

Optimiranje proizvodnje čajnog peciva bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba

Begić, Matea

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:109:654608>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

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**

Matea Begić

**Optimiranje proizvodnje čajnog peciva bez glutena na bazi
rižinog brašna i kukuruznog škroba**

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 IX. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća

Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2021./2022.
održanoj 29. lipnja 2022.

Mentor: prof. dr. sc. *Marko Jukić*

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

OPTIMIRANJE PROIZVODNJE ČAJNOG PECIVA BEZ GLUTENA NA BAZI RIŽINOG BRAŠNA I KUKURUZNOG ŠKROBA

Matea Begić, 0113139377

Sažetak: Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba (60:40, 80:20, 100:0), kao i dodatka ksantan gume (0, 2 i 4%) na kvalitetu čajnog peciva bez glutena. Prema planu pokusa provedena su laboratorijskih pečenja nakon čega su određena su kvalitativna svojstva čajnog peciva bez glutena. Ispitivanje kvalitete dobivenih uzoraka uključivalo je analizu teksture, određivanje dimenzija čajnog peciva i boje u CIELab, kao i udjela i aktiviteta vode te senzorsku ocjenu uz upotrebu hedonističke skale u 9 stupnjeva.

Rezultati istraživanja su pokazali da je ksantan guma imala pozitivan utjecaj na teksturu bezglutenskog čajnog peciva, ali prekomjernim dodatkom se smanjivala njihova širina. Kako bi se smanjila lomljivost čajnog peciva rižinom brašnu je potrebno dodati određenu količinu kukuruznog škroba. Boja čajnog peciva uz veći dodatak ksantana i rižinog brašna postajala je nešto tamnija, ali i poželjnija pri senzorskoj ocjeni dok je umjereni dodatak ksantan gume i kukuruznog škroba imao pozitivan utjecaj na ukupnu senzorsku ocjenu. Upotrebom metode odzivnih površina (engl. *Response Surface Methodology*, RSM) optimirana je receptura za proizvodnju čajnog peciva bez glutena koja sadrži 78,9% rižinog brašna, 21,1% kukuruznog škroba te 1,6% ksantan gume.

Ključne riječi: čajno pecivo bez glutena, rižino brašno, kukuruzni škrob, ksantan guma, metoda odzivnih površina

Rad sadrži: 43 stranica
18 slike
14 tablica
15 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

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

Datum obrane: 29. rujna 2023.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

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

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of flour production and processing

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. IX held on June 29, 2022

Mentor: *Marko Jukić*, PhD, full prof.

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

OPTIMIZATION OF GLUTEN-FREE BISCUITS PREPARED FROM RICE FLOUR AND CORN STARCH

Matea Begić, 0113139377

Summary: The objective of this study was to investigate the effects of adding different ratios of rice flour and corn starch (60:40, 80:20, 100:0) and of adding xanthan gum (0, 2, and 4%) on the quality of gluten-free cookies. According to the experimental plan, test baking was carried out, followed by the determination of the qualitative characteristics of the gluten-free cookies. Quality evaluation of the obtained samples included texture analysis, measurement of the dimensions and colour of the cookies in CIELab, and determination of water content and activity, along with sensory evaluation using a 9-point hedonic scale.

The results showed that xanthan gum had a positive effect on the texture of gluten-free cookies, but excessive addition reduced the width of the cookies. To reduce the fracturability of the cookies, a certain amount of corn starch should be added to the rice flour. The colour of the cookies was slightly darker with higher addition of xanthan gum and rice flour, which was desirable in sensory evaluation, while moderate addition of xanthan gum and corn starch had a positive effect on the overall sensory evaluation. The response surface methodology (RSM) was used to optimize a recipe for the production of gluten-free cookies consisting of 78.9% rice flour, 21.1% corn starch and 1.6% xanthan gum.

Key words: gluten-free cookies, rice flour, corn starch, xanthan gum, response surface methodology

Thesis contains: 43 pages
18 figures
14 tables
15 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense 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.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Marku Jukiću te svim djelatnicima Katedre za tehnologije prerade žitarica na izdvojenom vremenu i pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se svojim najbližim prijateljima koji su bili uz mene tijekom studiranja, a posebno svojoj obitelji koji su najviše vjerovali u mene i gurali naprijed, te omogućili mi ovaj uspjeh.

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO.....	3
2.1.	POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM	4
2.1.1.	Bezglutenska prehrana	5
2.2.	BEZGLUTENSKA BRAŠNA.....	6
2.3.	ČAJNO PECIVO BEZ GLUTENA	7
2.3.1.	Sirovine u proizvodnji čajnih peciva bez glutena	9
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	12
3.1.	ZADATAK	13
3.2.	MATERIJALI.....	13
3.3.	METODE	13
3.3.1.	Plan pokusa laboratorijskog pečenja čajnog peciva bez glutena	13
3.3.2.	Laboratorijsko pečenje čajnog peciva bez glutena	14
3.3.3.	Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava čajnog peciva bez glutena	16
3.3.4.	Određivanje senzorskih svojstava čajnog peciva bez glutena	19
3.3.5.	Optimiranje recepture za proizvodnju čajnog peciva bez glutena	19
4.	REZULTATI.....	21
4.1.	REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETE ČAJNOG PECIVA.....	22
4.2.	UVJETI OPTIMIRANJA RECEPTURE	33
5.	RASPRAVA.....	34
6.	ZAKLJUČCI	39
7.	LITERATURA	41

1. UVOD

U današnje vrijeme sve je veća potreba za proizvodima bez glutena. Kao odgovor na sve veći interes potrošača za bezglutenskim proizvodima, prehrambena industrija na tržište plasira paletu bezglutenskih proizvoda poput bezglutenskih keksa, krepera, muffina, kolača, piva, kruha, pize i tjestenine koji se mogu uključiti u prehranu osoba koje imaju razvijene bolesti povezane s glutenom, te na taj način smanjiti ili ublažiti simptome koji se pojavljuju. Najčešće se poremećaji u prehrani povezuju uz autoimune, ali i alergijske i nealergijske poremećaje. Općenito, gluten je bjelančevina koja se sastoji od dvije proteinske frakcije: glijadina i glutenina (El Khoury, 20018). Zastupljen je u različitim žitaricama koje pripadaju porodici trava (*Poaceae*), kao što su pšenica, raž i ječam (Arendt i Dal Bello, 2008). Gluten ima važnu ulogu u proizvodnji i preradi žitarica, prvenstveno u stvaranju strukture u proizvodnji pekarskih proizvoda. Također, za određivanje kvalitete glutena, bitna svojstva su elastičnost i rastezljivost. S obzirom da bezglutenski proizvodi ne sadržavaju pšenično brašno, nego se u proizvodnji najčešće zamjenjuju brašnom od riže, kukuruza ili drugih sličnih žitarica koje ne sadrže gluten, smatra se da ostavljaju suh okus u ustima nakon konzumacije, što se pokazalo kao loš utjecaj na tehnološka svojstva proizvoda, ali i na samu kvalitetu (Arendt i Dal Bello, 2008; Xu i sur., 2020). Kako bi se poboljšala kvaliteta proizvoda, ali s druge strane i tehnološka, nutritivna i senzorska svojstva bezglutenskih proizvoda, prehrambena industrija najčešće upotrebljava sastojke poput hidrokoloida i guma (Zoghi i sur., 2020). Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera kukuruznog škroba i rižinog brašna na kvalitetu čajnog peciva bez glutena. Također, cilj je bio ispitati i utjecaj dodatka ksantan gume.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM

Gluten, poznat i kao lijepak, je bjelančevina koja se nalazi u pšenici te može izazvati brojne poremećaje kod čovjeka. Prvenstveno, izlaganje glutenu može prouzročiti autoimune, zatim alergijske i neautoimune tj. nealergijske poremećaje. Autoimuni poremećaji povezani s glutenom obuhvaćaju celijakiju, koja je i najpoznatija autoimuna bolest današnjice povezana uz gluten, glutensku ataksiju te herpetiformni dermatitis. Celijakija je autoimuna bolest izazvana unosom glutena iz pšenice, te predstavlja poremećen imunosni odgovor koji dovodi do oštećenja sluznice tankog crijeva. Bolest se najčešće javlja kod osoba koje imaju genetske predispozicije, ali i kod osoba koje boluju od drugih autoimunih bolesti, primjerice dijabetes tip 1, bolesti jetre, bolesti štitne žlijezde. Celijakija se javlja već u prvim godinama života, no u posljednje vrijeme sve je češće prisutna kod starije djece i odraslih osoba. Simptomi koji su karakteristični za celijakiju uglavnom su gastrointestinalni problemi i očituju se kao nadutost, abdominalna bol, povraćanje, dijareja, gubitak tjelesne težine koji može dovesti i do anoreksije, te malapsorpcije. Smanjenje navedenih simptoma može se regulirati i ublažiti doživotnom bezglutenskom prehranom. S druge strane, mogu se javiti i izvancrijevni problemi kao posljedica međudjelovanja kroničnih upala te nedostatka hranjivih tvari. Izvancrijevni simptomi uključuju najčešće umor, oštećenje zubne cakline, zaostajanje u rastu, odgođeni pubertet, mogući spontani pobačaji, kao i neplodnost, psorijazu, osteoporozu, te naposljetku tjeskobu koja može dovesti i do depresije (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Cairano i sur. (2018) u svojim istraživanjima navode da celijakija predstavlja zdravstveni problem koji zahvaća otprilike oko 1% svjetske populacije. Nadalje, glutenska ataksija smatra se najčešćom neurološkom manifestacijom celijakije. Ključni simptomi su slijedeći: ataksija hoda, ataksija udova, okularni znakovi cerebelarne disfunkcije te disartrijska. Oboljeli imaju rijetko izražene probavne simptome. Liječenje je važno započeti što ranije, kako bi se spriječio gubitak Purkinjeovih stanica u malom mozgu, a nužno je strogo pridržavati se bezglutenske prehrane (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019). Herpetiformni dermatitis je bolest koja se smatra najčešćom kožnom manifestacijom celijakije. Intenzivan svrbež i žarenje javlja se neposredno prije razvoja polimorfnih lezija. Najčešće se nalazi na koljenima, laktovima, ramenima, vratu, licu i tjemenu. Za liječenje ovih simptoma također je važna bezglutenska prehrana (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Alergija na pšenicu predstavlja imunološku reakciju koja nastaje nakon konzumacije hrane koja sadrži gluten, tj. proteine pšenice. Alergijske reakcije dovode do pojave kožnih, dišnih i gastrointestinalnih simptoma. Tipični simptomi koji se javljaju su svrbež, otežano disanje, dijareja, grčevi, povraćanje. Alergija na pšenicu može biti prisutna kod djece i kod odraslih osoba. Za liječenje se također preporuča bezglutenska prehrana (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Necelijakična preosjetljivost na gluten je također poremećaj koji je povezan uz gluten, ali nije povezan s autoimunim i alergijskim reakcijama. Smatra se da ima najviše sličnosti s celijakijom. Necelijakična preosjetljivost na gluten uzrokuje crijevne, ali i izvancrijevne simptome. Najčešći simptomi su bolovi u stomaku, nadutost, dijareja, uz prisutan kronični umor, anemiju, glavobolje. Za razliku od alergijskih reakcija i celijakije, necelijakična preosjetljivost na gluten nema dovoljno kriterija za uspostavljanje dijagnoze. Simptomi se mogu izbjeći kontroliranjem prehrane, tj. potrebno je pridržavati se bezglutenske dijeta (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

2.1.1. Bezglutenska prehrana

Bezglutenska prehrana podrazumijeva da se iz svakodnevne prehrane osoba koje imaju poremećaj povezan s glutenom isključi konzumiranje glutena, pa čak i najmanje količine. Ponekad to može biti vrlo teško, ali prehrambena industrija pruža niz proizvoda bez glutena kako bi se olakšala prehrana osoba koje imaju zdravstveni problem vezan uz gluten (Babić, 2020). Osobe koje imaju dijagnosticiran neki od poremećaja povezanih s glutenom, konzumacijom bezglutenske prehrane mogu znatno ublažiti svoje simptome, ali i oporaviti sluznicu tankog crijeva, s obzirom da je bezglutenska dijeta nužna u liječenju oboljelih (Pozderac i Mijandrušić Sinčić, 2019).

