

Optimiranje proizvodnje kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba

Kraljik, Helena

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:109:905475>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



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

Helena Kraljik

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

diplomski rad

Osijek, rujan, 2022.

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 KRUHA BEZ GLUTENA NA BAZI RIŽINOG BRAŠNA I KUKURUZNOG ŠKROBA

Helena Kraljik, 0113145056

Sažetak: Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i različitih omjera hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha, na kvalitetu kruha bez glutena te optimirati recepturu upotrebom metode odzivnih površina. Plan pokusa napravljen je prema potpunom faktorskom planu te su provedena probna pečenja uzoraka u kojima se udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom kretao od 50 do 100%, a udio psylliuma u smjesi sa ksantan gumom od 0 do 100%. Nakon provedenih pečenja određena su kvalitativna svojstva kruha bez glutena: analiza teksturalnog profila, određivanje specifičnog volumena, instrumentalno određivanje boje u CIELab sustavu te senzorska ocjena uz upotrebu hedonističke skale u 9 stupnjeva.

Rezultati istraživanja su pokazali da su se povećanjem udjela rižinog brašna smanjili čvrstoća i otpor žvakanju, a povećala se kohezivnost i koeficijent otpornosti kruha bez glutena. Dodatkom psyllium praha povećali su se čvrstoća, otpor žvakanju, elastičnost i kohezivnost, a boja kruha bila je značajno tamnija. Rižino brašno i psyllium prah imali su pozitivan utjecaj na ukupnu senzorsku ocjenu. Izračunato je da optimalna receptura za proizvodnju kruha bez glutena sadrži 92,87% rižinog brašna i 7,13% kukuruznog škroba te 2,05% psyllium praha i 7,95% ksantan gume.

Ključne riječi: kruh bez glutena, rižino brašno, kukuruzni škrob, ksantan guma, psyllium, metoda odzivnih površina

Rad sadrži: 40 stranica
12 slike
14 tablica
41 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: 27. rujna 2022.

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 BREAD PREPARED FROM RICE FLOUR AND CORN STARCH

Helena Kraljik, 0113145056

Summary: The objective of this study was to investigate the effect of adding different ratios of rice flour and corn starch and different ratios of xanthan gum and psyllium husk powder on the quality of gluten-free bread and to optimize the formulation using response surface methodology. The experimental design followed the full factorial plan, and baking trials were conducted in which the proportion of rice flour in the mixture with cornstarch ranged from 50 to 100% and the proportion of psyllium in the mixture with xanthan gum ranged from 0 to 100%. After baking, the qualitative characteristics of the gluten-free bread were determined: textural profile analysis, determination of the specific volume, instrumental color determination in the CIELab space, and sensory evaluation using a 9-point hedonic scale.

The results of the study showed that increasing the rice flour content decreased the hardness and chewiness and the cohesiveness and resilience of the gluten-free bread. The addition of psyllium powder increased hardness, chewiness, springiness and cohesiveness and resulted in darker breads. Rice flour and psyllium powder had a positive effect on the overall sensory score. It was calculated that the optimal recipe for making gluten-free bread contains 92.87% rice flour and 7.13% corn starch, as well as 2.05% psyllium powder and 7.95% xanthan gum.

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

Thesis contains: 40 pages
12 figures
14 tables
41 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 27, 2022

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 suradnicima na Katedri za Tehnologije prerade žitarica na korisnim savjetima i pomoći tijekom izrade i pisanja ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem svojim kolegicama, kolegama i prijateljima koji su uvijek bili uz mene i spremni pomoći te bez kojih protekle godine mog studiranja ne bi bile zanimljive i lake.

Najveću zahvalu dugujem svojim roditeljima, koji su mi omogućili visoko obrazovanje, braći Jurici i Hrvoju te dečku Vinku što su mi pružili vjetar u jedra tijekom napornog rada i učenja.

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	TEORIJSKI DIO.....	3
	2.1. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM.....	4
	2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA.....	5
	2.2.1. Glavne sirovine.....	5
	2.2.2. Dodatne i pomoćne sirovine.....	9
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	12
	3.1. ZADATAK.....	13
	3.2. MATERIJALI.....	13
	3.3. METODE.....	13
	3.3.1. Izrada plana pokusa laboratorijskog pečenja kruha bez glutena.....	13
	3.3.2. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena.....	14
	3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena.....	15
	3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena.....	15
	3.3.5. Optimiranje recepture za proizvodnju kruha bez glutena.....	16
4.	REZULTATI.....	17
	4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA.....	18
	4.2. REZULTATI ISPITIVANJA BOJE I SENZORSKIH SVOJSTAVA.....	25
	4.3. UVJETI OPTIMIRANJA RECEPTURE.....	29
5.	RASPRAVA.....	30
6.	ZAKLJUČCI.....	35
7.	LITERATURA.....	37

1. UVOD

Kruh je od davnina najrašireniji, najstariji i najjeftiniji prehrambeni proizvod, a priprema se od različitih vrsta brašna koja se dobiju mljevenjem žitarica uz dodatak vode, kvasca ili nekih drugih dodataka. Najkvalitetniji kruh dobiva se iz pšeničnog brašna i većina ljudi slobodno konzumira ove proizvode, ali postoje osobe koje su osjetljive na pšenični gluten te se javljaju bolesti kao posljedica imunološkog odgovora na gluten. Tako postoje ljudi koji boluju od celijakije, alergije na pšenicu ili necelijakijske osjetljivosti na gluten. Osjetljivost na gluten najčešće se javlja zbog intolerancije-genetske predispozicije, ali i načinu prehrane pa tako često konzumiranje proizvoda od glutena uzrokuje usporenost organizma što dovodi do nemogućnosti probavljanja, a kao posljedica konzumacije takvih proizvoda najizraženiji su gastrointestinalni simptomi kao što nadutost i proljev, anemija te iscrpljenost. Oboljele osobe zbog toga ne bi trebale konzumirati pekarske proizvode u kojima ima pšenice, raži, zobi i ječma te njihovih hibrida, već bi svoju konzumaciju trebali posvetiti proizvodima od bezglutenskog brašna poput heljdinog, rižinog, konopljinog, kukuruznog i sl. Problem u proizvodnji proizvoda bez glutena je upravo nedostatak glutena koji daje viskoelastična svojstva tijestu jer on u dodiru s vodom stvara vezivno svojstvo koje kruhu i ostalim proizvodima daje elastičnost i sposobnost bubrenja koji pogoduju kvaliteti proizvoda. Stoga su proizvodi bez glutena slabije kvalitete u odnosu na proizvode od glutena.

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i različitih omjera hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha, na kvalitetu kruha bez glutena te optimirati recepturu upotrebom metode odzivnih površina.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. POREMEĆAJI POVEZANI S GLUTENOM

Gluten je protein koji se sastoji od glijadina i glutenina te je najčešće prisutan u pšenici, a može se pronaći i u žitaricama kao što su raž, ječam i zob. Hidratizirani glutenin predstavlja rastezljivu masu koja je elastična i otporna na deformaciju, dok je hidratizirani glijadin sirupasta, rastezljiva i ljepljiva masa. Vlažni gluten objedinjuje svojstva glijadina i glutenina, a u malim količinama može sadržavati i nešto škroba, albumina i globulina. Miješanjem brašna i vode dolazi do stvaranja disulfidnih veza između glijadina i glutenina pri čemu dolazi do tvorbe tijesta. Prisutnost glutena u ljudskom organizmu može uzrokovati više različitih poremećaja, a najpoznatiji su celijakija, alergija na pšenicu te necelijakijaska osjetljivost na gluten.

Celijakija je autoimuna bolest uzrokovana glutenom iz pšenice, raži i ječma, pri čemu glijadinski fragmenti glutena koji nastaju probavom navode stanice imunog sustava na reakciju protiv vlastitih bjelančevina u sastavu stanica crijevne sluznice. Time dolazi do njihovog uništavanja te narušavanja apsorpcijske funkcije crijevne sluznice. Pretpostavlja se da se celijakija uglavnom javlja kod osoba s genetskom predispozicijom pa je tako majčina osjetljivost na glijadin povezana s većim rizikom šizofrenije potomstva (Klapec i sur., 2021).

Kao odgovor organizma na prisustvo glutena javljaju se klasične crijevne tegobe kao što su povraćanje, proljev, nadutost, gubitak tjelesne mase, neklasični crijevni te izvancrijevni simptomi poput umora zbog smanjene apsorpcije ugljikohidrata, hipoplazija zubne cakline, zaostajanje u rastu, psorijaza, anemija zbog smanjene apsorpcije željeza i dr. (Pozderac i sur., 2019).

