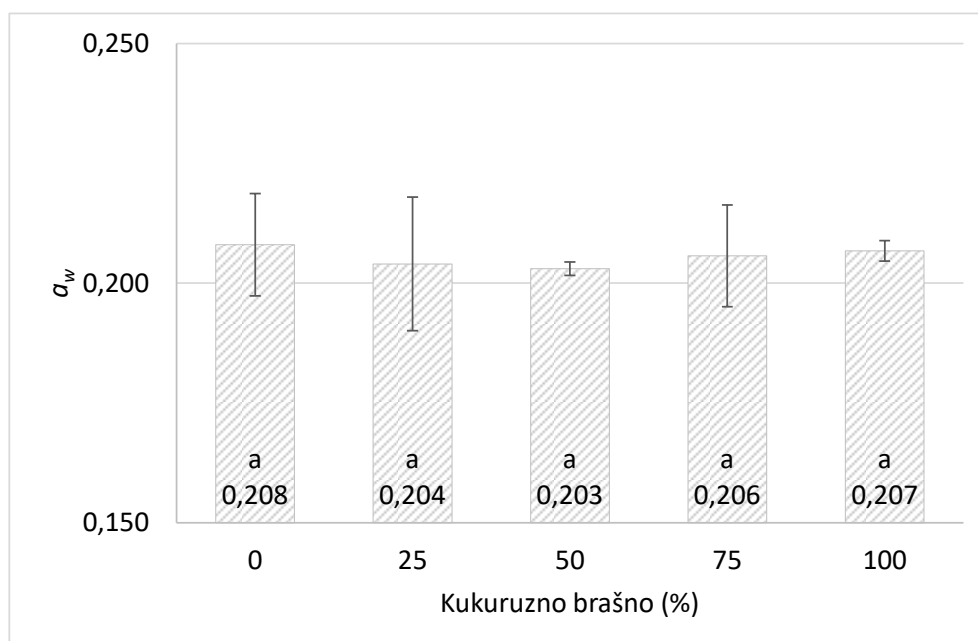
4. REZULTATI

4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNO-KEMIJSKIH SVOJSTAVA



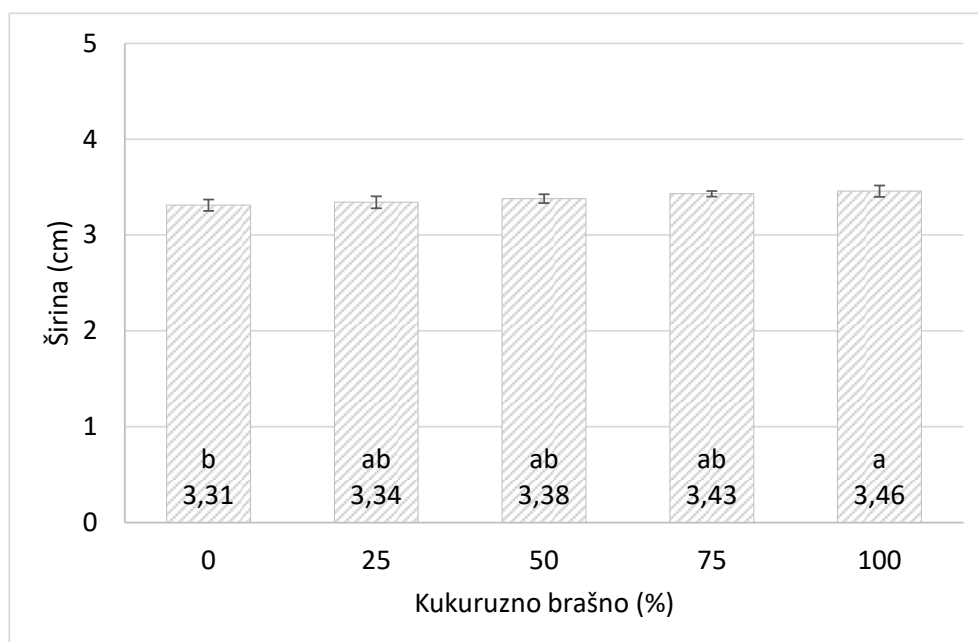
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 11 Analiza udjela vode u krekerima s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



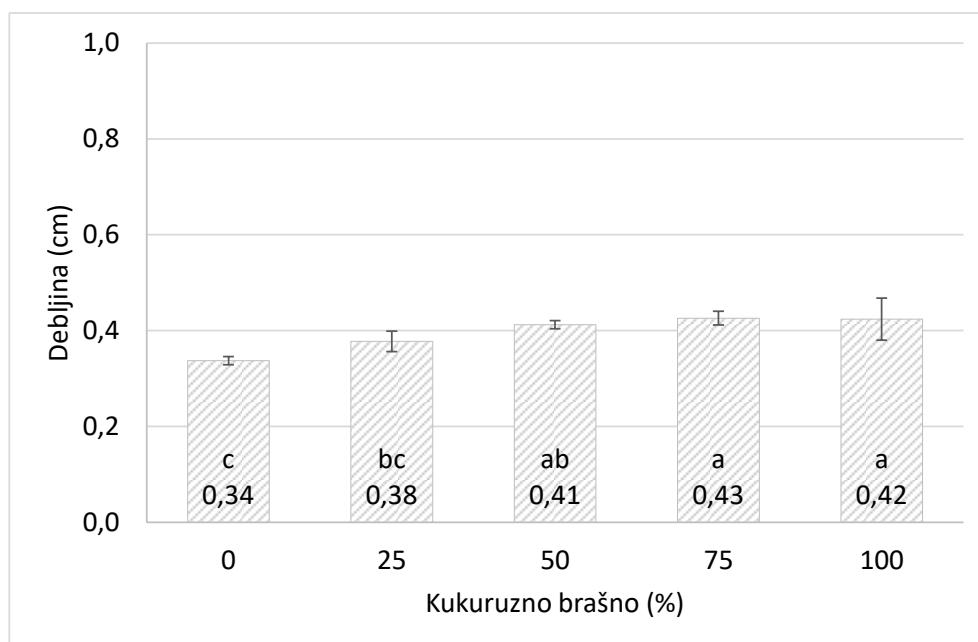
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 12 Analiza aktiviteta vode u krekerima s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