Općenito, bezglutenska prehrana označava hranu koja u svom sastavu ne sadrži skladišne proteine pšenice (glijadine i glutenine), ječma (hordeine) i raži (sekaline) te neke hibride žitarica (Babić, 2020). Hrana koja se smatra najsigurnijom za konzumaciju jest hrana koja prirodno ne sadrži gluten. Tu se izdvajaju meso i riba, riža, krumpir, kukuruz, te na posljetku voće i povrće. Uz to, na tržištu se nalaze i razni proizvodi bez glutena poput brašna, kruha, tjestenine, keksa i slatkiša, što je dozvoljeno konzumirati. Kao što postoji sigurna hrana za

konzumaciju, s druge strane postoji i rizična skupina hrane koja se može konzumirati tek kada se utvrdi da ne sadrži gluten.

Namirnice na koje bi trebalo obratiti pozornost jer mogu sadržavati skriveni gluten su najčešće instant juhe, umak od soje, hrenovke, kobasice, čips, instant napitci. Uvođenje bezglutenske prehrane osim pozitivnih učinaka na zdravstveno stanje oboljelih, za sobom nosi i nedostatke, tj. mogućnost nuspojava poput neadekvatnog unosa makro i mikronutrijenata, prvenstveno proteina, zatim vlakana, vitamina i minerala, opstipacije i meteorizma (Babić, 2020).

2.2. BEZGLUTENSKA BRAŠNA

Proizvodi bez glutena dobivaju se uporabom različitih vrsta brašna koja ne sadrže gluten. Brašna koja se upotrebljavaju za izradu bezglutenskih proizvoda su najčešće brašna od riže, kukuruza, sirka, te pseudožitarica poput heljde, kvinoje i amaranta (Arendt i Dal Bello, 2008). Brašna od pseudožitarica imaju značajno bolji nutritivni profil, ali i bolja senzorska svojstva od ostalih žitarica, posebice u proizvodnji čajnih peciva (Di Cairano i sur., 2018).

Rižino brašno proizvodi se od zrna koja su tijekom procesa mljevenja rafinirana, no brašno se može dobiti i od cjelovitih zrna riže. Kuhanjem riže također može nastati rižino brašno, te se koristi u proizvodnji bezglutenskih proizvoda. Di Cairano i sur. (2018.) u svom istraživanju navode da se za izradu bezglutenskih proizvoda može koristiti smeđa riža, te nusproizvodi od riže koji mogu poboljšati nutritivna svojstva gotovog proizvoda. Hipoalergena svojstva, blagi okus, bijela boja, te laka probavljivost čine rižino brašno najprikladnije za proizvodnju bezglutenskih proizvoda. Prema Arendt i Dal Bello (2008) rižino brašno se uglavnom razlikuje po sadržaju amiloze, što ujedno određuje i temperaturu želatinizacije. Uz to, razlike su vidljive i u svojstvu ljepljenja te viskoelastičnim svojstvima. Najčešće se upotrebljava u proizvodnji piva i pekarskih proizvoda, dječje hrane, žitarica za doručak, ali isto tako u proizvodnji grickalica i slastica (Arendt i Dal Bello, 2008).

Uz rižu, kukuruz je druga najvažnija žitarica koja se uzgaja diljem svijeta i koristi se u proizvodnji različitih bezglutenskih proizvoda poput kruha, kolača, tortilja te različitih „snack“ proizvoda (Arendt i Dal Bello, 2008). U samoj preradi zrna kukuruza važnu ulogu ima tvrdoća zrna, odnosno tekstura endosperma jer utječe na kvalitetu krajnjeg proizvoda (Arendt i Dal Bello, 2008). Gledajući kemijski sastav, dvije glavne komponente u zrnu kukuruza predstavljaju

bjelančevine i škrob. Najznačajniji proteini u kukuruзу su prolamini, koji se nazivaju zeini (Arendt i Dal Bello, 2008).

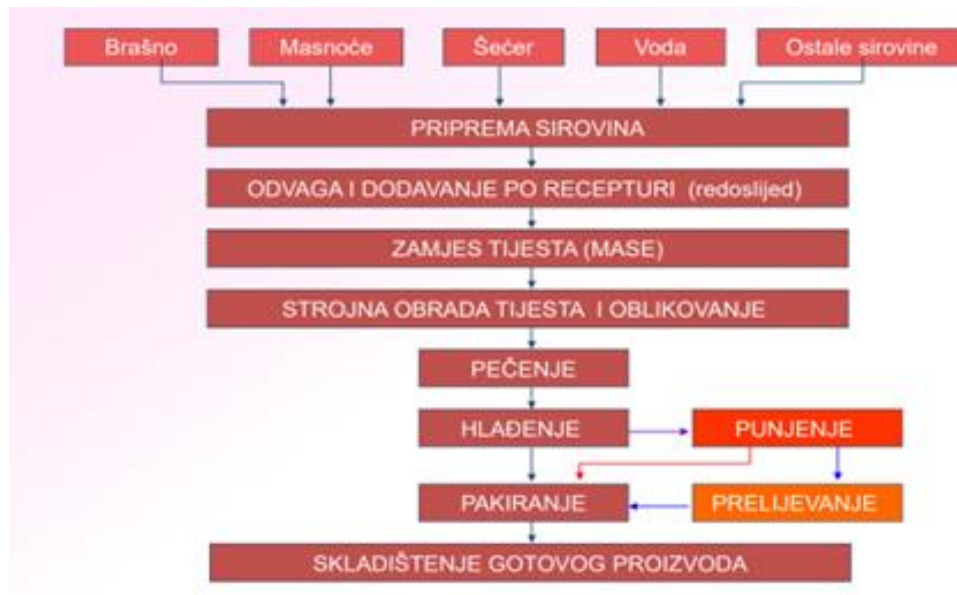
Arendt i Dal Bello (2008) navode da su proteini kukuruза slični proteinima sirka, pa se također i sirak može koristiti u proizvodnji bezglutenskih proizvoda, primjerice za izradu rezanaca i tjestenine. Nadalje, u proizvodnji bezglutenskih proizvoda od zobi upotrebljavaju se brašno i mekinje. Zob se može koristiti kao djelomična ili potpuna zamjena za brašno (Di Cairano i sur., 2018). Di Cairano i sur. (2018) u svom istraživanju navode da zob sadrži vrlo bitne izvore poput proteina, lipida, vitamina i minerala te prehrambenih vlakana. Zbog svog nutritivnog sastava smatra se sigurnom žitaricom za osobe koje su oboljele od celijakije, ali treba voditi računa da ne dođe do križne kontaminacije tijekom žetve sa nekom drugom žitaricom koja sadrži gluten, te može izazvati imunološke reakcije (Di Cairano i sur., 2018.)

2.3. ČAJNO PECIVO BEZ GLUTENA

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica (NN 101/2022; Ministarstvo poljoprivrede, 2022) čajna peciva pripadaju u skupinu finih pekarskih proizvoda, a fini pekarski proizvodi su definirani kao „proizvodi specifičnih senzorskih svojstava proizvedeni različitim tehnološkim procesima, a sastoje se od mlinskih proizvoda, masti ili ulja i drugih sastojaka kojima se ističe njihova specifičnost“. Prema tome, fini pekarski i srodni proizvodi stavljaju se na tržište pod nazivima:

- keks
- kreker
- trajno slano pecivo
- čajno pecivo
- vafel list
- vafel proizvod
- medenjak
- kolač
- paprenjak
- makronen
- biskvit i
- piškota. (MP, 2016).

Prema definiciji, čajno pecivo je „proizvod dobiven pečenjem oblikovanog tijesta, a sadrži najmanje 10 % masti ili ulja i najviše 5 % vode, računato na ukupnu masu gotovog proizvoda“ (MP, 2022). Sam tehnološki postupak proizvodnje čajnih peciva uključuje niz operacija koje su prikazane na **Slici 1**.



Slika 1 Proizvodnja čajnog peciva (Koceva i Jukić, 2021)

Naime, kako je ovdje riječ o proizvodnji čajnog peciva bez glutena, postupak proizvodnje je sličan kao kod proizvodnje čajnih peciva s pšeničnim brašnom. Međutim, osnovna razlika je u sirovinama koje se dodaju za proizvodnju bezglutenskih čajnih peciva, konkretno zamjena pšeničnog brašna s brašnom drugih žitarica. Prema Xu i sur. (2020) bezglutenska čajna peciva sadrže visok udio šećera i masnoća na sobnoj temperaturi i bezglutenska brašna. Bezglutenska čajna peciva predstavljaju proizvod koji se može proizvesti najlakše od svih ostalih proizvoda bez glutena (Di Cairano i sur., 2018). Nadalje, bezglutenska čajna peciva imaju velik potencijal osigurati hranjive tvari u prehrani osoba oboljelih od celijakije, a razlog tomu je mogućnost korištenja različitih sastojaka koja mogu poboljšati sastav konačnog proizvoda (Di Cairano i sur., 2018). Ronie i sur. (2021) u svom istraživanju navode da dodavanje sastojaka na bazi proteina također može uvelike poboljšati nutritivni profil, samim time i funkcionalna svojstva, ali i kvalitetu finalnog proizvoda. Najčešće upotrebljavani funkcionalni sastojci koji se dodaju

u proizvodnji čajnih peciva bez glutena su hidrokoloidi, proteini i različiti enzimi (Ronie i sur., 2021). Čajna peciva bez glutena uglavnom se poslužuju kao poslastice, ali se mogu poslužiti i kao užina ili doručak.

2.3.1. Sirovine u proizvodnji čajnih peciva bez glutena

Sirovine koje se koriste u proizvodnji finih pekarskih i srodnih proizvoda podijeljene su na osnovne i dodatne sirovine. U osnovne sirovine ubrajaju se mlinski proizvodi (brašno), zatim masnoće („shortening”, biljna mast ili maslac), šećer te voda. Dodatnim sirovinama pripadaju sredstva za narastanje, sol, sredstva za aromatizaciju, emulgatori, boje, med, začini, sjemenke, voće te ostali dodatci.