Alergija na pšenicu predstavlja sustavnu imunosnu reakciju koja se javlja nakon unosa proteina pšenice (albumina, globulina i proteina glutena). Nastala reakcija rezultira pojavom probavnih, kožnih ili dišnih simptoma. Nakon unosa u organizam javljaju se tipični alergijski simptomi koji uključuju svrbež, otežano disanje, grčeve, povraćanje i dr., a u težim slučajevima dolazi do anafilaksije koja je posredovana IgE protutijelima te u akutnim stanjima može biti opasna po život opasna. Alergiji pšenice podliježu djeca i odrasle osobe, pretežno osobe koje rade s pšeničnim brašnom u silosima i pekarnicama. Iako navedeni simptomi nalikuju simptomima

celijakije, alergijska reakcija na pšenicu ne uzrokuje trajno oštećenje gastrointestinalne sluznice (Pozderac i sur., 2019).

Sindrom koji je popraćen crijevnim i izvancrijevnim simptomima koji se pojavljuju nakon probave hrane koja sadržava gluten i druge pšenične proteine u osoba koje nemaju ni celijakiju, niti alergiju na pšenicu naziva se necelijakična osjetljivost na gluten. Uključuje probavne simptome poput nadutosti, abdominalne boli, proljev, a moguća je pojava poremećaja epitelne barijere sluznice tankog crijeva te promjene mikrobioma crijeva. Za razliku od celijakije i alergije na pšenicu, necelijakična osjetljivost na gluten nema konkretnih kriterija za serološku i patohistološku potvrdu dijagnoze (Pozderac i sur., 2019).

2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU KRUHA

Kao i u procesu proizvodnje pšeničnog kruha, sirovine za proizvodnju kruha bez glutena se mogu podijeliti na glavne, dodatne te pomoćne sirovine. U glavne sirovine ubrajaju se različite vrste brašna bez glutena i škrobovi i voda, a u dodatne sirovine kvasac i sol. Pomoćne sirovine upotrebljavaju se zbog poboljšanja tehnološke kakvoće ili nutritivne vrijednosti konačnog proizvoda.

2.2.1. Glavne sirovine

Jedno od najčešće korištenih bezglutenskih brašna je rižino brašno. Riža (*Oryza sativa* L.) je žitarica koja je osnovna hrana za oko 50% svjetske populacije, a većinom se konzumira u azijskim zemljama. Rižino brašno se uglavnom koristi u novim, ali i tradicionalnim prehrambenim proizvodima kao što su dizana tijesta. Kao glavni parametri kvalitete ističu se prihvatljiva senzorska svojstva od strane potrošača te dobro razvijena porozna struktura proizvoda na bazi rižinog brašna. S obzirom da ne posjeduje gluten, proizvodi od rižinog brašna imaju slabu sposobnost formiranja viskoelastične strukture koja zarobljava plin tijekom fermentacije (Anupama i sur., 2021). Zbog blagog okusa, hipoalergenih svojstava i lako probavljivih ugljikohidrata, rižino brašno je poznato kao najprikladnija komponenta za proizvode bez glutena (Sakač i sur., 2015). Rižino brašno sadrži kolin koji se često naziva i vitaminom J koji ima važnu ulogu u izgradnji staničnih membrana i metabolizmu masti. Utječe na rad hipofize, hipotalamusa i nadbubrežne žlijezde koji zajedno reguliraju hormonsku aktivnost. Postoje tri vrste rižinog brašna: smeđe rižino brašno, slatko rižino brašno i bijelo

rižino brašno. Smeđe rižino brašno i bijelo rižino brašno upotrebljavaju se u pekarskoj industriji za proizvodnju kruha i drugih pekarskih proizvoda, dok se slatko rižino brašno najčešće koristi u azijskoj kuhinji kao sredstvo za zgušnjavanje. Aoki i sur. (2020) su procijenili kako pekarski proizvodi od rižinog brašna koji imaju viši postotak amiloze stvaraju vekne većeg volumena u odnosu na rižina brašna s manje postotka amiloze. Recepture koje sadrže rižino brašno daju proizvode koji zadržavaju CO₂, povećavaju specifični volumen kruha, smanjuju čvrstoću i mrvljivost te poboljšavaju strukturu sredine kruha stvarajući ujednačenu strukturu s manje velikih šupljina (Monteiro i sur., 2021).

Osim rižinog, često se za proizvodnju kruha bez glutena koristi i kukuruzno brašno. Kukuruz (*Zea mays* L.) je treća najvažnija žitarica na svijetu. Kukuruzno brašno se sve više koristi u prehrani zbog njegovog okusa i nutritivnih vrijednosti. Međutim, mljevenjem kukuruza dobiva se brašno koje je vrlo osjetljivo zbog pojačane enzimske aktivnosti, osobito lipaza, amilaza, lipooksigenaza te peroksidaza koje brašnu mogu značajno smanjiti nutritivnu vrijednost i stabilnost tijekom skladištenja. U kemijskom sastavu ističu se proteini poput albumina, globulina, glutelina te zeina koji čini oko 50% proteina endosperma zrna. Zrno kukuruza sadrži širok spektar fitonutrijenata i antioksidacijskih spojeva kao što su tokoferoli, fenoli te karotenoidi od kojih su najznačajniji β-karoten, β-kriptoksantin, lutein i zeaksantin. Iako β-karoten ima najveće provitaminsko djelovanje, prisutan je u relativno niskoj koncentraciji u zrnu kukuruza. Najčešći fenoli u kukuruzu su flavonoidi koji određuju boju perikarpa kukuruza pa se prema tome razlikuje bijelo, crveno i žuto kukuruzno brašno (Žilić i sur., 2010). Kao sirovina, kukuruzno brašno se u većini slučajeva koristi u proizvodnji kukuruznog kruha i pogača, a odličan je i kao dodatak za zgušnjavanje juha, umaka i variva. S druge strane kukuruzna krupica, koja predstavlja krupnije mljevenu frakciju kukuruza, upotrebljava se u tradicionalnim jelima kao što je palenta.

U recepturama za proizvodnju kruha bez glutena sve se češće koriste i brašna različitih pseudožitarica. Jedna od njih je i amarant koji potiče iz još doba Inka i Asteka koji su ga smatrali svetom biljkom i pripisivali mu djelotvorna svojstva, a svoje stanište pronašao je u tropskom i subtropskom području. Iako je manje poznat među žitaricama, često se koristi u bezglutenskoj prehrani, a najpopularniji je među sportašima. Po obliku je sličan prosu, ima visoku nutritivnu vrijednost, a za razliku od ostalih žitarica obiluje esencijalnim masnim kiselinama poput lizina. U svom sastavu posjeduje topiva i netopiva prehrabena vlakna za

koje se zna da imaju blagotvoran učinak na čovjekovo zdravlje. Nadalje, sadrži visok udio proteina, čak 65% pohranjenih u klici i sjemenoj ovojnici što ga čini jednom od žitarica s najvećim udjelom proteina. Zbog izvrsnog nutritivnog sastava amarant je, osim u pekarskim proizvodima, svoje mjesto pronašao i u proizvodnji piva, u ribljim i mesnim jelima, dodaje se u kompote te se od njega čak proizvodi i sok. Sjeme amaranta služi za proizvodnju ulja, dodaje se prilikom kuhanja pudinga i složenaca, dok je brašno amaranta u zadnje vrijeme često sastavni dio receptura za proizvodnju tjestenine i pekarskih proizvoda, a zbog svoje visoke nutritivne vrijednosti može ga se naći i među sastojcima od kojih se proizvodi dječja hrana (Arendt i Dal Bello, 2008).

U bezglutenskim recepturama može se koristiti i brašno kvinoje. Glavna odlika škroba kvinoje je ta da je za želatinizaciju potrebna viša temperatura nego kod ostalih žitarica. Nadalje, nizak postotak amiloze odgovoran je za visoku sposobnost vezanja vode, veliku moć bubrenja, visoku osjetljivost na enzime i izvrsnu stabilnost na zamrzavanje. Proteini kvinoje su uglavnom albumini i globulini kojih ima više nego u ostalim žitaricama, a imaju visok stupanj kvalitete. Topivost proteina u brašnu od kvinoje ovisi o pH, a minimalnu topivost prikazuje pri pH 6. Sadržaj masti je viši u odnosu na ostale žitarice. Od minerala najzastupljeniji su kalcij, magnezij, željezo i natrij, a od vitamina ističu se vitamin C, riboflavin te vitamin E kao najpoznatiji antioksidans (Arendt i Dal Bello, 2008).