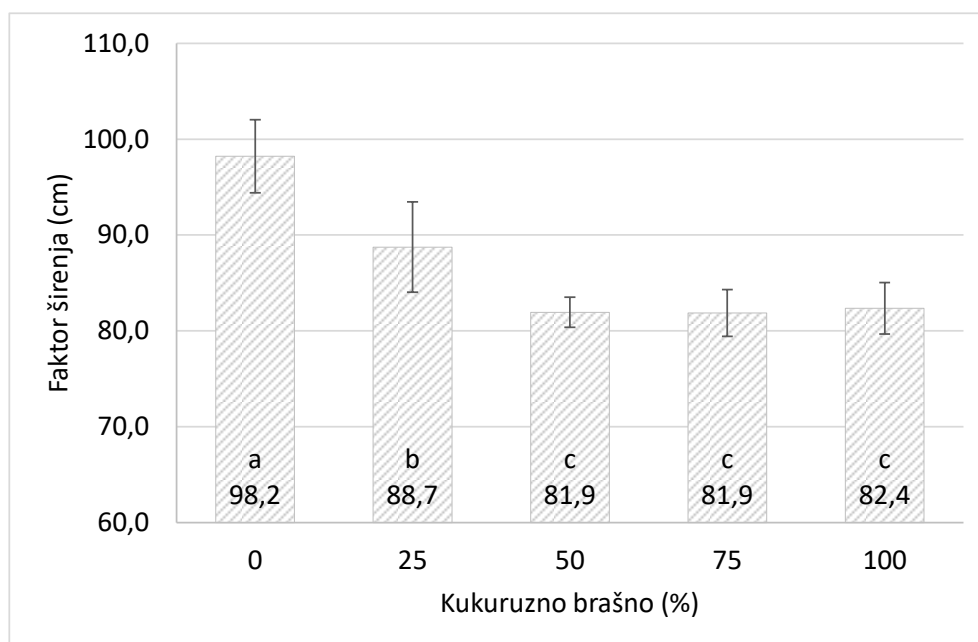
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 13 Analiza promjene širine krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



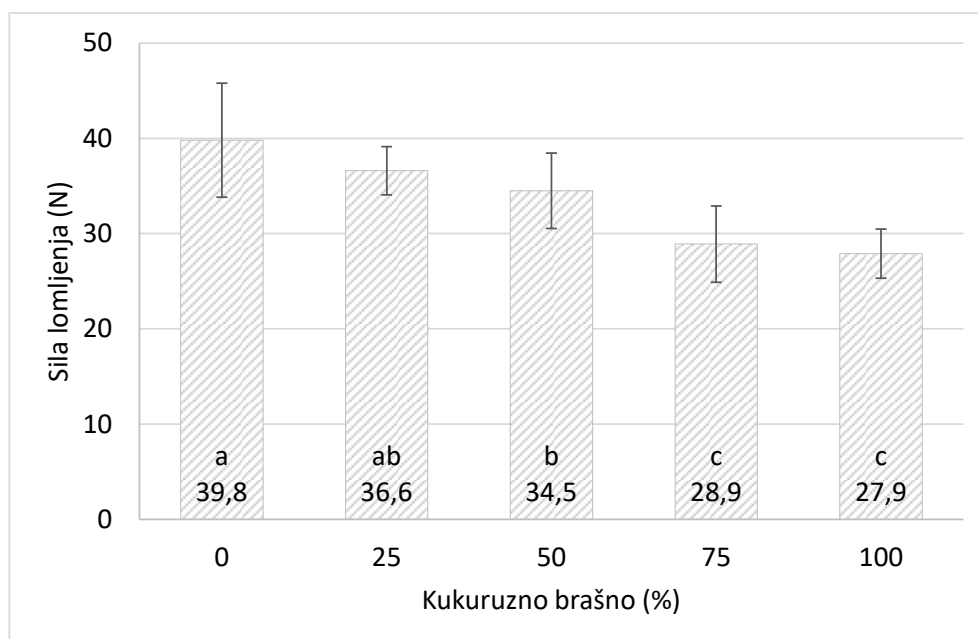
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 14 Analiza promjene debljine krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



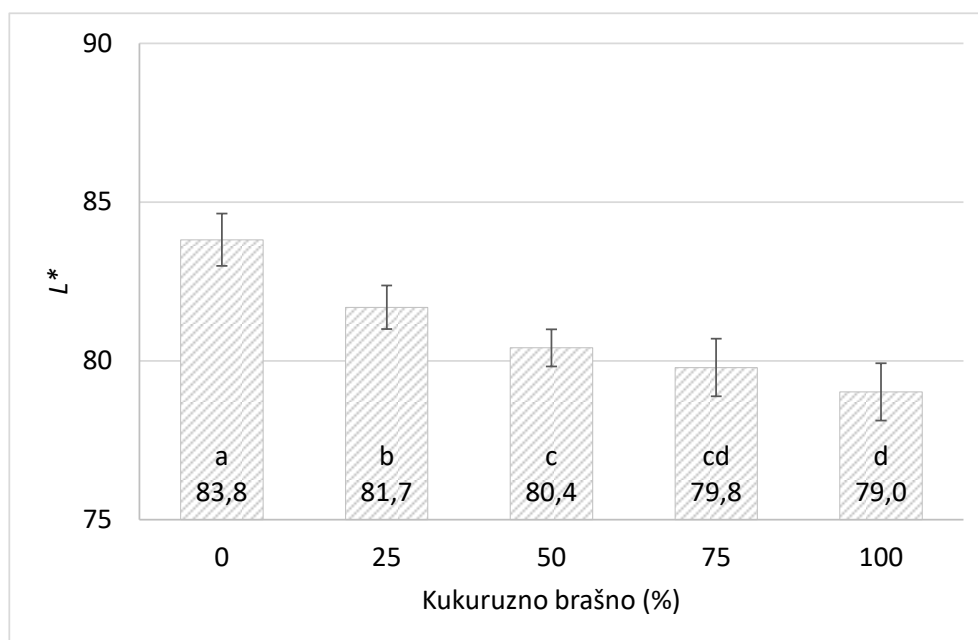
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 15 Analiza promjene faktora širenja krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