Gledajući općenito, rižino brašno je i dalje najpopularnije brašno koje se koristi u proizvodnji bezglutenskih čajnih peciva i obično se miješa s drugim brašnom, škrobom i/ili proteinima pri čemu se postiže bolja funkcionalnost i kvaliteta samog proizvoda (Xu i sur., 2020). Prema Arendt i Dal Bello (2008) u proizvodnji čajnih peciva bez glutena upotrebljavaju se brašna koja imaju relativno nizak udio bjelančevina. Uz to, također je bitno da se u proizvodnji bezglutenskih čajnih peciva koristi brašno koje ima nizak sadržaj upijanja vode, jer samim time omogućava bolje pečenje proizvoda (Arendt i Dal Bello, 2008). Xu i sur. (2020) navode da upotreba bezglutenskih brašna za izradu bezglutenskih čajnih peciva može osigurati željenu teksturu gotovog proizvoda. Brašna poput rižinog i kukuruznog brašna, ali i mnogih drugih bezglutenskih žitarica, mogu uvelike poboljšati nutritivna i funkcionalna svojstva, te se tako njihovom upotrebom može povećati sadržaj vitamina, minerala, antioksidacijskih spojeva, sadržaj vlakana, ali s druge strane mogu utjecati i na smanjenje sadržaja škroba (Di Cairano i sur., 2018). Za izradu bezglutenskih čajnih peciva u ovom radu koristilo se rižino brašno te kukuruzni škrob.

Osim brašna, šećer ima važnu ulogu u razvoju tijesta, strukturi i teksturi bezglutenskih čajnih peciva, zbog toga što omekšava i povećava hrskavost samog čajnog peciva. S druge strane, javlja se „problem“ zbog visoke kalorijske vrijednosti samog šećera, pa postoji mogućnost zamjene za alternativne šećere poput umjetnih sladila, melase i kukuruznog sirupa. Na taj način se smanjuje kalorijska vrijednost, a zadržava tekstura proizvoda (Xu i sur., 2020). U prehrambenoj industriji najčešće se upotrebljava šećer saharoza. Saharoza je disaharid koji se sastoji od jedne molekule glukoze i jedne molekule fruktoze (Jelić, 2022). Arendt i Dal Bello

(2008) su utvrdili da šećer utječe na boju, čvrstoću, okus te veličinu proizvoda. Nakon pečenja i hlađenja bezglutenskog čajnog peciva šećer može utjecati i na hrskavost gotovog proizvoda (Arendt i Dal Bello, 2008).

Masti ili ulja, uz brašno i šećer pripadaju glavnim sastojcima za proizvodnju čajnih peciva bez glutena. Prema porijeklu dijele se na biljne ili životinjske, a prema konzistenciji mogu biti u krutom ili tekućem stanju. Za izradu bezglutenskih čajnih peciva najčešće se upotrebljavaju masti ili ulja na sobnoj temperaturi, kako bi se omogućilo lakše povezivanje s ostalim sastojcima (Arendt i Dal Bello, 2008). Primarna uloga masti u proizvodnji pšeničnih čajnih peciva odnosi se na sprječavanje razvoja glutenske mreže (Arendt i Dal Bello, 2008). U bezglutenskim čajnim pecivima one imaju učogu u poboljšavanju teksture te povećanju topljivosti u ustima (Arendt i Dal Bello, 2008).

Za proizvodnju finih pekarskih i srodnih proizvoda, u koje se ubraja i čajno pecivo bez glutena, kao glavni sastojak uz brašno, masnoće i šećer dodaje se voda koja mora biti zdravstveno ispravna. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008; Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi, 2008) voda za piće je sva voda koja je u svojem izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hranu ili druge kućanske namjene, neovisno o njenom porijeklu te neovisno o tome da li se isporučuje razvodnim mrežama, cisternama ili bocama ili spremnicima kao i sva voda koju subjekti u poslovanju s hranom upotrebljavaju za proizvodnju, preradu, konzerviranje ili prodaju proizvoda ili tvari namijenjenih za konzumaciju ljudi. Gume i hidrokoloide pripadaju skupini polisaharida, te su također jedni od važnijih sastojaka u proizvodnji bezglutenskih čajnih peciva. Upotrebljavaju se za poboljšanje teksture i izgleda proizvoda (Di Cairano i sur., 2018).

Pored glavnih sastojaka za izradu bezglutenskih čajnih peciva važno je istaknuti i hidrokoloide koji se koriste za poboljšavanje same teksture, izgleda te kvalitete gotovog proizvoda (Di Cairano i sur., 2018). Gallagher (2009) navodi da su hidrokoloide tvari koje u reakciji s vodom daju gel strukturu. Podrijetlo hidrokoloida potječe iz biljnog, životinjskog, morskog i mikrobnog izvora (Gallagher, 2009). Hidrokoloide imaju širok spektar biopolimera, prvenstveno polisaharida i proteina (Gallagher, 2009). U proizvodnji bezglutenskih proizvoda upotrebljavaju se kao sredstva koja utječu na teksturu proizvoda, ali i znatno poboljšavaju stabilnost proizvoda (Gallagher, 2009). Gledajući njihovu funkcionalnost, hidrokoloide se mogu klasificirati u tri skupine: sredstva za želiranje, emulgatori te zgušnjivači (Gallagher, 2009). Neki

od najčešće upotrebljivanih hidrokoloida u prehrambenoj industriji su: pektin, agar-agar, karagen, karboksimetilceluloza (CMC), metil celuloza (MC), kazein, β -glukan te ksantanska guma (Zoghi i sur., 2020 ; Xu i sur.,2020). Dodatak gume u bezglutenske proizvode, prvenstveno u bezglutenska čajna peciva, postiže se pozitivan utjecaj na reološka svojstva tijesta. Također, dodatak gume olakšava hidrataciju suhih sastojaka i pomoć u kontroli vlage gotovog proizvoda, poboljšava teksturu i kvalitetu proizvoda, ali i specifični volumen (Xu i sur., 2020). Za izradu čajnih peciva bez glutena u ovom radu korištena je ksantan guma.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i različitih udjela hidrokoloida ksantan gume, na kvalitetu čajnog peciva bez glutena te provesti optimiranje recepture upotrebom metode odzivnih površina (engl. *Response Surface Methodology*, RSM).

3.2. MATERIJALI

Za proizvodnju čajnog peciva bez glutena upotrebljeni su:

- rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska)
- kukuruzni škrob Gustin (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka),
- ksantan guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK),
- margarin (Zvijezda plus d.o.o., Zagreb, Hrvatska)
- šećer kristal (saharoza),
- kuhinjska sol,
- natrijev hidrogenkarbonat.

3.3. METODE

3.3.1. Plan pokusa laboratorijskog pečenja čajnog peciva bez glutena

U planiranju pokusa korišten je potpuni faktorski plan s dvije nezavisne varijable na tri razine. Prva ulazna varijabla bila je omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba, a druga udio hidrokoloida ksantan gume. Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba kretao se od 60 do 100%, a udio ksantan gume od 0 do 4%. Ukupna masa smjese rižinog brašna i kukuruznog škroba nije se mijenjala. Prema dobivenom planu pokusa provedeno je ukupno dvanaest probnih pečenja uz tri ponavljanja centralne točke ($N = 3^2 + 3 = 12$) (**Tablica 1**). Plan pokusa pečenja čajnog peciva bez glutena izrađen je upotrebom statističkog programa Statistica (inačica 14.0.0.15, TIBCO Software Inc., Palo Alto, SAD).

Tablica 1 Plan pokusa probnih pečenja čajnog peciva bez glutena prema potpunom faktorskom planu

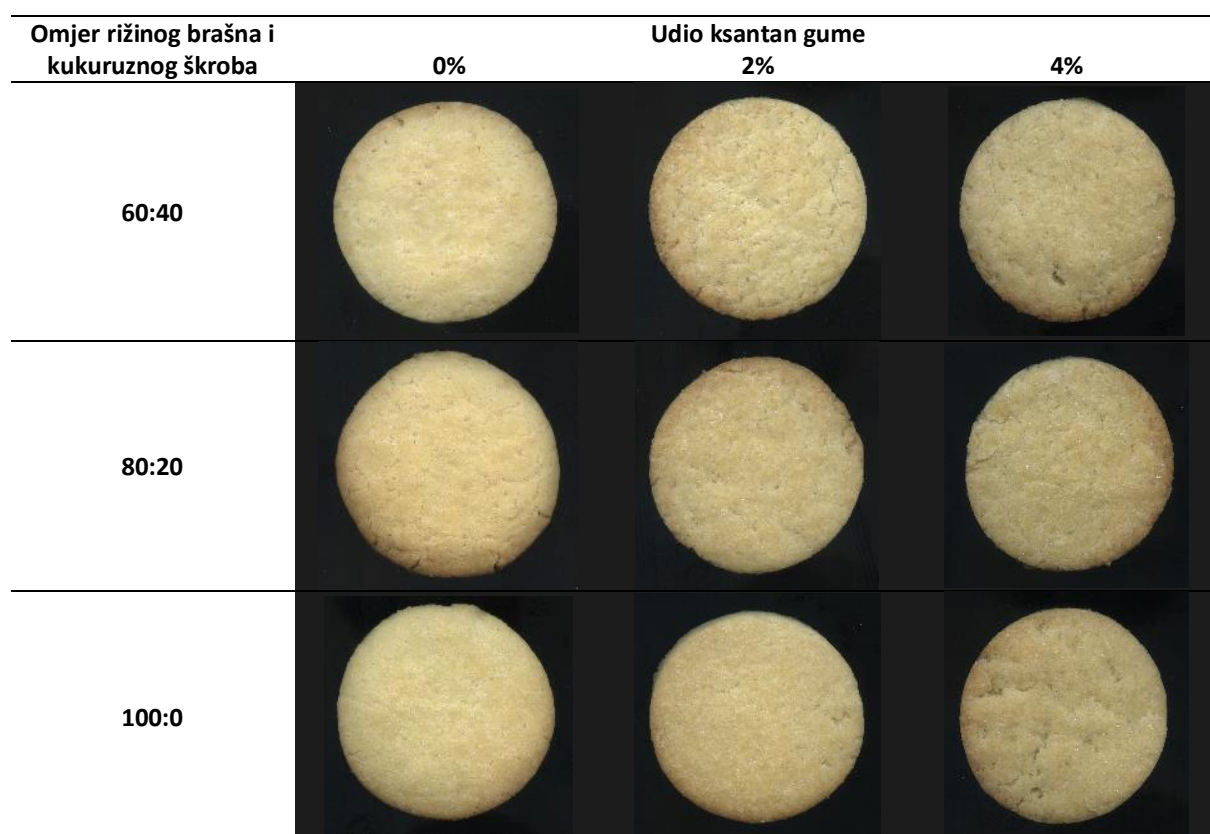
Redni broj pokusa	Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba (kodirane vrijednosti)	Udio ksantan gume (kodirane vrijednosti)	Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba (%)	Udio ksantan gume (%)
1	-1	-1	60	0
2	-1	0	60	2
3	-1	1	60	4
4	0	-1	80	0
5	0	0	80	2
6	0	1	80	4
7	1	-1	100	0
8	1	0	100	2
9	1	1	100	4
10	0	0	80	2
11	0	0	80	2
12	0	0	80	2