Pogodnim za proizvodnju pekarskih proizvoda bez glutena pokazalo se i heljdino brašno koje je bogato škrobom u kojem je odnos između amiloze i amilopektina 1:1. Po tome se škrob heljde razlikuje od škroba ostalih žitarica i mahunarki, a sličan je visokoamiloznom škrobu. Zbog te činjenice škrob heljde pokazuje veću sposobnost želiranja, a samim time i veće bubrenje granula tijekom želatinizacije od ostalih žitarica (Arendt i Dal Bello, 2008). Stalna konzumacija heljde može spriječiti neke „civilizacijske bolesti nastale prehranom“ poput pretilosti, dijabetesa, loše probave, zatvora i dr. Nadalje, heljdine mekinje bogat su izvor ugljikohidrata fagopiritola koji ima vrlo nizak glikemijski indeks (GI). Proteini heljde sprječavaju nastanak žučnih kamenaca i dodatno snižavaju razinu kolesterola. Također, najnovija istraživanja tvrde kako proteini heljde mogu usporiti karcinogenezu dojke te potisnuti razvoj raka debelog crijeva (Kayashita i sur., 1999; Liu i sur., 2001). Alvarez-Jubete i sur. (2009) utvrdili su da visoka količina brašna od heljde u proizvodnji pekarskih proizvoda utječe na senzorska svojstva proizvoda, kao što je sredina kruha tamne boje, gusta, tamna i suha kora te jak miris i okus.

Prema istraživanjima (Torbica i sur., 2010) utvrđena je razlika u kvaliteti kruha između oljuštene i neoljuštene heljde. Naime, brašna oljuštene heljde daju proizvodu veliki volumen, bolju teksturu te pogoduju visokoj prihvatljivosti, a suprotno tome, dodatak iste količine brašna neoljuštene heljde daje proizvod slabije kvalitete.

Osim različitih brašna, u proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena, koriste se i različiti škrobovi. Rižin škrob sastoji se od amiloze i amilopektina u različitim omjerima u ovisnosti o vrsti riže. Ima svojstva kremoznosti i hrskavosti, a utječe i na konačnu čvrstoću proizvoda (Monteiro i sur., 2021). Zbog svojih hipoalergenih svojstava i prisutnosti lako probavljivih ugljikohidrata rižin škrob predstavlja izvrsnu sirovinu za pacijente koji pate od alergija. Usprkos brojnim prednostima, zbog svoje hidrofobne prirode proteini riže su netopljivi te nisu u mogućnosti oblikovati viokoelastično tijesto. Rižini proizvodi najviše primjene imaju u pekarstvu, dječjoj hrani, slasticama te u proizvodnji piva (Elke i sur., 2008).

Pri korištenju krumpirovog škroba negativno nabijeni hidrokoloide, kao što su natrijev alginat i pektin, stvaraju odbojne sile s negativno nabijenom fosfatnom skupinom krumpirovog škroba što dovodi do odgađanja želatinizacije škrobnih granula, a to rezultira nižom viskoznosti, a time i većim volumenom kruha zbog velike ekspanzije šupljina proizvoda. Osim u proizvodnji kruha i drugih pekarskih proizvoda, krumpirov škrob koristi se kao ljepilo za tapete, nalazi se u sastavu maski za lice, služi kao deterdžent te lijek za opekline i ubode insekata (Horstmann i sur., 2018).

Tijekom jednog istraživanja pokazalo se da upotreba kukuruznog škroba s visokim sadržajem amiloze i niskim sadržajem slobodne glukoze daje visokokvalitetni proizvodi koji bezglutenskom kruhu daje pahuljast izgled. Također, Ardent i Dal Bello (2008) ustanovili su da kombinacijom kukuruznog škroba i guar gume dolazi do povećanja modula elastičnosti. Korus i sur. (2009) navode kako dodatak kukuruznog škroba daje bezglutenskom kruhu manju čvrstoću sredine u odnosu na bezglutenske proizvode bez dodatka kukuruznog škroba. Osim u pekarskoj industriji i kulinarstvu, kukuruzni škrob ima primjenu u industriji dajući svojstvo lijepljenja, nalazi se u proizvodima od papira, u proizvodnji tekstila, a svoje djelovanje pronašao je i u medicini.

U proizvodnji pekarskih proizvoda, pa tako i u onih bez glutena, koristi se zdravstveno i mikrobiološki ispravna voda koja se prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće

(MDSS, 2008) definira kao sva voda koja je u svojem izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge kućanske namjene, neovisno o njenom porijeklu te neovisno o tome da li se isporučuje razvodnim mrežama, cisternama, bocama ili spremnicima kao i sva voda koju subjekti u poslovanju s hranom upotrebljavaju za proizvodnju, preradu, konzerviranje ili prodaju proizvoda ili stvari namijenjenih za konzumaciju ljudi. Voda je drugi najčešći sastojak u proizvodnji tijesta koji se odražava na kvalitetu krajnjeg proizvoda. Uglavnom se smatra da što je veća hidratacija, odnosno apsorpcija brašna, to je veći specifični volumen proizvoda. Stupanj hidratacije tijesta ovisi o vrsti i kvaliteti brašna, udjelu proteina i prehrambenih vlakana pa se tako proizvodima od pšeničnog brašna dodaje 50-70% vode na masu brašna, a pri proizvodnji bezglutenskih proizvoda na bazi rižinog brašna i do 90% (Monteiro i sur., 2021).

2.2.2. Dodatne i pomoćne sirovine

U proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena se, kao i kod pšeničnih proizvoda, dodaje čitav niz različitih dodatnih i pomoćnih sirovina. Gotovo svaka receptura sadrži kvasac, šećer i sol. Kvasci (*Saccharomyces cerevisiae*) na temperaturi 30-32 °C provode fermentaciju koja utječe na stvaranje volumena i poroznosti kruha. Prisutnost lipida može poboljšati stabilnost pora koje zadržavaju plin tijekom fermentacije što posljedično pozitivno utječe na kvalitetu kruha. Poznata su tri glavna načina djelovanja koji mogu utjecati na učinak pečenja: koncentracija na granici voda-plin, interakcije sa škrobom i interakcije s proteinima. Polarni lipidi mogu smanjiti površinsku napetost mjehurića plina u tijestu i pridonijeti njihovoj stabilizaciji što rezultira većim volumenom i pravilno raspoređenim šupljinama unutar sredine kruha. Kroz interakcije sa škrobom, emulgatori mogu produžiti svježinu proizvoda, produžiti mu rok trajanja te pozitivno utjecati na percepciju okusa. Nadalje, tijesta s mastima ili uljem daje homogeniji raspored šupljina u odnosu na tijesta bez dodatka lipida. Najznačajniji emulgator koji se koristi u pekarstvu je diacetil ester vinske kiseline (DATEM) koji uzrokuje značajno povećanje volumena. Unatoč pozitivnom utjecaju lipida, utjecaj na bezglutenske proizvode je manji nego u pšeničnom kruhu (Elgeti sur., 2015).

Budući da se u proizvodnji bezglutenskih proizvoda često koriste brašna s relativno niskim udjelom proteina, ali i škrobni preparati koji ne sadrže proteine, često se u recepturu dodaju različiti proteini kako bi se poboljšala kvalitativna, ali nutritivna svojstva proizvoda. Gallagher i

sur. (2003a; 2003b) ustanovili su da dodatak proteina sirutke u bezglutenski kruh na bazi rižinog brašna poboljšava volumen kruha i tamnjenje korice. S druge strane Schober i sur. (2005) tvrde da osim poboljšanja tamnjenja korice, dodatak obranog mlijeka u prahu u bezglutenske proizvode na bazi sirkova brašna i kukuruznog škroba slabi strukturu proizvoda što rezultira smanjenjem visine i kohezivnosti kruha. Mliječni proteini i laktoza se izbjegavaju kod proizvodnje kruha od sirka jer se sa škrobom natječu za vodu i prekidaju kontinuitet mreže škrobnog gela. Marco i Rosell (2008) smatraju kako dodatak proteina sirutke u rižino brašno utječe na povećanje viskoznosti. Formulacije bez glutena često se nadopunjuju i proteinima bjelanjka kako bi se poboljšala njihova kvaliteta. Dodatak proteina bjelanjka u kombinaciji s različitim hidrokolidima može značajno povećati volumen kruha i poboljšati njegovu poroznost (Crockett i sur., 2011).