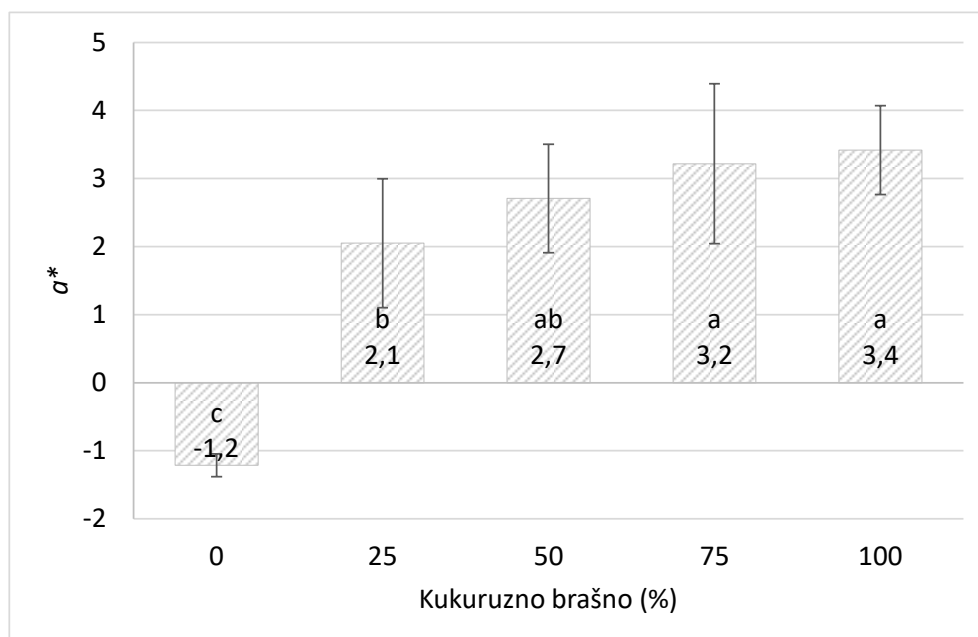
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 16 Analiza teksturalnih svojstava krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



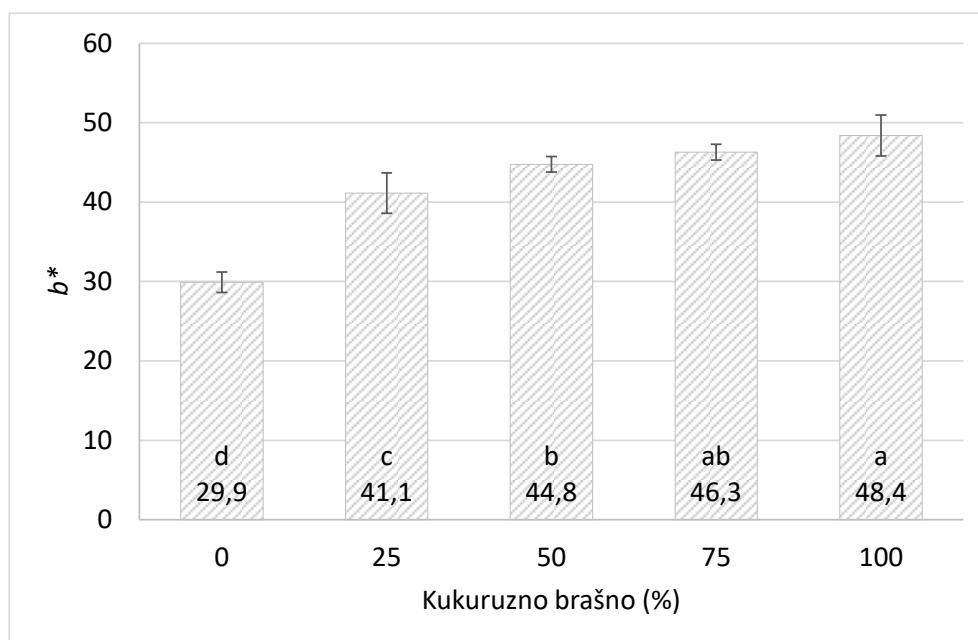
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 17 Analiza promjene svjetline kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