3.3.2. Laboratorijsko pečenje čajnog peciva bez glutena

Količine sirovina potrebne za proizvodnju čajnog peciva prikazane su u **Tablici 2**. Nakon vaganja zamjes masnoće, šećera, soli i NaHCO_3 proveden je u laboratorijskoj miješalici (MMC700W, Gorenje doo, Velenje, Slovenija) najsporijom brzinom tijekom 3 minute, a svake minute pažljivo su sastrugani sastojci sa stjenki posude. Nakon toga dodana je destilirana voda, te je nastavljeno miješanje najsporijom brzinom tijekom 1 minute, a potom još 1 minutu uz povećanje brzine miješanja. Na samom kraju dodano je brašno, odnosno prethodno pripremljena smjesa rižinog brašna, kukuruznog škroba i ksantan gume uz miješanje tijekom 2 minute te čišćenje stjenki posude svakih 30 sekundi. Nakon završenog miješanja tijesto je okruglo oblikovano, spakirano u PVC vrećicu i ostavljeno u hladnjaku na temperaturu od 8°C 30 – 60 minuta. Nakon toga proveden je postupak valjanja tijesta na debljinu od 7 mm, te izrezivanje okruglih oblika čajnog peciva promjera 60 mm. Pečenje tijesta je provedeno u peći (Wiesheu Minimat Zibo, Wiesheu GmbH, Njemačka) tijekom 12 minuta pri 205 °C nakon kojeg je slijedilo hlađenje u trajanju od 30 minuta nakon čega su provođene analize.

Tablica 2 Sirovine za proizvodnju čajnog peciva bez glutena

Sastojci	Masa (g/100 g)
Smjesa rižinog brašna i kukuruznog škroba	100
Ksantan guma	0, 2 ili 4
Margarin	40
Šećer kristal	42
Kuhinjska sol	1,25
Natrijev hidrogenkarbonat	1,1
Voda	22



Slika 2 Prikaz uzoraka čajnog peciva bez glutena s različitim omjerima rižinog brašna i kukuruznog škroba te različitim udjelima ksantan gume

3.3.3. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava čajnog peciva bez glutena

Određivanje udjela i aktiviteta vode

Za određivanje udjela vode u uzorcima čajnog peciva bez glutena korišten je uređaj Shimadzu MOC-120H (Slika 3). Uređaj radi na principu mjerenja mase uzorka nakon infracrvenog toplinskog sušenja, tj. mjerenju mase nakon zagrijavanja i isparavanja slobodne vode iz uzorka.



Slika 3 Uređaj za mjerenje vlage pomoću infracrvenog zračenja.

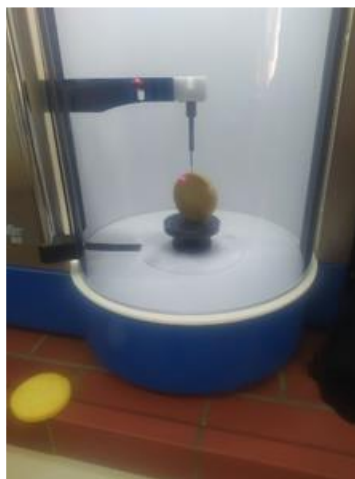
Aktivitet vode (a_w) u usitnjenim uzorcima čajnog peciva bez glutena određen je pomoću uređaja Hygropalm AW1 (New York, SAD) (Slika 4).



Slika 4 Uređaj za određivanje aktiviteta vode

Određivanje specifičnog volumena

Za potrebe ovog diplomskog rada tijekom određivanja specifičnog volumena čajnog peciva bez glutena korišten je uređaj za lasersku topografiju Volscan Profiler (Stable Micro Systems, Velika Britanija) (**Slika 5**).



Slika 5 Uređaj za određivanje volumena

VolScan Profiler je laserski skener koji koristi beskontaktnu metodu za stvaranje 3D modela proizvoda te precizno i brzo mjerenje volumena, specifičnog volumena, gustoće, mase, visine, dužine i drugih parametara raznih pekarskih proizvoda.

Određivanje dimenzija

Širina čajnih peciva bez glutena određena je slaganjem 6 komada čajnog peciva bez glutena jednog pored drugog, te je ukupna dužina izmjerena ravnalom. Da bi se dobili što precizniji rezultati mjerenje je ponovljeno, na način da se svaki komad zarotirao za 90 stupnjeva (AACC, 1999.). Isti postupak vrijedio je i za određivanje debljine, pri čemu su se čajna peciva bez glutena poslagala jedno na drugo i zatim se visina izmjerila ravnalom. Dobivene vrijednosti podijeljene su sa 6 kako bi se dobile prosječne vrijednosti širine i debljine uzoraka. Faktor širenja čajnog peciva izračunat je kao omjer širine i debljine pomnožen s 10 (AACC standardna metoda 10-50.05.).

Određivanje boje

Određivanje boje u ovom radu provedeno je pomoću kolorimetra CR-400 (Konica Minolta, Japan) (**Slika 6**). Mjerenje je provedeno na površini uzoraka u najmanje pet ponavljanja za svaku od dvije šarže pečenja čajnog peciva bez glutena. Korištena je mjerna glava s otvorom od 8 mm, a parametri boje iskazani su u CIE $L^*a^*b^*$ sustavu trodimenzionalnog prostora boja. Boje u ovom sustavu opisane su pomoću dvije kromatske osi, pri čemu a^* komponenta opisuje odnos između crvene (pozitivne vrijednosti) i zelene boje (negativne vrijednosti), dok b^* komponenta opisuje odnos između žute (pozitivne vrijednosti) i plave boje (negativne vrijednosti). Akromatska L^* komponenta određuje svjetlinu i mjeri se od 0 (vrijednost za crnu) do 100 (vrijednost za bijelu) (Lukinac-Čačić, 2012).



Slika 6 Uređaj za određivanje boje

Određivanje teksturalnih svojstava

Postupak određivanja teksture čajnih peciva proveden je uz pomoć uređaja TA.XT Plus (Stable Microsystems Ltd., Surrey,, Velika Britanija), a dobiveni podaci su analizirani s Texture Exponent 32 softverom. Postupak mjerenja se sastojao od fiksiranja uzoraka čajnih peciva na opremu za savijanje, odnosno lomljenje uzoraka, nakon čega je slijedilo podvrgavanje uzoraka kompresiji do trenutka pucanja prema sljedećim parametrima:

- brzina prije mjerenja: 1 mm/s
- brzina mjerenja: 1 mm/s

- brzina poslije mjerenja: 10 mm/s
- sila potrebna za početni signal: 50 g
- razmak između dva oslonca: 24 mm.

Nakon provedenog mjerenja, iz dobivenih rezultata očitane su sila lomljenja (N) i dubina prodiranja sonde do trenutka pucanja uzorka (mm) (Jukić i sur, 2019).

3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava čajnog peciva bez glutena

U senzorskom ocjenjivanju uzoraka čajnog peciva bez glutena proveo je panel od dvanaest ocjenjivača. Panel su sačinjavali studenti i djelatnici Katedre za tehnologije prerade žitarica Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, i svi su imali prethodnog iskustva sa senzorskom analizom te su zadovoljavali kriterije za uključivanje ocjenjivača koji su podrazumijevali nepostojanje zdravstvenih problema poput anozmije, daltonizma i sl. Za procjenu senzorskih svojstava korištena je hedonistička skala u 9 stupnjeva gdje je ocjena 1 označavala "izuzetno nepoželjno", a ocjena 9 "izuzetno poželjno". Ocjenjivana svojstva bila su vanjski izgled (oblik), boja, tekstura, miris, okus i ukupni dojam, a za potrebe optimiranja recepture, kao jedna od odzivnih varijabli, korištena je ukupna senzorska ocjena koja je dobivena računanjem prosjeka ocjena gore navedenih senzorskih svojstava.

3.3.5. Optimiranje recepture za proizvodnju čajnog peciva bez glutena

Optimiranje recepture za proizvodnju čajnog peciva bez glutena provedeno je metodom odzivnih površina RSM gdje su kao odzivne varijable korišteni parametri teksture (sila lomljenja i dubina prodiranja sonde), dimenzija (širina, debljina i faktor širenja), boje u *CIELab* sustavu (L^* , a^* , b^* vrijednosti) i ukupna senzorska ocjena. Regresijska analiza korištena je za utvrđivanje relacija između ulaznih nezavisnih i pojedinih izlaznih zavisnih varijabli koje su definirane matematičkim modelom odzivnih površina tj. polinomom drugog stupnja:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_{11} \cdot X_1^2 + \beta_{22} \cdot X_2^2 + \beta_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + \varepsilon \quad (1)$$

gdje su:

β_0 - slobodni član jednadžbe odzivnog polinoma,

β_1, β_2 – koeficijenti regresije linearnog člana jednadžbe odzivnog polinoma,

β_{11}, β_{22} – koeficijenti regresije kvadratnog člana jednadžbe odzivnog polinoma,

β_{12} – koeficijent člana interakcije jednadžbe odzivnog polinoma,

X_1 – udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom,

X_2 – udio ksantan gume,

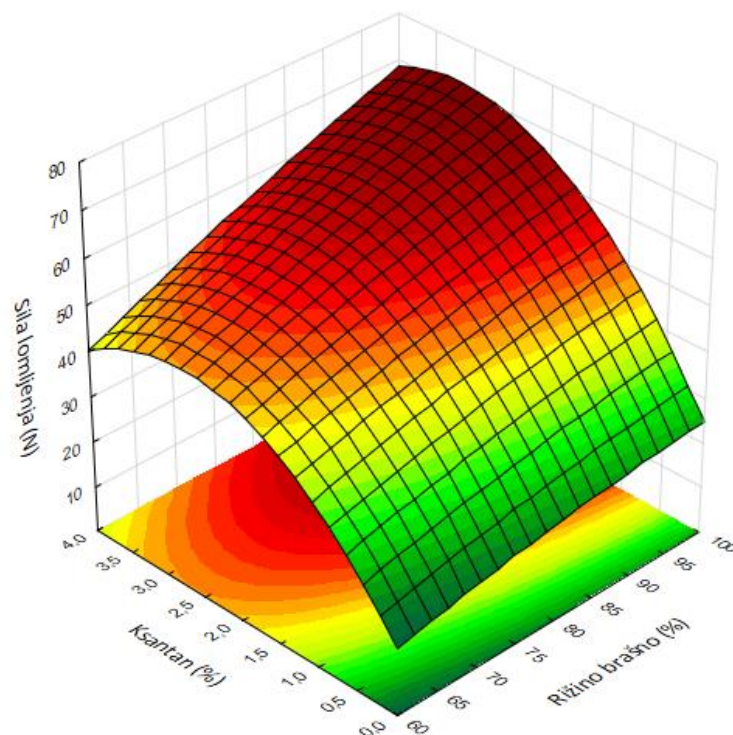
ε – greška modela.