Jedna od najznačajnijih sirovina u proizvodnji bezglutenskih pekarskih proizvoda su hidrokoloidi koji se dodaju u recepturu kako bi oponašali reološka svojstva glutena. Na taj način se poboljšavaju svojstva i struktura proizvoda, unapređuje stabilnost tijesta i izgled proizvoda, a mogu utjecati i na GI kruha te produljiti rok trajanja krajnjeg proizvoda odgađanjem retrogradacije škroba. Hidrokoloidi predstavljaju skupinu polisaharida topivih u vodi, imaju visoku molekularnu masu te hidrofilne dugolančane molekule. Dodatak hidrokoloida povećava viskoznost i inkorporaciju zraka u tijesto što rezultira stvaranju visokoelastične mreže koja poboljšava razvoj i zadržavanje plina tijekom fermentacije. Korištenje hidrokoloida ovisi o stupnju hidratacije i učinku temperature na hidrataciju jer se za većinu hidrokoloida viskoznost smanjuje povećanjem temperature. Klasificiraju se prema podrijetlu, a najznačajniji predstavnicu su ksantan guma, guar guma, psyllium, želatina i alginat. Nadalje, dodavanje hidrokoloida predstavlja jedan od najlakših načina za povećanje sadržaja vlakana u pekarskim proizvodima. Utjecaj hidrokoloida na kvalitetu kruha ovisi o količini upotrijebljenog hidrokoloida, vrsti brašna i dugih sastojaka, kao i interakcijama s ostalim komponentama (Culeta i sur., 2021).

Ksantan guma je egzocelularni polisaharid koji proizvodi mikroorganizam *Xanthomonas campestris* postupkom fermentacije. Lako se otapa u hladnoj i vrućoj vodi stvarajući viskozne, pseudoplastične otopine koje čak i pri niskim koncentracijama stvaraju visok stupanj viskoznosti. Sva ova svojstva čine ksantan gumu vrlo učinkovitim zgušnjivačem i stabilizatorom što u konačnom proizvodu osigurava dobru konzistenciju, pravilan oblik,

poboljšana senzorska svojstva te dugoročnu stabilnost (Feja i sur., 2018). Hidroksipropil metilceluloza (HPMC) je celulozni eter dobiven iz celuloze tretirane bazama koje reagiraju s metil kloridom i propilen oksidom (McCarthy i sur., 2005). Koristi se u pekarskim proizvodima u kojima se želi postići mekana sredina kruha, veći specifični volumen kruha, poboljšana senzorska svojstva te duži vijek trajanja (Bárcenas i Rosell, 2005; Collar i sur., 1998). Također, HPMC se dodaje pekarskim proizvodima jer smanjuje gubitak vlage, odnosno brzinu dehidracije (Rosell i sur., 2007). Nishita i sur. (1976) istraživanjem su utvrdili da hidrokoloidi, posebno HPMC tijestu od rižinog brašna osiguravaju visoku viskoznost koja utječe na zadržavanje fermentacijskih plinova te također poboljšava želatinizaciju škroba tijekom pečenja. Nekoliko hidrokoloida pokazalo se najučinkovitijim, no HPMC i ksantan guma najbolje oponašaju svojstva glutena te se stoga najviše upotrebljavaju. Karboksimetil celuloza (CMC) sadrži karboksimetil etersku skupinu u obliku natrijeve soli. Ima svojstva brze hidratacije i zgušnjavanja, ali ne stvara gel. Stvara filmove topive u vodi te stupa u interakciju s proteinima. Upotrebljava se u pripremi niskokaloričnih pečenih proizvoda, bilo pšeničnih ili bezglutenskih (Glicksman i sur., 1972). Kao hidrokolid može se koristiti i karagenan. Postoje tri osnovne vrste karagenana, a to su kapa, jota i lambda tip karagenana. Ova tri tipa najčešće su pomiješana međusobno uz dodatak kalijevih iona. Poznati su po tome što stupaju u interakciju s proteinima, utječu na hidrataciju, čvrstoću gela i viskoznost otopine. U interakciji s kapa kazeinom dovode do zgušnjavanja mliječnih proizvoda. Neka ispitivanja dokazala su da dodatak karagenana u bezglutenske proizvode pri koncentraciji većoj od 1% uzrokuje smanjenje kvalitete kruha te se zbog toga ne upotrebljavaju često u pekarskoj industriji (Dluzewska i sur., 2001).

U novije vrijeme često se umjesto klasičnih hidrokoloida u proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena dodaje psillyum ljuskice u prahu koji se dobiva mljevenjem omotača sjemena indijskog trputca (*Plantago psyllium* L.). Psyllium sadrži bioaktivna topiva vlakna koja se koriste kao zamjena za hidrokoloide zbog zadržavanja vode i stvaranje gela. Posjeduje visok kapacitet hidratacije te mogućnost stvaranja gela, a tijekom fermentacije zarobljava CO₂. Također je važan i u nutritivnom smislu jer povećava sadržaj prehrambenih vlakana i smanjuje GI kruha pa tako neka istraživanja pokazuju da dodatak 17,14% psylliuma u bezglutenskom kruhu od riže i škroba manioke smanjuje GI za 25% u usporedbi s kruhom bez dodatka psylliuma. Osim smanjenja GI-a, dodatak psylliuma poboljšava volumen, izgled i senzorska svojstva kruha,

dajući zadovoljavajuću teksturu bezglutenskog kruha što zadnjih godina rezultira sve češćom konzumacijom proizvoda na bazi psylliuma. Osim toga, psyllium ograničava pokretljivost vode i smanjuje retrogradaciju škroba što značajno doprinosi odgađanju starenja kruha, odnosno produženju njegove svježina (Culeta i sur., 2021).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i različitih omjera hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha, na kvalitetu kruha bez glutena te optimirati recepturu upotrebom metode odzivnih površina (engl. *Response Surface Methodology*, RSM).

3.2. MATERIJALI

U istraživanju su za proizvodnju kruha bez glutena korišteni rižino brašno Nutrigold (Galleria Internazionale d.o.o., Zagreb, Hrvatska), kukuruzni škrob Gustin (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka), koncentrat proteina sirutke WPC 80 (SFD Nutrition, Opole, Poljska), ksantan guma (Doves Farm Foods Ltd., Berkshire, UK), psyllium ljuskice u prahu (Nutrimedica d.o.o., Zagreb, Hrvatska), instant suhi pekarski kvasac (Dr. August Oetker KG, Bielefeld, Njemačka), suncokretovo ulje, sol i šećer.

3.3. METODE

3.3.1. Izrada plana pokusa laboratorijskog pečenja kruha bez glutena

Plan pokusa izrađen je korištenjem potpunog faktorskog plana s dvije nezavisne varijable na tri razine. Jedna ulazna varijabla bila je omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba, a druga omjer hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha. Ukupna masa rižinog brašna i kukuruznog škroba nije se mijenjala i iznosila je 200 g po jednoj vekni kruha. Ukupna količina hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha također je bila konstantna i iznosila je 10% na ukupnu količinu upotrijebljenog brašna i škroba (20 g). Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba kretao se od 50% do 100%, a udio psyllium praha u smjesi psylliuma i ksantan gume od 0% do 100%. Prema planu je provedeno ukupno dvanaest probnih pečenja uključujući tri ponavljanja centralne točke ($N = 3^2 + 3 = 12$) (**Tablica 1**). Izrada plana pokusa laboratorijskog pečenja kruha bez glutena provedena je uz pomoć statističkog programa Statistica (inačica

14.0.0.15, TIBCO Software Inc., Palo Alto, SAD).

3.3.2. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena

Sve sirovine predviđene recepturom (**Tablica 2**) stavljaju se u mješalicu i miješaju 2 min na manjoj te još 5 min na većoj brzini. Nakon zamjesa tijesto se dijeli na dva dijela, okruglo oblikuje, a nakon toga stanjuje valjkom za tijesto do debljine 6-8 mm te se rolanjem formiraju dvije veknice. Veknice se prenesu u kalup za pečenje i stavljaju u fermentacijsku komoru. Fermentacija se provodi 45 min pri 30 ± 1 °C i relativnoj vlažnosti $85 \pm 5\%$. Nakon fermentacije uzorci su se pekli 45 min (3 min na 200 °C te još 42 min na 180 °C). Nakon hlađenja od 1h provedene su ostale analize.