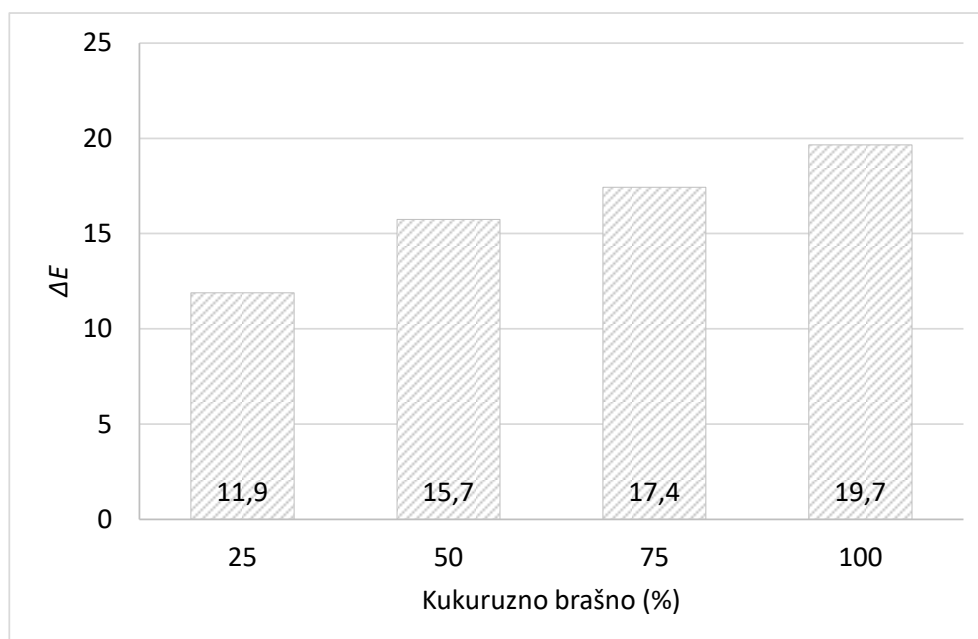
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 18 Analiza promjene kromatske komponente zeleno-crvene boje kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



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

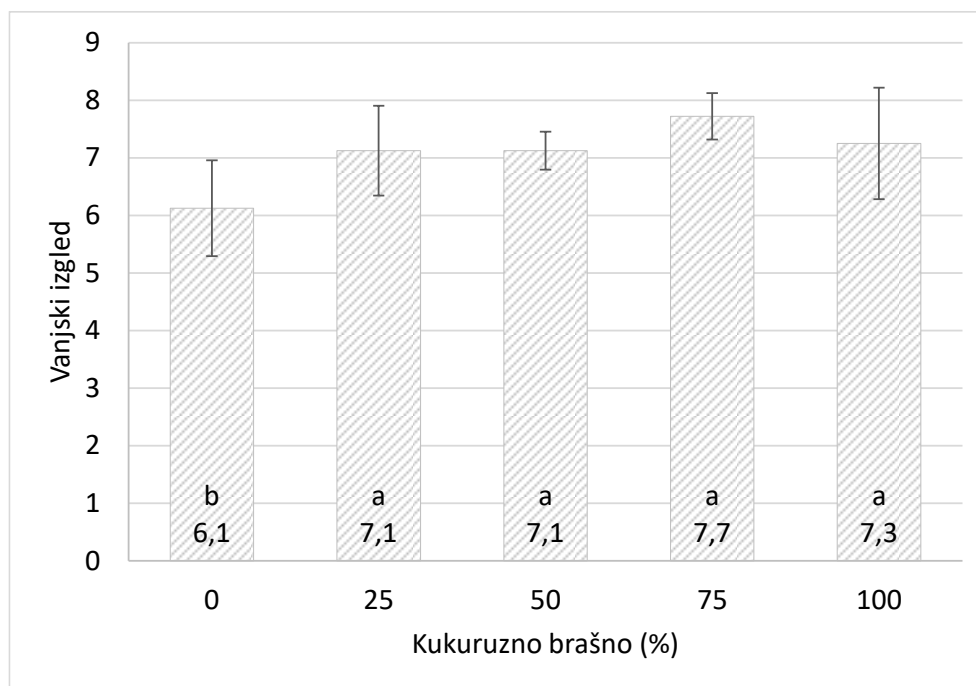
Slika 19 Analiza promjene kromatske komponente plavo-žute boje kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



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

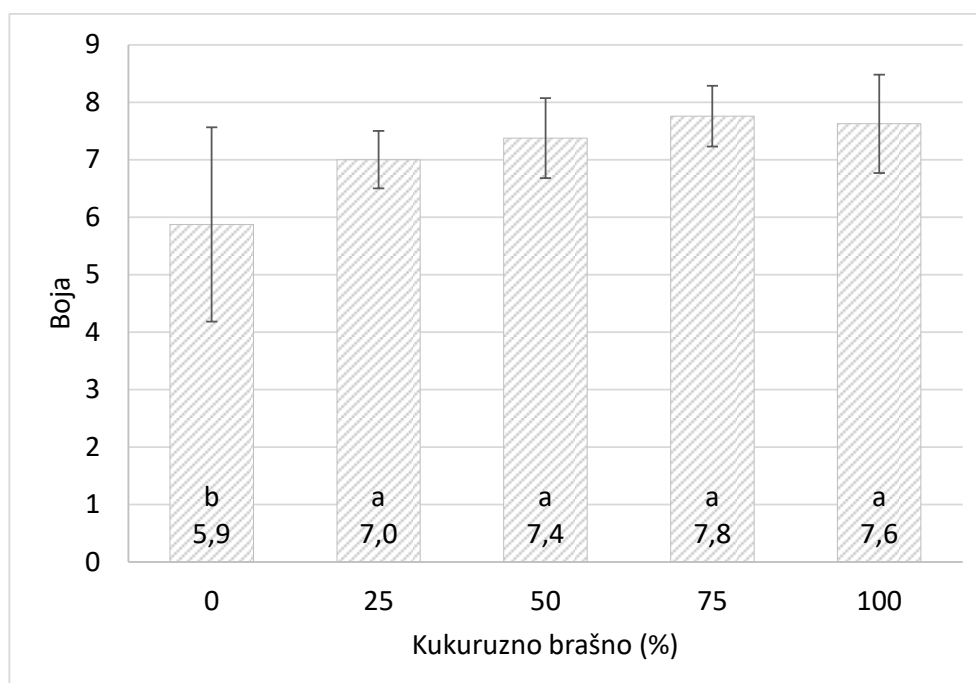
Slika 20 Analiza ukupne promjene boje kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)