Analizom varijance (ANOVA) određena je statistička značajnost pojedinih regresijskih koeficijenata, a vrednovanje matematičkih modela pomoću koeficijenta determinacije R^2 . Na temelju dobivenih matematičkih modela kreirane su odzivne površine, odnosno 3D-dijagrami koji vizualno prikazuju kako promjena omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba te udio ksantan gume utječu na različite parametre kvalitete čajnog peciva bez glutena.

U posljednjem koraku određeni su optimalni udjeli rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba te optimalni udio ksantan gume upotrebom funkcije poželjnosti (engl. *Desirability function*, D). Postupak optimiranja uključivao je pretvaranje svih praćenih odziva u pojedinačne funkcije poželjnosti s vrijednostima 0 – 1, a ukupnu funkcija poželjnosti određena je kao njihova geometrijskoj sredina. Optimiranje recepture za čajno pecivo bez glutena provedeno je uz pomoć statističkog programa Statistica (inačica 14.0.0.15, TIBCO Software Inc., Palo Alto, SAD).

4. REZULTATI

4.1. REZULTATI ISPITIVANJA KVALITETE ČAJNOG PECIVA



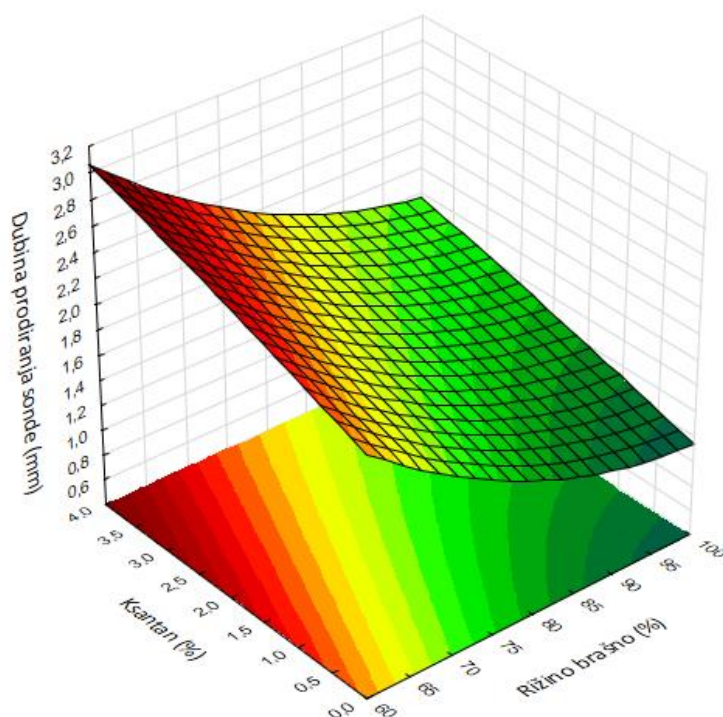
Slika 7 Dijagram odzivne površine sile lomljenja čajnog peciva bez glutena

Tablica 3 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za silu lomljenja čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	560,6	1	560,6	47,7	<0,001*
X_1^2	4,6	1	4,6	0,4	0,556
X_2 – udio ksantana	1786,3	1	1786,3	152,1	<0,001*
X_2^2	883,4	1	883,4	75,2	<0,001*
$X_1 \cdot X_2$	83,3	1	83,3	7,1	0,037*
Pogreška	70,5	6	11,7		
Ukupno	3547,3	11			$R^2 = 0,980$

$$\text{Model: } Y = -20,240 + 0,779 \cdot X_1 + 17,704 \cdot X_2 - 0,003 \cdot X_1^2 - 4,550 \cdot X_2^2 + 0,011 \cdot X_1 \cdot X_2$$

* $p < 0,05$



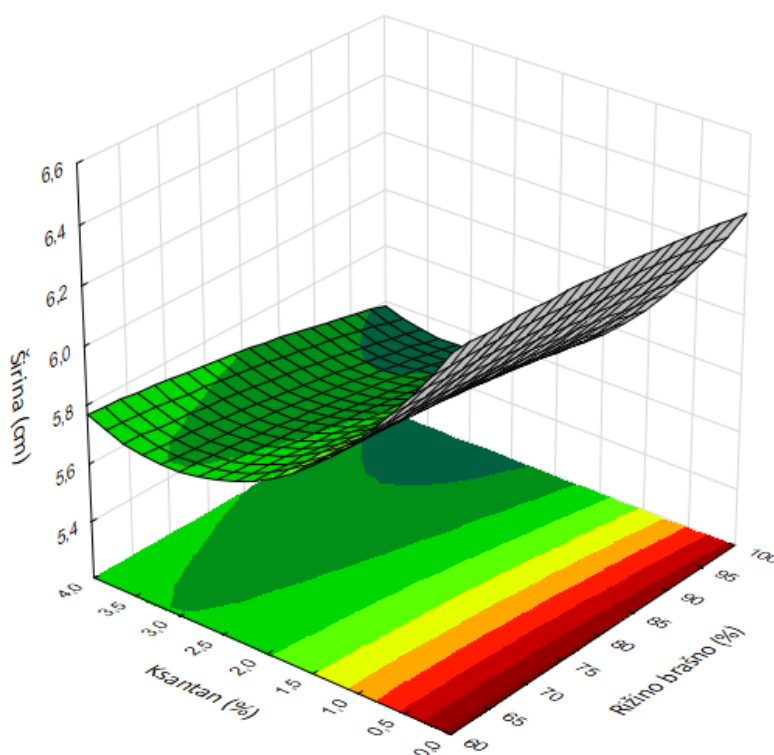
Slika 8 Dijagram odzivne površine dubine prodiranja sonde pri lomljenju čajnog peciva bez glutena

Tablica 4 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za dubinu prodiranja sonde pri lomljenju čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	2,235	1	2,2350	325,896	<0,001*
X_1^2	0,160	1	0,1598	23,300	0,003*
X_2 – udio ksantana	0,756	1	0,7562	110,256	<0,001*
X_2^2	0,001	1	0,0010	0,148	0,713
$X_1 \cdot X_2$	0,006	1	0,0064	0,933	0,371
Pogreška	0,041	6	0,0069		
Ukupno	3,210	11			$R^2 = 0,987$

$$\text{Model: } Y = 7,655 - 0,126 \cdot X_1 + 0,277 \cdot X_2 + 0,0006 \cdot X_1^2 - 0,005 \cdot X_2^2 - 0,001 \cdot X_1 \cdot X_2$$

* $p < 0,05$



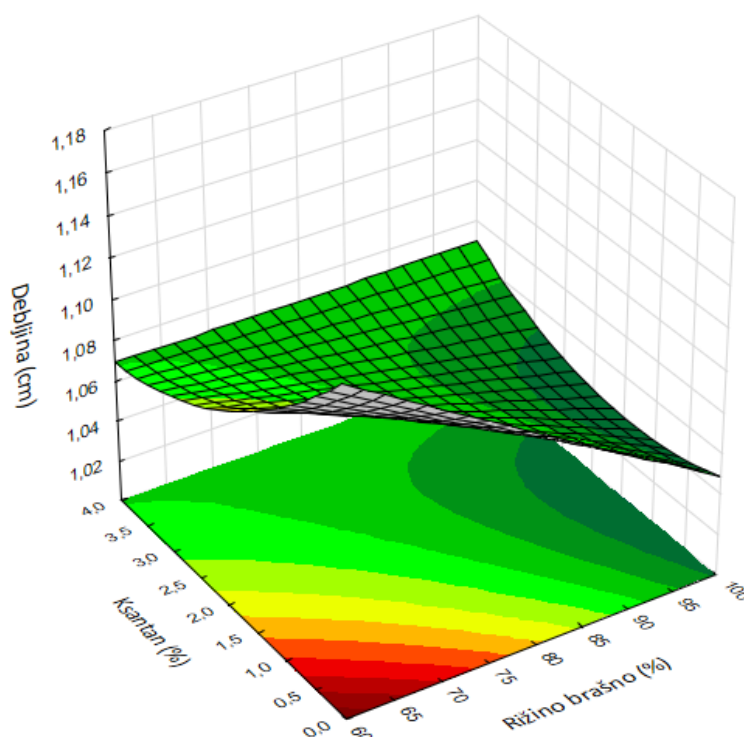
Slika 8 Dijagram odzivne površine širine čajnog peciva bez glutena

Tablica 9 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za širinu čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,030	1	0,003	7,952	0,053
X_1^2	0,001	1	0,001	1,078	0,339
X_2 – udio ksantana	0,767	1	0,767	559,183	<0,001*
X_2^2	0,261	1	0,261	190,658	<0,001*
$X_1 \cdot X_2$	0,002	1	0,002	1,266	0,304
Pogreška	0,008	6	0,001		
Ukupno	1,088	11			$R^2 = 0,992$

Model: $Y = 6,238 + 0,007 \cdot X_1 - 0,450 \cdot X_2 - 0,00005 \cdot X_1^2 + 0,078 \cdot X_2^2 - 0,0005 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



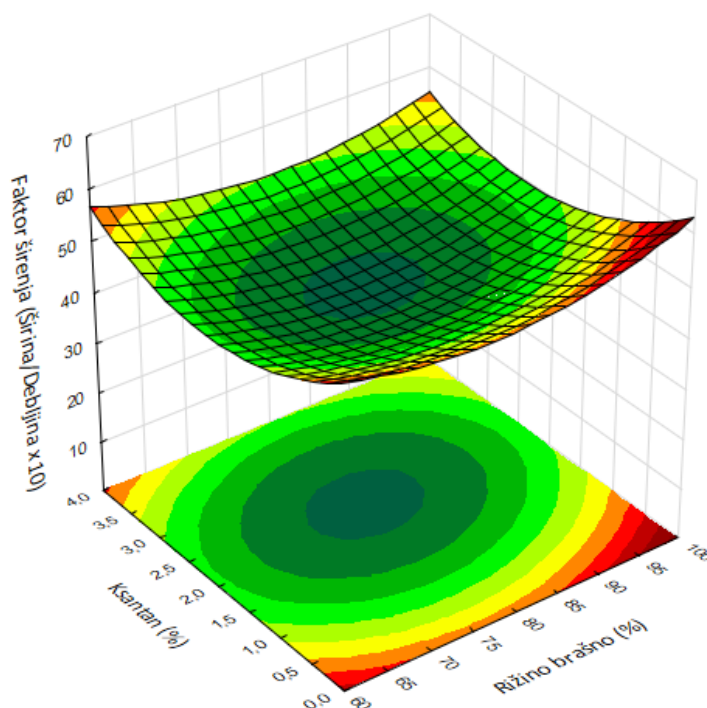
Slika 9 Dijagram odzivne površine debljine čajnog peciva bez glutena

Tablica 10 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za debljinu čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,004	1	0,004	16,926	0,006*
X_1^2	0,000	1	0,000	0,004	0,951
X_2 – udio ksantana	0,002	1	0,002	6,476	0,044*
X_2^2	0,001	1	0,001	3,404	0,115
$X_1 \cdot X_2$	0,003	1	0,003	11,401	0,015*
Pogreška	0,002	6	0,000		
Ukupno	0,012	11			$R^2 = 0,866$