Tablica 1 Plan pokusa za probna pečenja prema potpunom faktorskom planu

Redni broj pokusa	Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba (kodirane vrijednosti)	Udio psyllium praha u smjesi psylliuma i ksantana (kodirane vrijednosti)	Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba (%)	Udio psyllium praha u smjesi psylliuma i ksantana (%)	Dodatak rižinog brašna (g/100 g)	Dodatak kukuruznog škroba (g/100 g)	Dodatak psyllium praha (g/100 g)	Dodatak ksantan gume (g/100 g)
1	-1	-1	50	0	50	50	0	10
2	-1	0	50	50	50	50	5	5
3	-1	1	50	100	50	50	10	0
4	0	-1	75	0	75	25	0	10
5	0	0	75	50	75	25	5	5
6	0	1	75	100	75	25	10	0
7	1	-1	100	0	100	0	0	10
8	1	0	100	50	100	0	5	5
9	1	1	100	100	100	0	10	0
10	0	0	75	5	75	25	5	5
11	0	0	75	5	75	25	5	5
12	0	0	75	5	75	25	5	5

Tablica 2 Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena

Sastojci	Masa (g/100 g)	Masa (g/400 g)
Smjesa rižinog brašna i kukuruznog škroba	100	400
Smjesa psyllium praha i ksantana	10	40
Proteini sirutke	5	20
Suhi kvasac	3	12
Ulje	5	20

Šećer	3	12
Sol	2	8
Voda	85	340

3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena

Za određivanje teksturalnog profila (TPA) kruha koristio se analizator teksture TA.XT2i (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK), a dobiveni podaci su analizirani s Texture Exponent 32 softverom (verzija 3.0.5.0.). Iz svakog uzorka kruha precizno su izrezane 4 šnite debljine 25 mm koje su podvrgnute dvostrukoj kompresiji uz upotrebu aluminijske cilindrične sonde P/36R promjera 36 mm. Brzina mjerenja iznosila je 1 mm/s, dubina prodiranja nastavka 40% (10 mm), a vrijeme zadržavanja između dvije kompresije 5 s. Iz dobivenih krivulja očitane su čvrstoća (N), adhezivnost (Ns), elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju (N) i koeficijent otpornosti.

Određivanje specifičnog volumena (cm^3/g) provedeno je metodom laserske topografije pomoću laserskog uređaja Volscan Profiler (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK) prema uputama proizvođača.

Boja presjeka (sredine) kruha mjerena je u CIELab sustavu kolorimetrom CR-400 (Konica Minolta, Japan). L^* vrijednost predstavlja svjetlinu i može se kretati u rasponu od 0 (crna) do 100 (bijela), a^* vrijednost predstavlja vektor između zelene i crvene boje (-128 to 127), a b^* vrijednost između plave i žute boje u (-128 to 127).

3.3.4. Određivanje senzorskih svojstava kruha bez glutena

Senzorsku ocjenu uzoraka kruha bez glutena proveo je panel od sedam ocjenjivača. Svi su bili studenti ili djelatnici Katedre za tehnologije prerade žitarica na Prehrambeno-tehnološkom fakultetu Osijek, i svi su imali prethodnog iskustva sa senzorskom analizom. Kriteriji za uključivanje ocjenjivača bili su nepostojanje zdravstvenih problema koji bi mogli utjecati na senzorsku procjenu (anozmiya, daltonizam i sl.). Panelisti su dobili kratki uvod kako bi im se pružio uvid u istraživanje i uzorke koji će se testirati. Za procjenu senzorskih svojstava korištena je hedonistička skala u 5 stupnjeva. Ocjene od 1 do 5 bile su: izrazito nepoželjan (1); umjereno nepoželjan (2); neutralan (3); umjereno poželjan (4); izrazito poželjan (5). Ocjenjivani su vanjski izgled, izgled sredine, miris i okus uzoraka kruha bez glutena. Za optimiranje recepture u obzir je uzeta ukupna senzorska ocjena koja predstavlja prosječnu

ocjenu prethodno navedenih senzorskih svojstava.

3.3.5. Optimiranje recepture za proizvodnju kruha bez glutena

Optimiranje recepture za proizvodnju kruha bez glutena provedeno je metodom odzivnih površina RSM gdje su kao odzivne varijable korišteni rezultati ispitivanja kvalitete kruha bez glutena (parametri teksture: čvrstoća, adhezivnost, elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju i koeficijent otpornosti; specifični volumen; parametri boje u CIELab sustavu i ukupna senzorska ocjena). Relacija između ulaznih nezavisnih i pojedinih izlaznih zavisnih varijabli definirana je pomoću regresijske analize, odnosno matematičkim modelom odzivnih površina tj. polinomom drugog stupnja:

(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,

X_2 - udio psyllium praha u smjesi,

ε - greška modela.

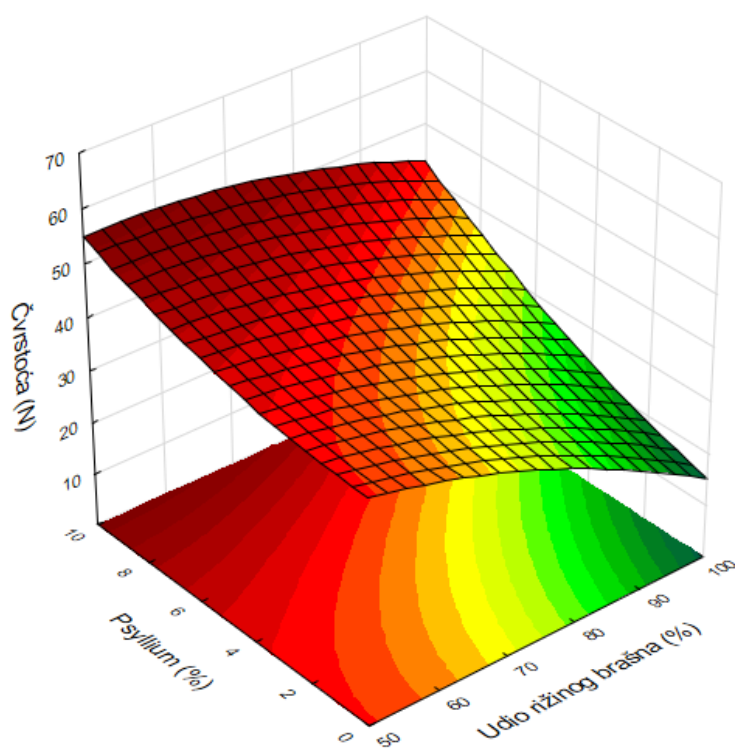
Statistička značajnost pojedinih regresijskih koeficijenata određena je analizom varijance (ANOVA) te je izražena preko p -vrijednosti. Vrednovanje matematičkih modela provedena je korištenjem koeficijenta determinacije R^2 . Na osnovi dobivenih matematičkih modela konstruirane su odzivne površine, odnosno 3D-dijagrami kojima se vizualno prikazuje utjecaj ispitivanih parametara na pojedine parametre kvalitete kruha bez glutena.

U završnom koraku određeni su optimalni udjeli rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba te optimalni udjeli psyllium praha u smjesi psylliuma i ksantan gume upotrebom funkcije poželjnosti (engl. *Desirability function*, D). Optimiranje je provedeno na način da su svi praćeni odzivi prevedeni u pojedinačne funkcije poželjnosti s vrijednostima

0 – 1, a njihova geometrijskoj sredina predstavljala je ukupnu funkciju poželjnosti. Optimiranje recepture za kruh bez glutena provedena je uz pomoć statističkog programa Statistica (inačica 14.0.0.15, TIBCO Software Inc., Palo Alto, SAD).

4. REZULTATI

4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA



Slika 1 Dijagram odzivne površine čvrstoće kruha bez glutena

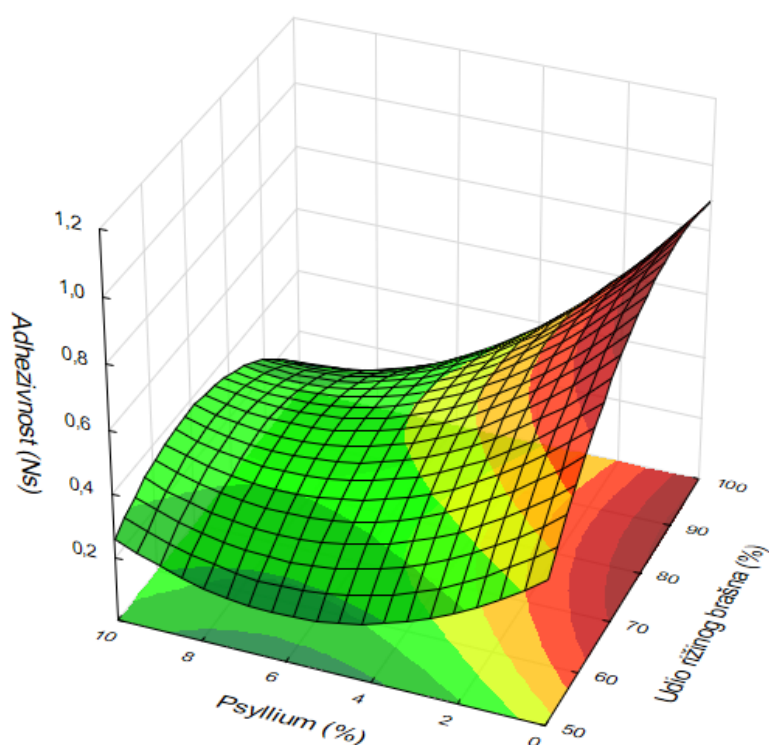
Tablica 3 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za čvrstoću kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižnog brašna	580,3	1	580,3	9,013	0,024*
	30,2	1	30,2	0,469	0,519
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	606,2	1	606,2	9,415	0,022*
	23,7	1	23,7	0,368	0,566