4.2. REZULTATI SENZORSKIH SVOJSTAVA



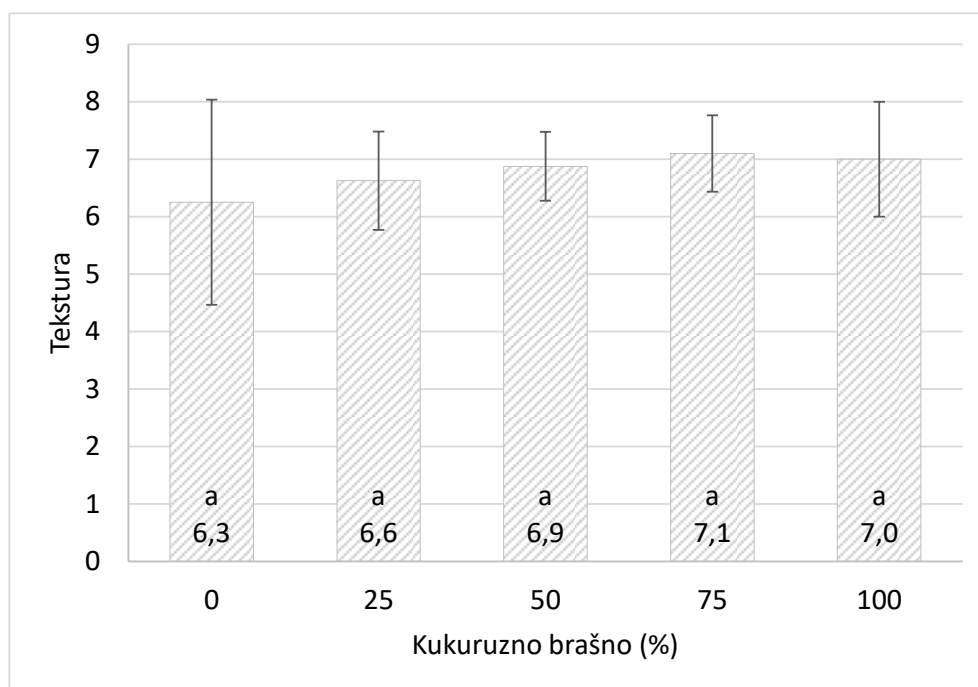
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 21 Rezultati senzorske ocjene vanjskog izgleda kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



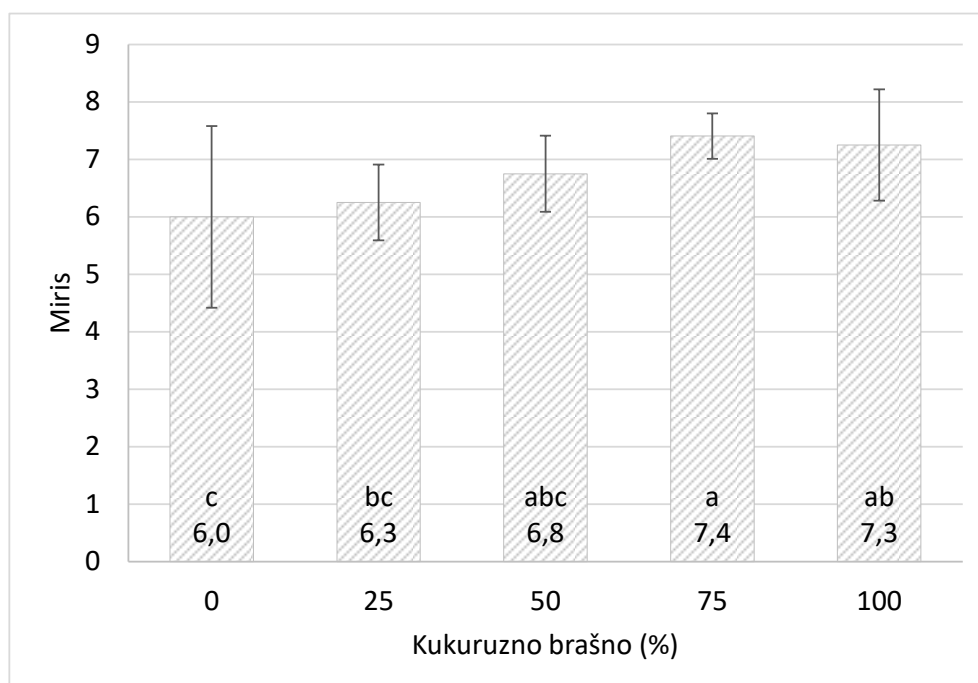
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 22 Rezultati senzorske ocjene boje kreker s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



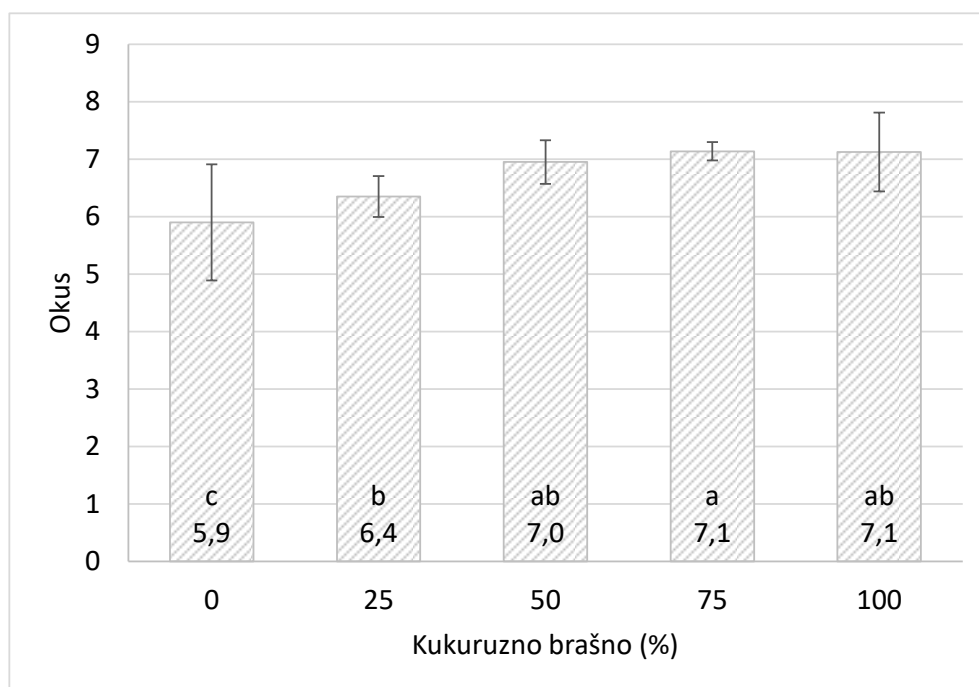
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 23 Rezultati senzorske ocjene teksture krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