Model: $Y = 1,328 - 0,003 \cdot X_1 - 0,081 \cdot X_2 + 0,000002 \cdot X_1^2 + 0,005 \cdot X_2^2 + 0,0007 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



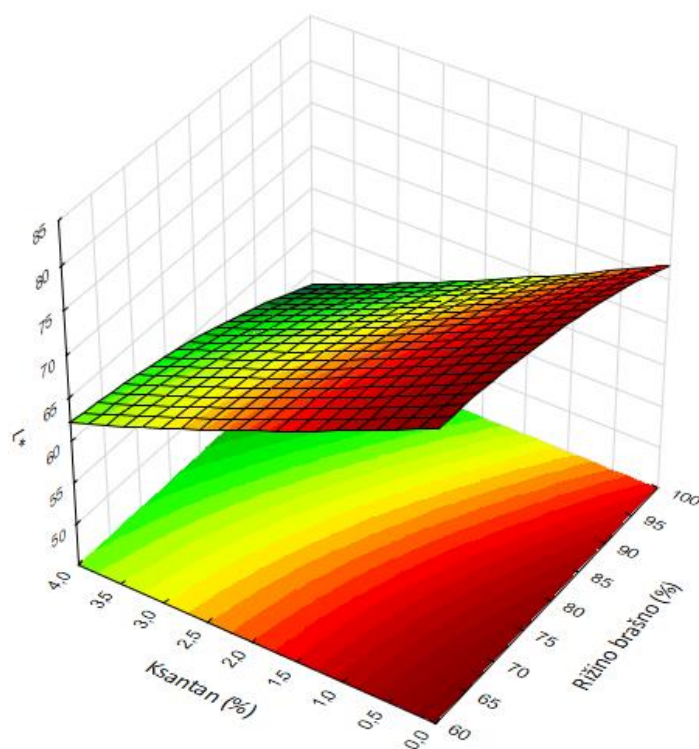
Slika 11 Dijagram odzivne površine faktora širenja čajnog peciva bez glutena

Tablica 7 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za faktor širenja čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	2,502	1	2,502	0,010	0,924
X_1^2	86,525	1	86,525	0,346	0,578
X_2 – udio ksantana	38,268	1	38,268	0,153	0,709
X_2^2	219,752	1	219,752	0,879	0,385
$X_1 \cdot X_2$	8,048	1	8,048	0,032	0,864
Pogreška	1500,630	6	250,105		
Ukupno	1997,428	11			$R^2 = 0,249$

Model: $Y = 138,046 - 2,175 \cdot X_1 - 7,504 \cdot X_2 + 0,014 \cdot X_1^2 + 2,269 \cdot X_2^2 - 0,035 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



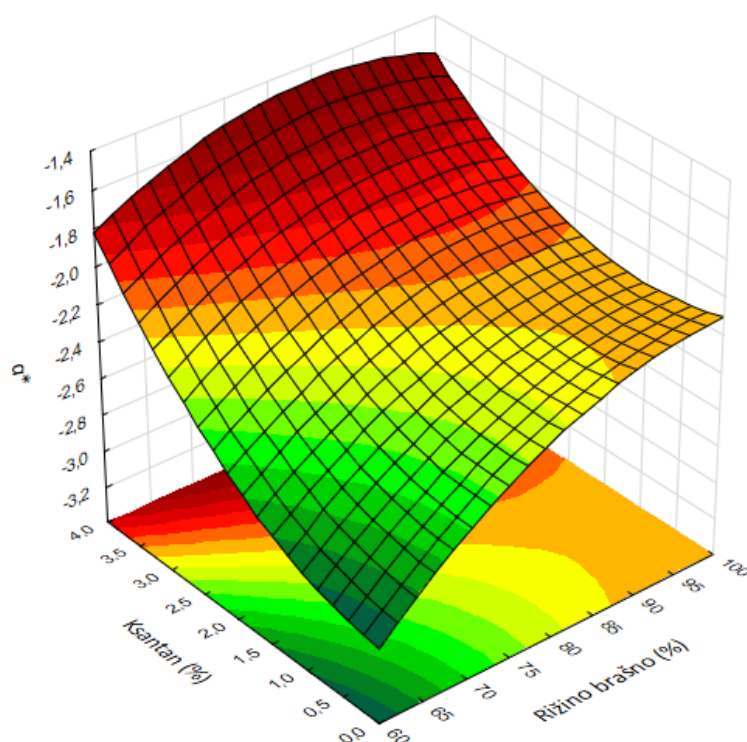
Slika 12 Dijagram odzivne površine za L^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Tablica 8 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za L^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	99,072	1	99,072	9,391	0,022*
X_1^2	6,199	1	6,199	0,588	0,472
X_2 – udio ksantana	469,192	1	469,192	44,476	0,001*
X_2^2	0,953	1	0,953	0,090	0,774
$X_1 \cdot X_2$	0,640	1	0,640	0,061	0,814
Pogreška	63,297	6	10,549		
Ukupno	638,423	11			$R^2 = 0,901$

Model: $Y = 67,155 + 0,427 \cdot X_1 - 4,219 \cdot X_2 - 0,038 \cdot X_1^2 + 0,149 \cdot X_2^2 - 0,010 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



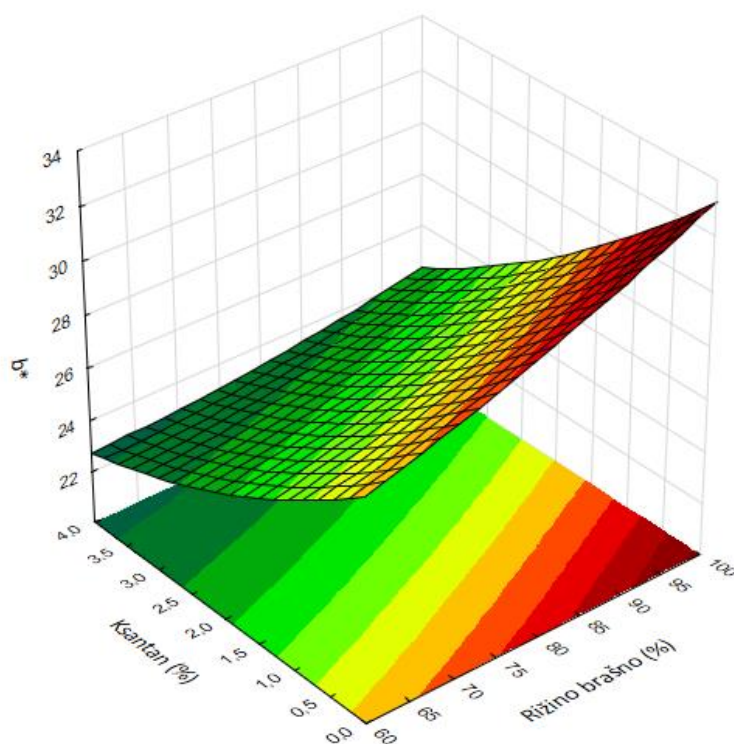
Slika 13 Dijagram odzivne površine za a^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Tablica 9 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za a^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,463	1	0,463	80,589	<0,001*
X_1^2	0,124	1	0,124	21,599	0,004*
X_2 – udio ksantana	1,058	1	1,058	184,164	<0,001*
X_2^2	0,174	1	0,174	30,350	0,002*
$X_1 \cdot X_2$	0,111	1	0,111	19,237	0,005*
Pogreška	0,034	6	0,006		
Ukupno	1,892	11			$R^2 = 0,967$

Model: $Y = -7,562 + 0,109 \cdot X_1 + 0,287 \cdot X_2 - 0,0005 \cdot X_1^2 + 0,639 \cdot X_2^2 - 0,004 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



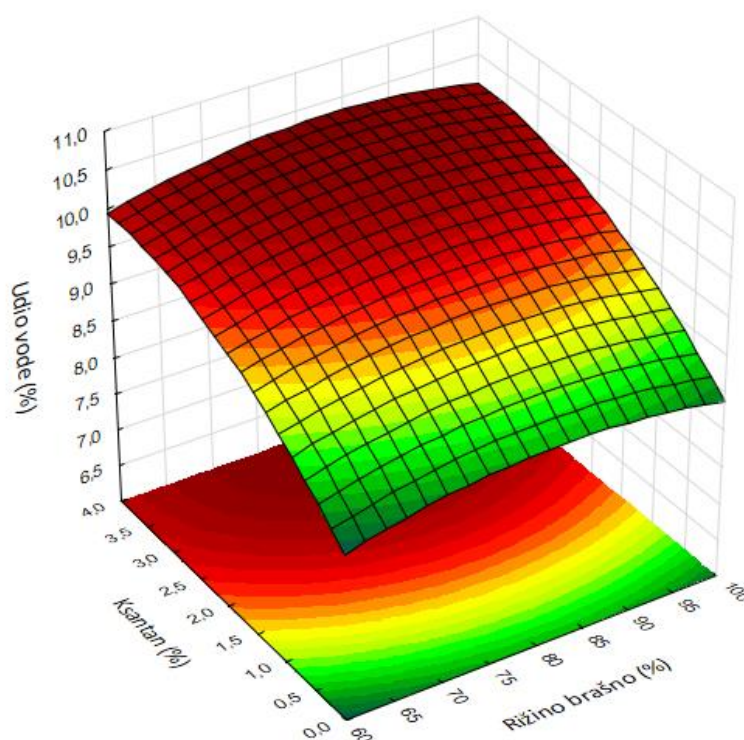
Slika 14 Dijagram odzivne površine za b^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Tablica 10 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za b^* vrijednost čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	15,373	1	15,373	30,246	0,002*
X_1^2	0,261	1	0,261	0,514	0,501
X_2 – udio ksantana	80,147	1	80,147	157,687	<0,001*
X_2^2	1,502	1	1,502	2,954	0,136
$X_1 \cdot X_2$	2,618	1	2,618	5,151	0,064
Pogreška	3,050	6	0,508		
Ukupno	103,640	11			$R^2 = 0,971$

Model: $Y = 25,898 - 0,005 \cdot X_1 - 0,960 \cdot X_2 + 0,0007 \cdot X_1^2 + 0,188 \cdot X_2^2 - 0,020 \cdot X_1 \cdot X_2$