$X_1 \cdot X_2$	56,7	1	56,7	0,881	0,384
Pogreška	386,3	6	64,4		
Ukupno	1670,1	11			$R^2 = 0,769$

Model:

* $p < 0,05$



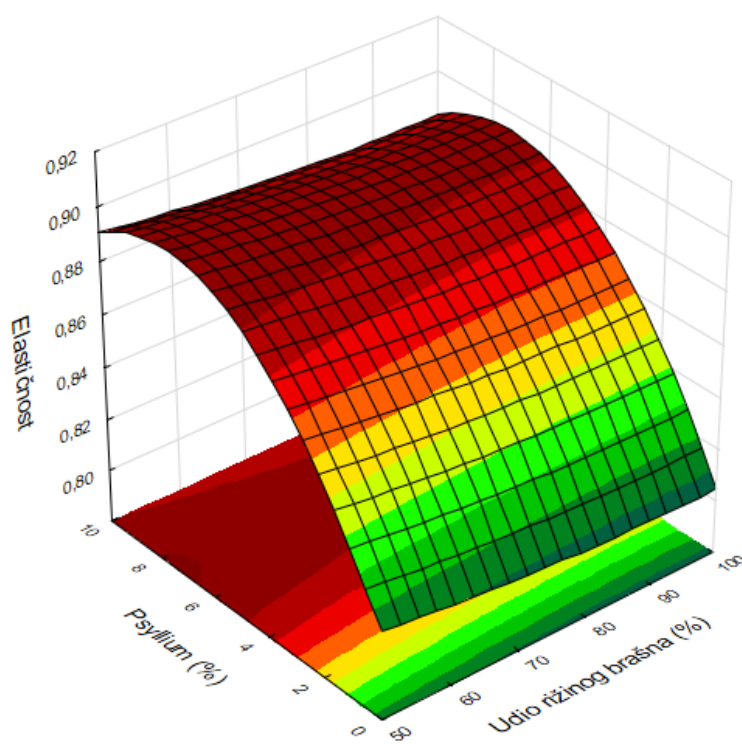
Slika 2 Dijagram odzivne površine adhezivnosti kruha bez glutena

Tablica 4 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za adhezivnost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,027	1	0,027	0,283	0,614
	0,092	1	0,092	0,963	0,364
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,369	1	0,369	3,875	0,097
	0,106	1	0,106	1,113	0,332
$X_1 \cdot X_2$	0,092	1	0,092	0,963	0,364
Pogreška	0,571	6	0,095		
Ukupno	1,206	11			$R^2 = 0,527$

Model:

* $p < 0,05$



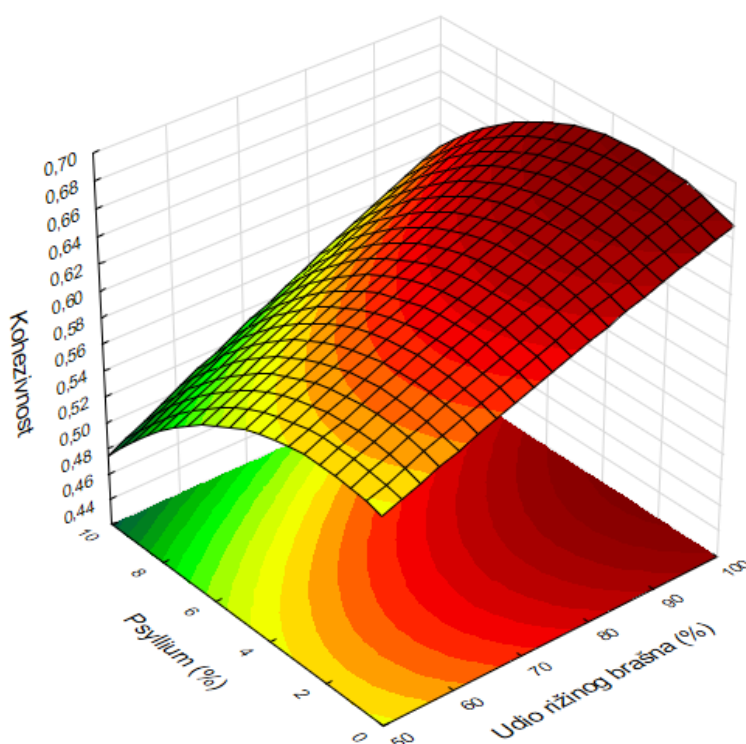
Slika 3 Dijagram odzivne površine elastičnosti kruha bez glutena

Tablica 5 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za elastičnost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,0001	1	0,0001	0,316	0,594
	0,0000	1	0,0000	0,048	0,834
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,0090	1	0,0090	27,805	0,002*
	0,0042	1	0,0042	12,876	0,012*
$X_1 \cdot X_2$	0,0000	1	0,0000	0,002	0,963
Pogreška	0,0019	6	0,0003		
Ukupno	0,0155	11			$R^2 = 0,875^*$

Model:

* $p < 0,05$



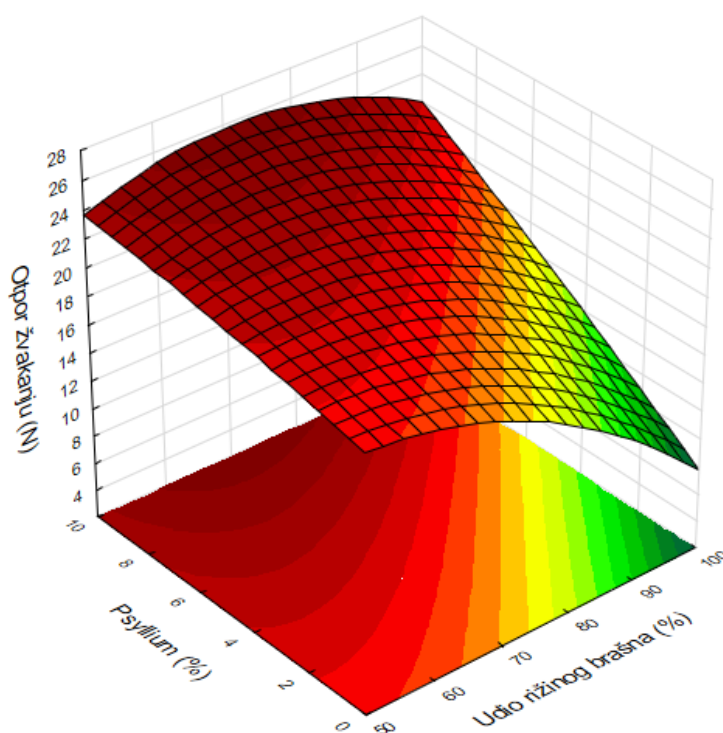
Slika 4 Dijagram odzivne površine kohezivnosti kruha bez glutena

Tablica 6 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za kohezivnost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,0184	1	0,0184	43,099	0,001*
	0,0000	1	0,0000	0,060	0,815
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,0106	1	0,0106	24,781	0,003*
	0,0047	1	0,0047	11,019	0,016*
$X_1 \cdot X_2$	0,0003	1	0,0003	0,760	0,417
Pogreška	0,0026	6	0,0004		
Ukupno	0,0374	11			$R^2 = 0,932^*$

Model:

* $p < 0,05$



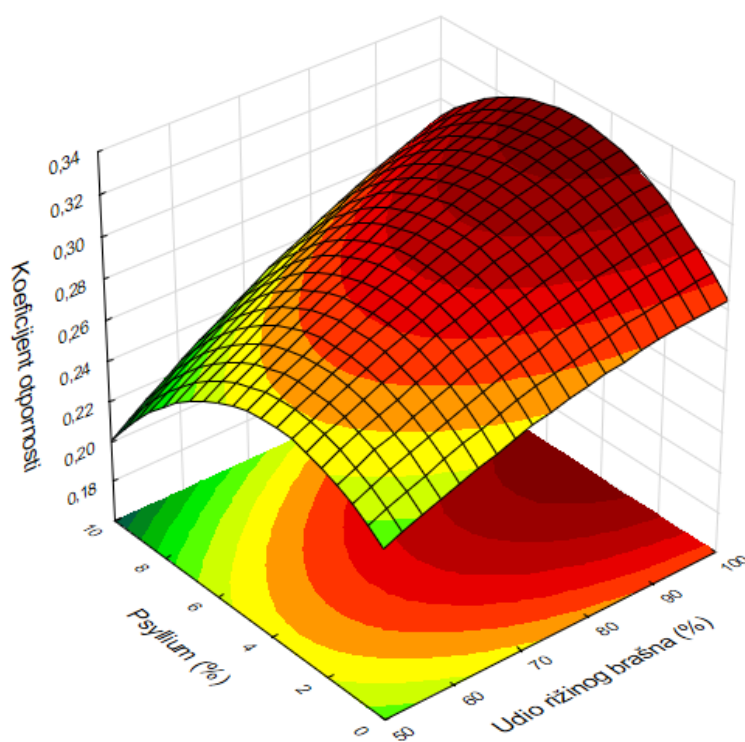
Slika 5 Dijagram odzivne površine otpora žvakanju kruha bez glutena