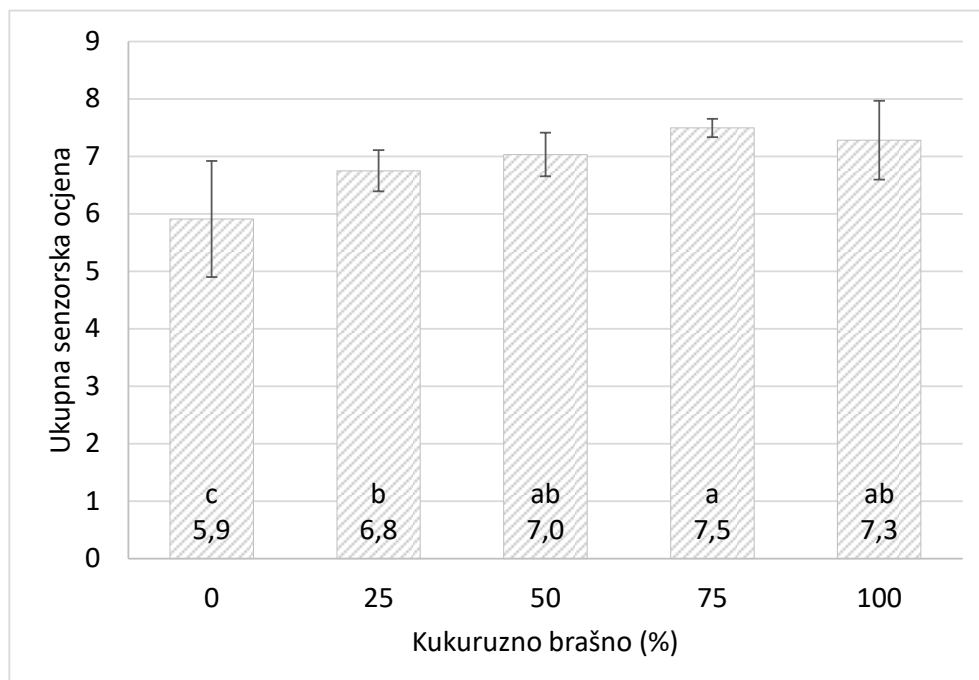
(prikazani podaci su srednja vrijednost \pm standardna devijacija; vrijednosti označene istim slovima nisu statistički značajno različite ($p < 0,05$) prema Fisherovom testu najmanje značajne razlike)

Slika 24 Rezultati senzorske ocjene mirisa krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



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

Slika 25 Senzorska ocjena okusa krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)



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

Slika 26 Rezultati ukupne senzorske ocjene krekeri s različitim dodatkom kukuruznog brašna (0, 25, 50, 75 i 100%)

5. RASPRAVA

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj omjera kukuruznog i rižinog brašna na kvalitetu bezglutenskih krepera. Kukuruzno i rižino brašno su među najčešće korištenim brašnima u recepturama za proizvodnju bezglutenskih proizvoda, bilo da se radi o proizvodnji bezglutenskog kruha, tjestenine i različitih vrsta finih pekarskih proizvoda pa tako i krepera bez glutena (Stantiall i sur., 2017).

Rezultati određivanja udjela i aktiviteta vode prikazani su na Slikama 11 i 12. Udio vode u svim uzorcima je prilično sličan i kretao se između 4,41% i 4,86%. Može se primijetiti malo smanjenje udjela vode s povećanjem dodatka kukuruznog brašna, ali ono nije bilo statistički značajno ($p < 0,05$). Aktivitet vode u uzorcima kretao se između 0,203 i 0,207 te nije bilo statistički značajne razlike između uzoraka u pogledu aktiviteta vode. Niske vrijednosti udjela i aktiviteta vode ukazuju na mogućnost dugotrajnog skladištenja krepera s kukuruznim i rižinim brašnom bez opasnosti od mikrobiološkog kvarenja.

Širina, debljina i faktor širenja krepera (Slike 13, 14 i 15) varirali su s promjenom omjera kukuruznog i rižinog brašna. Primjetno je da su uzorci s više kukuruznog brašna imali nešto veću širinu i debljinu, a samim tim i veći volumen od uzoraka s većom količinom rižinog brašna. Budući da je debljina krepera bez glutena rasla brže od širine s povećanim dodatkom kukuruznog brašna tako je i faktor širenja bio najmanji kod uzoraka s 50, 75 i 100% kukuruznog brašna. Najveću širinu (3,46 cm) i najveću debljinu (0,42 cm) imao je uzorak sa 100% kukuruznog brašna. Isti uzorak imao je i najmanju čvrstoću, odnosno silu koju je bilo potrebno primijeniti za lomljenje uzorka (27,9 N) (Slika 16). Najmanju širinu (3,31 cm) i debljinu (0,34 cm) imao je uzorak sa 100% rižinog brašna. Budući da su kreperi laminirani proizvodi, iz gore navedenog se može zaključiti da se povećanjem dodatka kukuruznog brašna postiže bolja slojevitost bezglutenskih krepera jer oni tijekom pečenja narastu nešto više od krepera s rižinim brašnom, a to direktno utječe i na smanjenje njihove čvrstoće. Ovi rezultati se mogu objasniti na nekoliko načina. Prvo, kukuruzno brašno ima veći sadržaj masti od rižinog brašna (Wani i Kumar, 2015) koje ga čine bogatijim i doprinose okusu i teksturi proizvoda pripremljenih s njim. Masti u kukuruznom brašnu mogu omekšati tijesto, čineći ga mekšim i podatnijim. To može olakšati proces izrade tijesta, što može pozitivno utjecati na konzistenciju krepera. To također doprinosi slojevitoj strukturi krepera, njegovoj većoj hrskavosti i manjoj čvrstoći u odnosu na kreper s rižinim brašnom. Nadalje, kukuruzno i rižino brašno imaju različita svojstva interakcije s vodom. Kukuruzno brašno može upijati