* $p < 0,05$



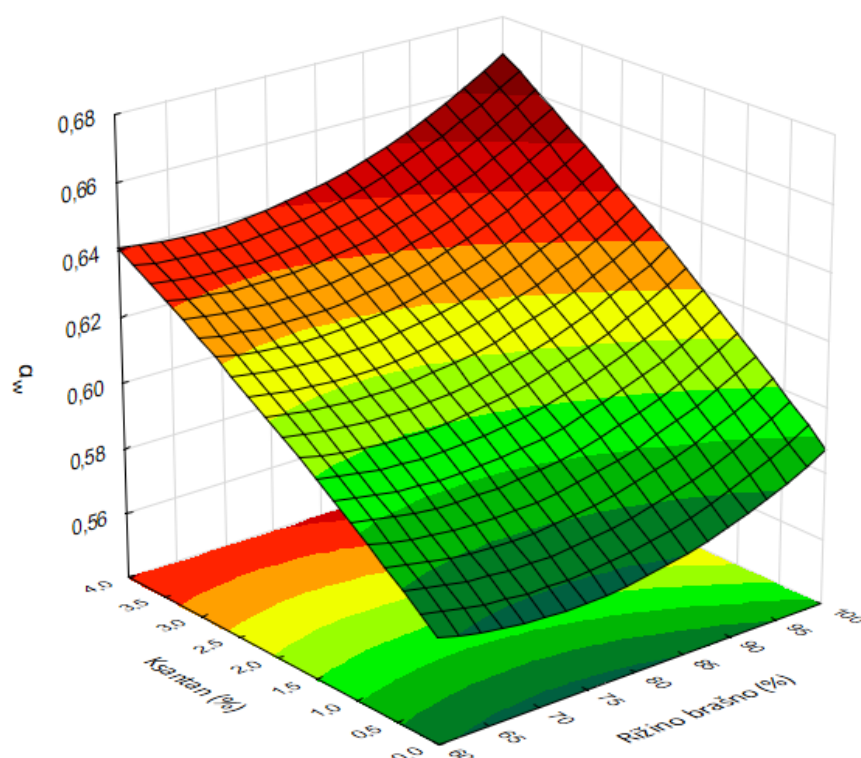
Slika 15 Dijagram odzivne površine za udio vlage u čajnom pecivu bez glutena

Tablica 11 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za udio vlage u čajnom pecivu bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,047	1	0,047	0,835	0,396
X_1^2	0,238	1	0,238	4,244	0,085
X_2 – udio ksantana	4,472	1	4,472	79,753	<0,001*
X_2^2	0,525	1	0,525	9,364	0,022*
$X_1 \cdot X_2$	0,000	1	0,000	0,000	1,000
Pogreška	0,336	6	0,056		
Ukupno	5,979	11			$R^2 = 0,944$

$$\text{Model: } Y = 3,463 + 0,124 \cdot X_1 + 0,875 \cdot X_2 - 0,0007 \cdot X_1^2 - 0,111 \cdot X_2^2 + 1,3 \times 10^{-17} - 17 \cdot X_1 \cdot X_2$$

* $p < 0,05$



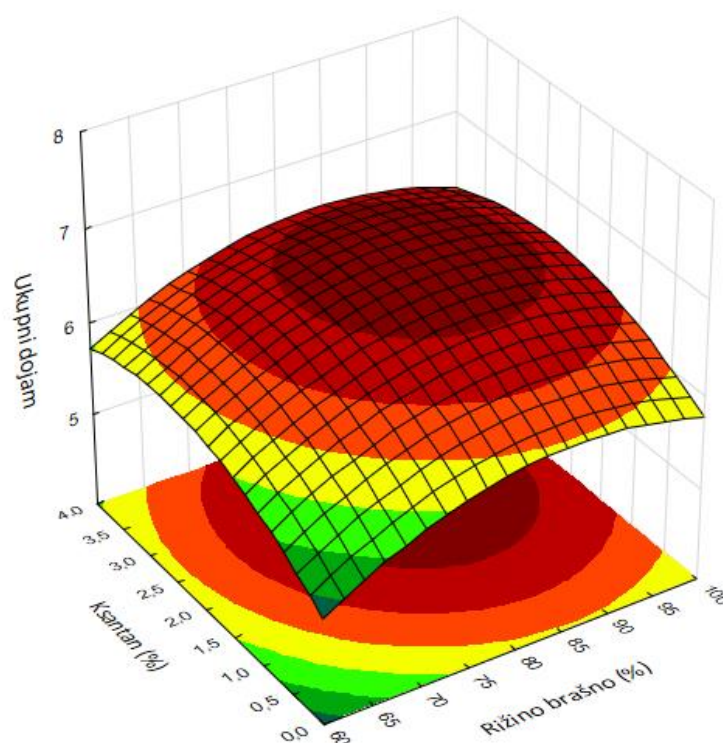
Slika 16 Dijagram odzivne površine za aktivitet vode u čajnom pecivu bez glutena

Tablica 12 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za aktivitet vode u čajnom pecivu bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,00073	1	0,00073	6,124	0,048*
X_1^2	0,00038	1	0,00038	3,239	0,122
X_2 – udio ksantana	0,00851	1	0,00851	71,803	<0,001*
X_2^2	0,00002	1	0,00002	0,202	0,669
$X_1 \cdot X_2$	0,00004	1	0,00004	0,304	0,602
Pogreška	0,00071	6	0,00012		
Ukupno	0,01037	11			$R^2 = 0,931$

$$\text{Model: } Y = 0,727 - 0,004 \cdot X_1 + 0,158 \cdot X_2 + 0,00003 \cdot X_1^2 + 0,0007 \cdot X_2^2 + 0,00008 \cdot X_1 \cdot X_2$$

* $p < 0,05$



Slika 17 Dijagram odzivne površine za ukupnu senzorsku ocjenu čajnog peciva bez glutena

Tablica 13 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za ukupnu senzorsku ocjenu čajnog peciva bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 – udio rižinog brašna	0,427	1	0,427	7,692	0,032*
X_1^2	0,618	1	0,618	11,134	0,016*
X_2 – udio ksantana	0,375	1	0,375	6,761	0,041*
X_2^2	0,496	1	0,496	8,941	0,024*
$X_1 \cdot X_2$	0,010	1	0,010	0,180	0,686
Pogreška	0,333	6	0,055		
Ukupno	2,812	11			$R^2 = 0,882$

$$\text{Model: } Y = -3,046 + 0,208 \cdot X_1 + 0,656 \cdot X_2 - 0,001 \cdot X_1^2 - 0,108 \cdot X_2^2 - 0,001 \cdot X_1 \cdot X_2$$

* $p < 0,05$

4.2. UVJETI OPTIMIRANJA RECEPTURE

Tablica 14 Tablica parametara za izradu funkcije poželjnosti

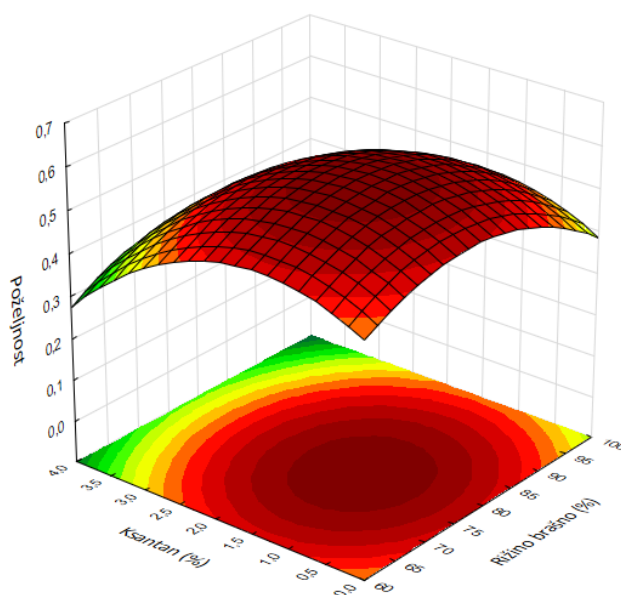
Odzivne varijable	Donja granica	Kod poželjnosti za donju granicu	Gornja granica	Kod poželjnosti za gornju granicu	Cilj
Sila lomljenja (N)	10,91	1	82,75	0	Što manja
Dubina prodiranja sonde (mm)	0,86	0	3,02	1	Što veća
Širina (cm)	5,26	0	6,52	1	Što veća
Debljina (cm)	1,01	1	1,14	0	Što manja
Faktor širenja	49,68	0	59,66	1	Što veći
L^*	51,75	0	82,23	1	Što veća
a^*	-2,978	0	-1,32	1	Što veća
b^*	20,52	0	32,80	1	Što veća
Udio vode (%)	8,06	1	11,01	0	Što manja
Aktivitet vode	0,551	1	0,674	0	Što manji
Ukupna senzorska ocjena	5,13	0	7,16	1	Što veća

Izračunata optimalna receptura:

78,9% rižinog brašna i **21,1%** kukuruznog škroba

1,6% ksantan gume

Poželjnost **$D = 0,521$**



Slika 18 Dijagram funkcije poželjnosti

5. RASPRAVA

Prema planu pokusa (**Tablica 1**) provedena su probna pečenja te je ispitana kvaliteta uzoraka čajnog peciva bez glutena u svrhu optimiranja recepture s obzirom na omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i s obzirom na udio ksantan gume. Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba po pojedinim probama iznosio je 60, 80 i 100%, a udio ksantan gume 0, 2 i 4%. Ukupna masa rižinog brašna i kukuruznog škroba bila je konstantna u svim uzorcima.

Na **Slikama 7 i 8** i u **Tablicama 3 i 4** prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na teksturalne parametre čajnog peciva bez glutena metodom odzivnih površina. Dobiveni model relacije sile lomljenja, odnosno čvrstoće čajnog peciva, i ulaznih varijabli bio je statistički značajan ($R^2 = 0,980$), a značajan doprinos imali su linearan član udjela rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom ($p < 0,001$), linearan ($p < 0,001$) i kvadratni član ($p < 0,001$) udjela ksantan gume, kao i interakcija linearnih članova modela ($p = 0,037$) (**Tablica 3**). To znači da je čvrstoća čajnog peciva rasla s povećanjem udjela rižinog brašna i ksantan gume te je najveću čvrstoću imao uzorak s 100% rižinog brašna i 4% ksantan gume (67,8 N), najmanju uzorak s 60% rižinog brašna i 0% ksantan gume (15,7 N) (**Slika 7**). Povećanu čvrstoću čajnih peciva s dodatkom ksantan gume utvrdili su i Gül i sur. (2018) u svom istraživanju. Povećanje čvrstoće pripisano je visoko razgranatoj strukturi ksantana i njegovom sudjelovanju u povezivanju ostalih komponenti u smjesi brašna. Povećanje čvrstoće čajnog peciva bez glutena s povećanjem udjela rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom može se pripisati činjenici da se udio proteina u smjesi povećava s dodatkom rižinog brašna što pozitivno utječe na teksturu proizvoda.

Dubina prodiranje sonde pri lomljenju uzorka je parametar teksture kojim se može opisati otpornost čajnog peciva na primijenjenu silu lomljenja uzorka, ali ovaj parametar može u određenoj mjeri predstavljati i elastičnost uzorka. Naime, uzorak može biti čvrst, a primjenom sile može pucati odmah pri malim dubinama prodiranja, ili može pucati pri većim dubinama prodiranja što ukazuje na veću elastičnost uzorka. Isto vrijedi i za mekane uzorke, mogu pucati odmah nakon primijenjene sile što ukazuje na njihovu visoku mrvljivost, ili pucaju pri većim dubinama prodiranja sonde što pokazuje njihovu veću kohezivnost unatoč njihovoj mekoj teksturi. U ovom istraživanju utvrđen je značajan doprinos linearnog ($p < 0,001$) i kvadratnog člana ($p = 0,003$) udjela rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom te linearnog udjela ksantan gume ($p < 0,001$), a dobiveni model bio je statistički značajan ($R^2 = 0,987$) (**Tablica 4**).