manje vode ili se manje lijepiti u usporedbi s rižinim brašnom (Wani i Kumar, 2015). Ovo može utjecati na sposobnost tijesta da zadrži vlagu i ojača strukturu tijekom pečenja, što može rezultirati manjom čvrstoćom krekeri. Također, škrob iz kukuruznog brašna i škrob iz rižinog brašna imaju različita svojstva želatinizacije. Kukuruzni škrob obično ima niže temperature želatinizacije i veću viskoznost škrobnog gela od rižinog škroba (Mauro, 2023). To može utjecati na proces pečenja i strukturu krekeri, što rezultira boljom teksturom.

S obzirom na gotovo bijelu boju rižinog brašna i žućkastu boju kukuruznog uočene su statički značajne razlike u promatranim parametrima boje u *CIELab* sustavu boja. Svjetlina uzorka (L^*) je bila najizraženija u uzorku sa 100% rižinog brašna (83,8) dok se povećanjem dodatka kukuruznog brašna ona smanjivala. Tako je najtamniji bio uzorak s 100% kukuruznog brašna (79) (Slika 17). Povećanjem udjela kukuruznog brašna a^* kromatska komponenta boje se pomicala više u pozitivnom smjeru, odnosno prema crvenijim nijansama, od -1,2 za uzorak bez kukuruznog brašna do 3,4 za uzorak bez rižinog brašna (Slika 18). Također, porastom dodatka kukuruznog brašna rasle su i vrijednosti kromatske komponente b^* što znači da su uzorci krekeri postajali sve žući (Slika 19). Uočen je statistički značajan porast b^* vrijednosti ($p < 0,05$), od početnih 29,9 za uzorke sa 100% rižinog brašna do 48,4 kod krekeri sa 100% kukuruznog brašna. Na slici 20 prikazana je ukupna promjena boje krekeri bez glutena u odnosu na uzorak sa 100% rižinog brašna, i logično, najveća promjena boje bila je kod krekeri sa 100% kukuruznog brašna ($\Delta E = 19,7$).

Rezultati senzorskog ocjenjivanja prikazani su na Slikama 21-26 daju uvid u utjecaj različitih omjera kukuruznog i rižinog brašna na percepciju različitih svojstava krekeri od strane panela ocjenjivača. Ocjene za vanjski izgled krekeri su uglavnom relativno visoke za sve uzorke, s ocjenama iznad 6. To ukazuje na to da su svi uzorci imali atraktivan izgled, što je važan faktor u privlačenju potrošača. Uzorci s više kukuruznog brašna (omjeri 75:25 i 100:0) dobili su nešto više ocjene za vanjski izgled (7,7 i 7,3), što sugerira da veći udio kukuruznog brašna može poboljšati izgled krekeri bez glutena (Slika 21). Ocjene za boju također rastu s povećanjem udjela kukuruznog brašna u recepturi za izradu krekeri bez glutena. Uzorci s više kukuruznog brašna dobili su više ocjene za boju jer kukuruzno brašno ima prirodnu žutu boju koja može pridonijeti intenzivnijoj boji krekeri. Ovo sugerira da je kukuruzno brašno doprinijelo intenzivnijoj boji krekeri, što može biti atraktivno za potrošače (Slika 22). Iako nije bilo statistički značajne razlike ($p < 0,05$) u ocjenama za teksturu krekeri bez glutena

može se primijetiti da porastom udjela kukuruznog brašna one rastu (od 6,3 za uzorak od 100% rižinog brašna do 7,1 za uzorak sa 75% kukuruznog brašna) (Slika 23). Ovi rezultati su u korelaciji s ispitivanjem teksturalnih svojstava krekeri gdje je vidljivo da se dodatkom kukuruznog brašna smanjuje čvrstoća krekeri, a to je primijetio i senzorski panel koji je ustvrdio da su uzorci bez dodatka kukuruznog brašna ipak bili malo pretvrđi i smanjene hrskavosti što su svojstva, a to su svojstva koja su vrlo važna za ovu vrstu proizvoda.

Rezultati prikazani na Slikama 24 i 25 pokazuju da su ocjene za miris i okus relativno visoke u svim uzorcima što sugerira da su svi uzorci imali ugodan miris i okus. Ipak, može se primijetiti da uzorci s većim udjelom kukuruznog brašna imaju poželjniji miris i okus od uzoraka sa 100% rižinog brašna. Komentari senzorskog panela išli su u smjeru pomalo bezličnog mirisa i okusa uzoraka od rižinog brašna u odnosu na one s dodatkom kukuruznog. Najveću ocjenu za miris imao je uzorak s omjerom kukuruznog i rižinog brašna 75:25 (7,4), a najveću ocjenu za okus dobili su uzorci sa 75 i 100% kukuruznog brašna (7,1).

Kada se sumiraju rezultati senzorske ocjene uzoraka krekeri bez glutena najveću ukupnu senzorsku ocjenu imao je uzorak s omjerom kukuruznog i rižinog brašna 75:25 (7,5), sugerirajući da su bili najbolje prihvaćeni u cjelini dok je najmanju ukupnu ocjenu dobio uzorak sa 100% rižinog brašna (5,9).

6. ZAKLJUČCI

U ovom istraživanju, postavljeni zadatak bio je ispitati utjecaj omjera kukuruznog i rižinog brašna na kvalitetu bezglutenskih krekeri. Kukuruzno i rižino brašno su među najčešće korištenim brašnima u recepturama za proizvodnju bezglutenskih proizvoda, bilo da se radi o proizvodnji bezglutenskog kruha, tjestenine i različitih vrsta finih pekarskih proizvoda pa tako i krekeri bez glutena.

Zaključci iz ovog istraživanja o utjecaju omjera kukuruznog i rižinog brašna na kvalitetu bezglutenskih krekeri su sljedeći:

- Kukuruzno brašno ima pozitivan utjecaj na dimenzijske parametre i teksturu krekeri bez glutena.
- Kukuruzno brašno doprinosi intenzivnijoj boji krekeri, što može privući potrošače.
- Uzorci krekeri s većim udjelom kukuruznog brašna imali su bolji miris i okus prema ocjeni senzorskog panela.
- Ukupno gledajući, uzorak s omjerom kukuruznog i rižinog brašna 75:25 dobio je najvišu ukupnu senzorsku ocjenu i bio je najbolje prihvaćen od strane ocjenjivača. Može se zaključiti da se kvalitetni krekeri bez glutena mogu proizvesti sa smjesom kukuruznog i rižinog brašna u omjeru 75:25 pa čak i od 100% kukuruznog brašna.

Ovi zaključci sugeriraju da omjer kukuruznog i rižinog brašna može značajno utjecati na kvalitetu bezglutenskih krekeri, uključujući njihov izgled, teksturu, boju, miris i okus. Pravilan odabir omjera može poboljšati ukupnu kvalitetu proizvoda i njegovu prihvatljivost među potrošačima.

7. LITERATURA

- Balakireva AV, Zamyatnin Jr A: Properties of Gluten Intolerance: Gluten Structure, Evolution, Pathogenicity and Detoxification Capabilities. *Nutrients*, 8, 644, 2016.
- Dolinšek J, Dolinšek J, Rižnik P, Krenčnik T, Klemenak M, Kocuvan Mijatov MA, Ornik S, Jurše M, Vidmar J, Korponay-Szabo I, Palčevski G, Milinović M, Dovnik I, Gyimesi Gallisz J, Szitanyi P, Floriankova M, Krajnc K, Stanescu Popp A, Man O, Čarnohorski I, Vidović M, Jurjević Delišimunović A, Bituh M, Mišak Z, Piskernik M, Luisa Mearin M, Wessels M, Dragutinović N, Pavkov V, Hauer AC, Marković M: Vodič za život s celijakijom. CeliVita-Život s celijakijom, Zagreb, 2021.
- El Khoury D, Balfour-Ducharme S, J. Joye I: A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients*, 10, 1410, 2018.
- Gallagher E: *Gluten-Free Food Science and Technology*. Blackwell Publishing Ltd, 19:2, 2009.
- Gavrilović M: *Tehnologija konditorskih proizvoda*. Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2003.
- Kolak N: Određivanje vanjskih svojstava krekerica s dodacima tropa grožđa i rajčice nedestruktivnim metodama. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.
- 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.
- Lukinac Čačić J: Matematičko modeliranje i optimiranje kinetike promjene boje kruha tijekom pečenja. Doktorska disertacija. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2012.
- Mauro RR, Vela AJ, Ronda F. Impact of Starch Concentration on the Pasting and Rheological Properties of Gluten-Free Gels. Effects of Amylose Content and Thermal and Hydration Properties. *Foods*, (12):2281, 2023
- Ministarstvo poljoprivrede: Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica. Narodne novine NN 101/2022.
- Nammakuna N, Barringer SA, Ratanatriwong P: The effects of protein isolates and hydrocolloids complexes on dough rheology, physicochemical properties and qualities of gluten-free crackers. *Food science and nutrition*, 4(2): 143–155, 2016.
- Peñalver R, Ros G, Nieto G: Development of Gluten – Free Functional Bread Adapted to the Nutritional Requirements of Celiac Patients. *Fermentation*, 9 (7), 631, 2023.
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: Poremećaji povezani s glutenom. *Medicina fluminensis*, 55(1):53-58, 2019.
- Rai S, Kaur A, Chopra CS: Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. *Frontiers in Nutrition*, 5:116, 2018.

- Ren Y, Linter BR, Foster TJ: Effects of psyllium seed husk powder, methylcellulose, pregelatinised starch, and cold water swelling starch on the production of gluten free crackers. *Food and Function*, 12, 7773–7786, 2021.
- Ronie ME, Zainol MK, Mamat H: A review on the recent applications of gluten-free flour, functional ingredients and novel technologies approach in the development of gluten-free bakery products. *Food Research*, 5(5): 43 – 54, 2021.
- Stantiall SE, Serventi L: Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 69:427-436, 2018.
- Šarić B: Iskorišćenje tropa borovnice i maline u formulaciji bezglutenskog keksa sa dodatkom vrednošću. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu tehnološki fakultet, Novi Sad, 2016.
- Šmídová Z, Rysová J: Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods*, 11 (3), 2022.
- Varga K: Razvoj receptura snack proizvoda za oboljele od sindroma iritabilnog crijeva i necelijakijske osjetljivosti na gluten. Diplomski rad. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2021.
- Wang Y, Chen B, Ciaccio EJ, Jneid H, Virani SS, Lavie CJ, Lebovits J, Green PHR, Krittanawong C: Celiac Disease and the Risk of Cardiovascular Diseases, *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (12), 9974, 2023.
- Wani S, Kumar P: Correlation between Rice and Maize Flour based on Physicochemical, Functional and Pasting Characteristics. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 2: 68-72, 2015.