Na **Slici 8** vidljivo je da je vrijednost dubine prodiranje sonde u trenutku pucanja uzroka rasla povećanjem udjela ksantan gume u recepturi što ukazuje na povećanje elastičnosti uzoraka sa ksantan gumom. Nasuprot tome, veći udio rižinog brašna u smjesi sa kukuruznim škrobom uzrokovao je smanjenje dubine prodiranja sonde što ukazuje na veću lomljivost uzoraka s većim udjelima rižinog brašna, unatoč povećanoj čvrstoći ovih uzoraka. Tako su najveće vrijednosti dubine prodiranja sonde uočene kod uzroka s 4% ksantan gume i 60% rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom (3,1 mm).

Na **Slikama 9-11** i u **Tablicama 5-7** prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na dimenzije čajnog peciva bez glutena metodom odzivnih površina. Na širinu čajnog peciva značajan utjecaj je imao samo dodatak ksantan gume pri čemu je dobiveni model imao vrlo visoku preciznost ($R^2 = 0,992$) uz statistički značajan doprinos linearnog ($p < 0,001$) i kvadratnog člana ($p < 0,001$) modela utjecaja udjela ksantan gume (**Tablica 5**). Svi uzorci bez dodatka ksantan gume imali su malu širinu čajnog peciva što se može objasniti velikom apsorpcijskom kapacitetu ksantana pri čemu tijesto postaje manje viskozno, a samim tim se manje širi tijekom pečenja (Gül i sur., 2018). Na debljinu čajnog peciva je osim udjela ksantan gume u recepturi statistički značajan utjecaj imao i udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom. Debljina uzoraka se smanjivala povećanjem udjela ksantan gume i udjela rižinog brašna (**Slika 10**) što je vidljivo i iz dobivenog modela u kojem su statistički značajni bili linearni članovi udjela ksantan gume ($p = 0,044$) i rižinog brašna ($p = 0,006$), a dobivenim modelom može se objasniti 86,6% ukupne varijance promjene debljine čajnog peciva bez glutena ($R^2 = 0,866$) (**Tablica 6**). Smanjenje debljine čajnog peciva također se može objasniti smanjenom viskoznošću tijesta uslijed dodatka ksantana, ali utjecajem proteina riže u odnosu na smjesu s kukuruznim škrobom gdje je udio proteina manji. Također, smanjenjem udjela rižinog brašna povećava se udio kukuruznog škroba, a kukuruzni škrob može utjecati na smanjenje apsorpcije vode što dovodi do povećanja debljine uzoraka čajnog peciva bez glutena (Mancebo i sur., 2015). Budući da se faktor širenja čajnog peciva izračunava kao omjer njegove širine i debljine, a dodatkom ksantan gume i povećanjem udjela rižinog brašna su obje vrijednosti opadale, nije dobiven statistički značajan model kojim bi se objasnila promjena faktora širenja pomoću navedenih ulaznih varijabli (**Slika 11** i **Tablica 7**).

Rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na parametre boje čajnog peciva bez glutena metodom odzivnih površina prikazani su na **Slikama 12-14** i u **Tablicama 8-10**. Statistički

značajan utjecaj na smanjenje svjetline uzoraka imali su i dodatak ksantan gume i udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom (**Slika 12**). To je potvrđeno i modelom odzivnih površina ($R^2 = 0,901$) u kojem je primjetan linearan utjecaj udjela rižinog brašna u smjesi ($p = 0,022$) i ksantan gume ($p = 0,001$) na svjetlinu L^* koja je opadala povećanjem njegovog udjela (**Tablica 8**). Najtamniji uzorak bio je uzorak s dodatkom 4% ksantana i 100% rižinog brašna kod kojeg je L^* vrijednost iznosila 53, a najsvjetliji uzorak bez dodatka ksantan gume i kukuruznog škroba s L^* vrijednošću 78,1. S obzirom na veći udio proteina u uzorcima bez dodatka kukuruznog škroba (100% rižino brašno), može se zaključiti da su ovi uzorci bili tamniji zbog izraženijih Maillardovih reakcija u kojima sudjeluju aminokiseline i doprinose stvaranju smeđih pigmenata na površini čajnog peciva bez glutena (Mancebo i sur., 2015). Za razliku od našeg istraživanja Gül i sur. (2018) su utvrdili suprotan efekt dodatka ksantan gume na svjetlinu, odnosno uzorci s većim sadržajem ksantan gume su bili svjetliji.

Povećanje udjela rižinog brašna i ksantan gume imao je značajan utjecaj i na a^* kromatsku komponentu čajnog peciva bez glutena pri čemu se ona pomicala prema pozitivnim vrijednostima, odnosno crvenijim tonovima (**Slika 13**). Svi parametri modela dobivenog metodom odzivnih površina bili su statistički značajni, a modelom je objašnjeno 96,7% varijance ($R^2 = 0,901$) (**Tablica 9**). Ovo povećanje a^* vrijednosti također je doprinijelo povećanju smeđih tonova u uzorcima s većim dodatkom ksantana i rižinog brašna.

Povećanje udjela rižinog brašna u smjesi značajno je utjecalo i na povećanje kromatske komponente b^* prema žućim nijansama dok je dodatak ksantan gume imao suprotno djelovanje i utjecao je na smanjenje b^* vrijednosti (**Slika 14**). U dobivenom modelu, koji objašnjava 97,1% varijance ($R^2 = 0,971$) statistički su značajni bili linearni doprinosi udjela rižinog brašna ($p = 0,044$) i ksantan gume ($p < 0,001$) (**Tablica 10**).

Na **Slikama 15 i 16** i u **Tablicama 11 i 12** prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na udio i aktivitet vode u čajnom pecivu bez glutena metodom odzivnih površina. Povećanjem udjela rižinog brašna u smjesi povećavali su se i udio i aktivitet vode u uzorcima, ali samo je porast aktiviteta vode bio statistički značajan što se može objasniti boljim apsorpcijskim kapacitetom rižinog brašna u odnosu na kukuruzni škrob. Ksantan guma imala je statistički značajan i na udjel i na aktivitet vode, što je bilo i očekivano s obzirom da se radi o hidrokolidu. Uzorak s 4% ksantana i 100% rižinog brašna imao je udio vode 10,3% i aktivitet

vode 0,665 što treba uzeti u obzir s obzirom na sigurnosni aspekt i podložnost mikrobiološkom kvarenju.

Iz rezultata prikazanih na **Slici 17** i u **Tablici 13** vidljivo je da su na ukupnu senzorsku ocjenu statistički značajno utjecali dodatak ksantan gume, kao i udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom. Modelom je objašnjeno ukupno 88,2 varijance ($R^2 = 0,882$), a značajan doprinos imali su i linearni i kvadratni članovi modela. Najveću ukupnu (prosječnu) senzorsku ocjenu (6,5) dobio je uzorak s omjerom rižinog brašna i kukuruznog škroba 80:20 te udjelom ksantan gume od 2%.

U završnom koraku ovog istraživanja provedeno je optimiranje recepture. Praćene odzivne varijable prevedene su u pojedinačne funkcije poželjnosti s vrijednostima 0 - 1, gdje je 0 predstavljala najmanju, a 1 najveću poželjnost određenog svojstva (**Tablica 14**). Tako su sila lomljenja, debljina čajnog peciva te udio i aktivitet vode kodirani na način da je najmanjim izmjerenim vrijednostima dodijeljena poželjnost 1, a najvećim poželjnost 0. Ostale odzivne varijable kodirane su tako da je najvećim izmjerenim vrijednostima dodijeljena poželjnost 1, a najmanjim 0. Primjenom funkcije poželjnosti, koja predstavlja geometrijsku sredinu poželjnosti pojedinačnih kvalitativnih svojstava, izračunato je da optimalna receptura za proizvodnju čajnog peciva bez glutena sadrži 78,9% rižinog brašna, 21,1% kukuruznog škroba te 1,6% ksantan gume uz poželjnost 0,521 (**Slika 18, Tablica 14**).

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih ispitivanja mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Kvaliteta čajnog peciva bez glutena značajno ovisi o omjeru rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i o udjelu ksantan gume u recepturi.
- Ksantan guma ima pozitivan utjecaj na teksturu bezglutenskog čajnog peciva, dok je rižinom brašnu ipak potrebno dodati određenu količinu kukuruznog škroba kako bi se smanjila lomljivost čajnog peciva.
- Unatoč pozitivnom utjecaju ksantan gume na teksturu, prevelike količine mogu uzrokovati smanjenje širine čajnog peciva.
- Boja čajnog peciva uz veći dodatak ksantana i rižinog brašna postaje tamnija, ali i poželjnija jer se izbjegava blijeda boja uzoraka koju potrošači percipiraju negativno.
- Visoki udjeli ksantan gume i rižinog brašna mogu uzrokovati previsok udio i aktivitet vode u uzorcima.
- Umjereni dodatak ksantan gume i kukuruznog škroba imaju pozitivan utjecaj na ukupnu senzorsku ocjenu.
- Optimalna receptura za proizvodnju čajnog peciva bez glutena sadrži 78,9% rižinog brašna, 21,1% kukuruznog škroba te 1,6% ksantan gume.

7. LITERATURA

- AACC Method 44-15.02, Approved Methods of Analysis, 11th Edition, Cereals & Grains Association
- Arendt EK, Dal Bello F: *Gluten-free cereal products and beverages*. Department of Food and Nutritional Sciences, University College Cork, Ireland, 2008.
- Babić K: Bezglutenska prehrana- prednosti i rizici. Završni rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2020.
- Di Cairano M, Galagano F, Tolve R, Caruso MC, Condelli N: Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues. *Trends in Food Science & Technology* 81:203–212, 2018.
- El Khoury D, Balfour-Ducharme S, Joye IJ: A Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients* 10: 2-25, 2018.
- Gallagher E: *Gluten-Free Food Science and Technology*. Ashtown Food Research Centre, Teagasc, Dublin, Ireland, 2009.
- Gül H, Hayit F, Acun S, Tekeli S: Improvement of Quality Characteristics of Gluten-Free Cookies with the Addition of Xanthan Gum. "Agriculture for Life Life for Agriculture" Conference Proceedings. 1: 529-535, 2018.
- Koceva Komlenić D, Jukić M: Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija proizvodnje i prerade brašna“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2021.
- Mancebo C, Rodriguez P, Gómez M: Assessing rice flour-starch-protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*. 67: 127-132, 2015.
- MP, Ministarstvo poljoprivrede RH: *Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica*. Narodne novine broj 81, 2016., https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_09_81_1823.html [19.8.2022.]
- Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi: *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*. Narodne Novine broj 47, 2008., https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_47_1593.html [5.9.2022.]
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: Poremećaji povezani s glutenom. *Medicina fluminensis* 55: 53-58, 2019.
- Ronie ME, Zainol MK, Mamat H: A review on the recent applications of gluten-free flour, functional ingredients and novel technologies approach in the development of gluten-free bakery products. *Food Research* 5 5: 43-54, 2021.
- Xu J, Zhang Y, Wang W, Li Y: Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology* 103: 200–213, 2020.

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 and Technology* 56, 3138-3147, 2020.