Tablica 7 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za otpor žvakanju kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	74,25	1	74,25	4,159	0,088
	21,05	1	21,05	1,179	0,319
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	117,94	1	117,94	6,606	0,042*
	0,37	1	0,37	0,021	0,890
$X_1 \cdot X_2$	29,67	1	29,67	1,662	0,245
Pogreška	107,11	6	17,85		
Ukupno	355,17	11			$R^2 = 0,698$

Model:

* $p < 0,05$



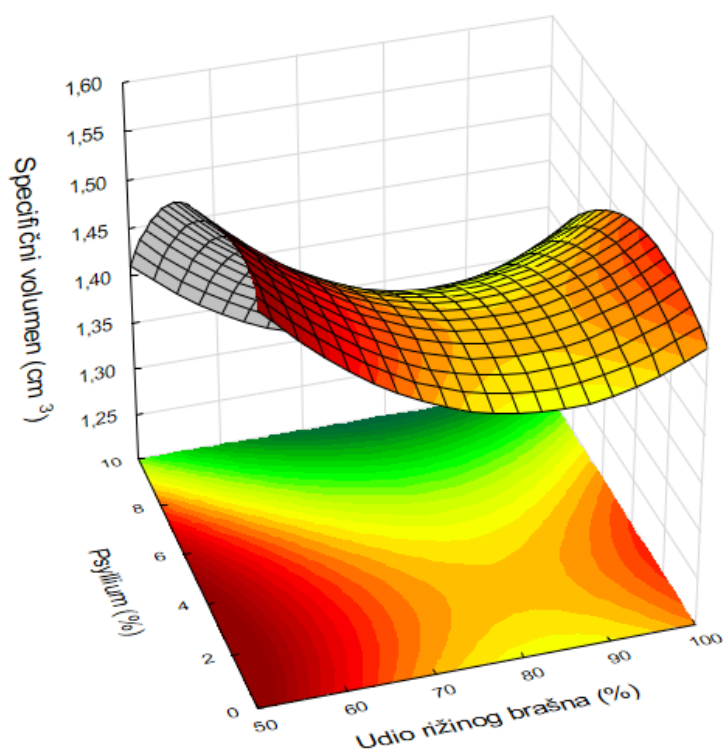
Slika 6 Dijagram odzivne površine koeficijenta otpornosti kruha bez glutena

Tablica 8 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za koeficijent otpornosti kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,0066	1	0,0066	33,270	0,001*
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,0002	1	0,0002	0,820	0,400
$X_1 \cdot X_2$	0,0004	1	0,0004	2,267	0,183
Pogreška	0,0043	1	0,0043	21,976	0,003*
Ukupno	0,0006	1	0,0006	3,174	0,125
	0,0012	6	0,0002		
	0,0145	11			$R^2 = 0,918^*$

Model:

* $p < 0,05$



Slika 7 Dijagram odzivne površine specifičnog volumena kruha bez glutena

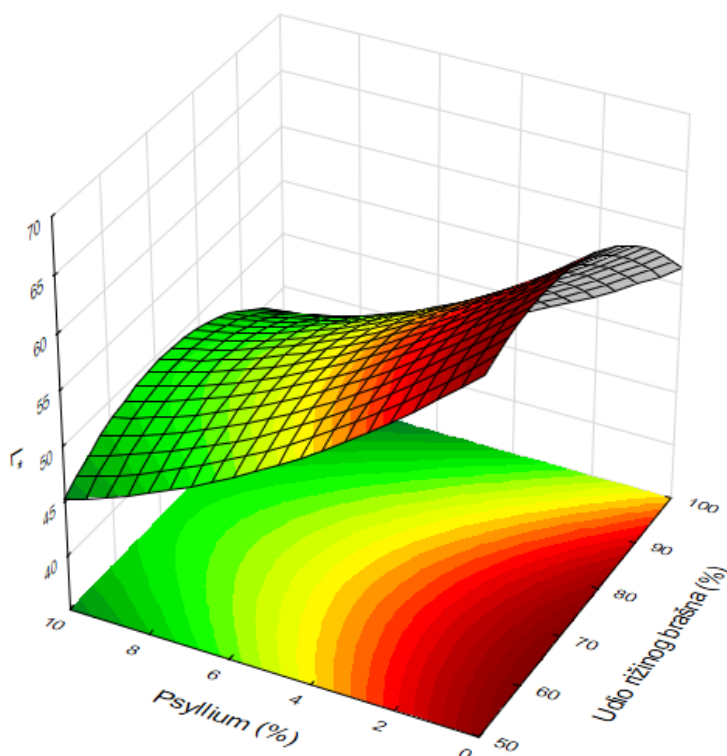
Tablica 9 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za specifični volumen kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,011	1	0,011	0,838	0,395
	0,020	1	0,020	1,476	0,270
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,040	1	0,040	2,978	0,135
	0,017	1	0,017	1,231	0,310
$X_1 \cdot X_2$	0,001	1	0,001	0,091	0,773
Pogreška	0,081	6	0,013		
Ukupno	0,160	11			$R^2 = 0,498$

Model:

* $p < 0,05$

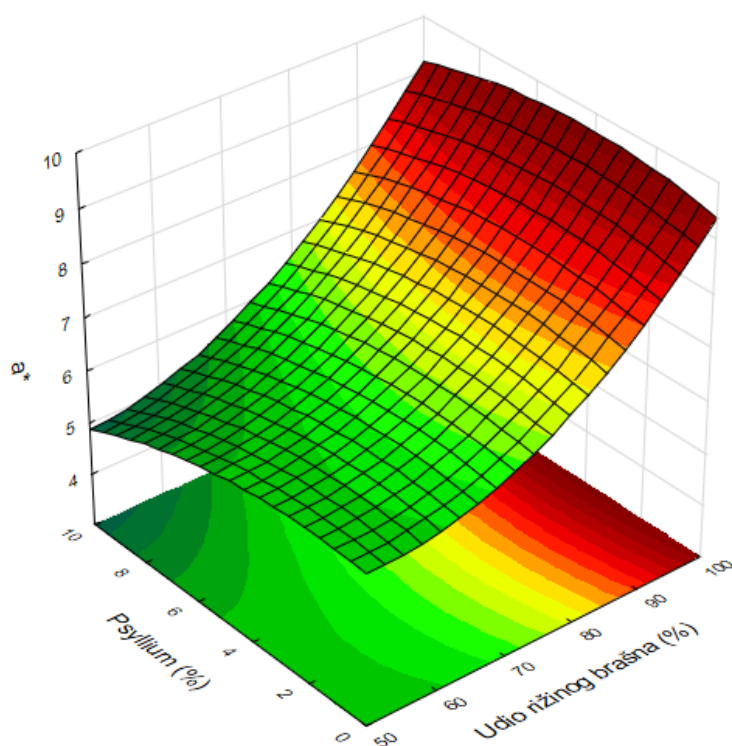
4.2. REZULTATI ISPITIVANJA BOJE I SENZORSKIH SVOJSTAVA

Slika 8 Dijagram odzivne površine za L^* vrijednost kruha bez glutenaTablica 10 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za L^* vrijednost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	64,03	1	64,03	4,190	0,087
	79,94	1	79,94	5,232	0,062
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	469,94	1	469,94	30,756	0,001*
	17,68	1	17,68	1,157	0,323
$X_1 \cdot X_2$	14,06	1	14,06	0,920	0,374
Pogreška	91,68	6	15,28		
Ukupno	721,32	11			$R^2 = 0,873^*$

Model:

* $p < 0,05$



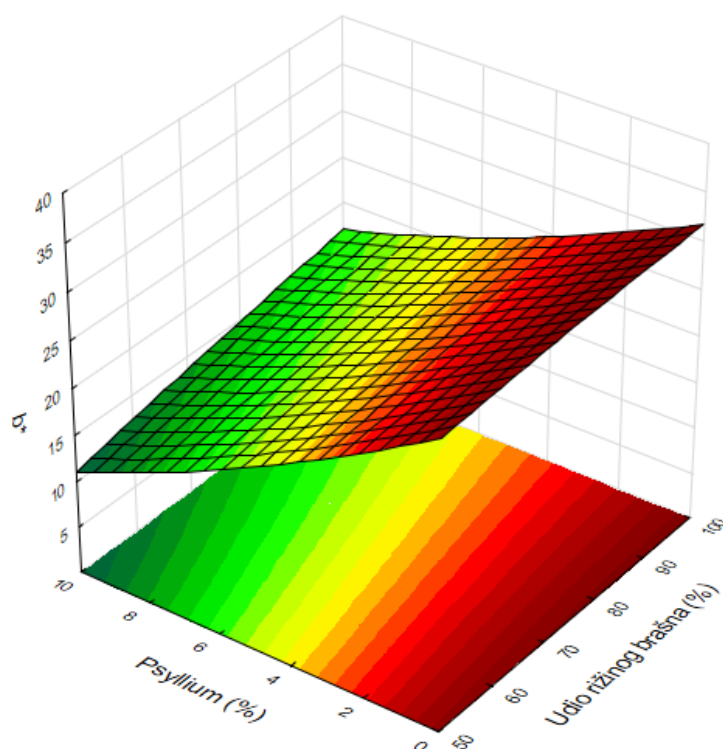
Slika 9 Dijagram odzivne površine za a^* vrijednost kruha bez glutena

Tablica 11 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za a^* vrijednost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	22,82	1	22,82	12,043	0,013*
	2,41	1	2,41	1,270	0,303
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,54	1	0,54	0,285	0,613
	0,43	1	0,43	0,225	0,652
$X_1 \cdot X_2$	0,16	1	0,16	0,084	0,781
Pogreška	11,37	6	1,89		
Ukupno	37,31	11			$R^2 = 0,695$

Model:

* $p < 0,05$



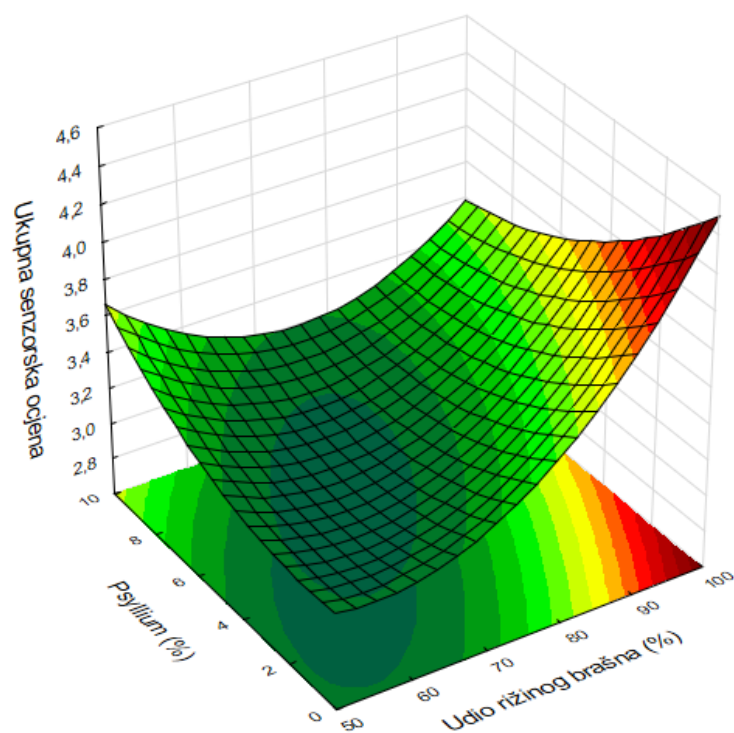
Slika 10 Dijagram odzivne površine za b^* vrijednost kruha bez glutena

Tablica 12 Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za b^* vrijednost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	20,54	1	20,54	3,115	0,128
	0,17	1	0,17	0,025	0,879
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	435,20	1	435,20	66,006	<0,001*
	3,53	1	3,53	0,535	0,492
$X_1 \cdot X_2$	5,76	1	5,76	0,874	0,386
Pogreška	39,56	6	6,59		
Ukupno	504,64	11			$R^2 = 0,922^*$

Model:

* $p < 0,05$



Slika 11 Dijagram odzivne površine za ukupnu senzorsku ocjenu kruha bez glutena

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

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
X_1 - udio rižinog brašna	0,626	1	0,626	9,163	0,023*
X_2 - udio psyllium praha u smjesi	0,492	1	0,492	7,211	0,036*
	0,053	1	0,053	0,772	0,413
	0,086	1	0,086	1,261	0,304
$X_1 \cdot X_2$	0,517	1	0,517	7,566	0,033*
Pogreška	0,410	6	0,068		
Ukupno	2,410	11			$R^2 = 0,830^*$

Model:

* $p < 0,05$

4.3. UVJETI OPTIMIRANJA RECEPTURE

Tablica 14 Tablica parametara za izradu funkcije poželjnosti

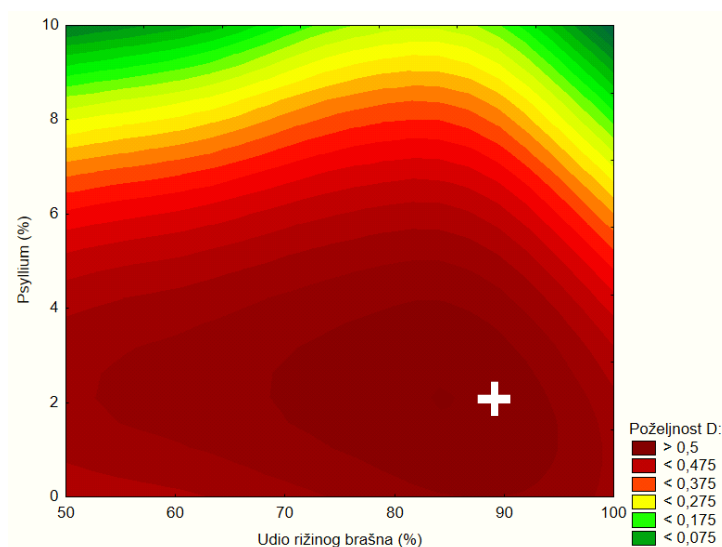
Odzivne varijable	Donja granica	Kod poželjnosti za donju granicu	Gornja granica	Kod poželjnosti za gornju granicu	Cilj
Čvrstoća (N)	14,6	1	55,3	0	Što manja
Adhezivnost (Ns)	0,07	1	1,34	0	Što manja
Elastičnost	0,79	0	0,90	1	Što veća
Kohezivnost	0,48	0	0,70	1	Što veća
Otpor žvakanju (N)	9,19	1	26,4	0	Što manji
Koeficijent otpornosti	0,20	0	0,34	1	Što veća
Specifični volumen (cm ³ /g)	1,25	0	1,69	1	Što veća
<i>L</i> *	43,4	0	69,2	1	Što veća
<i>a</i> *	4,70	1	10,0	0	Što manja
<i>b</i> *	11,2	0	32,3	1	Što veća
Ukupna senzorska ocjena	2,81	0	4,56	1	Što veća

Izračunata optimalna receptura:

92,87% rižinog brašna i 7,13% kukuruznog škroba

2,05% psyllium praha i 7,95% ksantan gume

Poželjnost $D = 0,588$



Slika 12 Dijagram funkcije poželjnosti

5. RASPRAVA

Prema planu pokusa prikazanom u **Tablici 1** provedena su probna pečenja te je ispitana kvaliteta uzoraka kruha bez glutena kako bi se optimirala receptura s obzirom na omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i s obzirom na omjer psyllium praha i ksantan gume. Udio rižinog brašna u smjesi rižinog brašna i kukuruznog škroba kretao se od 50% do 100%, a udio psyllium praha u smjesi psylliuma i ksantan gume od 0% do 100%. Ukupna masa rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i ukupna količina hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha bila je konstantna u svim uzorcima.

Na **Slikama 1-6** i u **Tablicama 3-8** prikazani su rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na teksturalne parametre kruha bez glutena metodom odzivnih površina. Iako model za čvrstoću kruha nije bio značajan ($R^2 = 0,769$), vidljiv je značajan linearan utjecaj promjene udjela rižinog brašna ($p = 0,024$), odnosno omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba u recepturi, kao i značajan utjecaj udjela psyllium praha u smjesi hidrokoloida ($p = 0,022$) (**Tablica 3**). Porastom udjela rižinog brašna linearno se smanjuje čvrstoća kruha, dok se porastom udjela psylliuma ona linearno povećava (**Slika 1**). Tako je najveću čvrstoću imao uzorak s 50% rižinog brašna i 10% psylliuma (55,3 N), a najmanju čvrstoću uzorak sa 100% rižinog brašna bez dodatka psylliuma (14,6 N). Ovi rezultati su u skladu s istraživanjem koje su proveli Fratelli i sur (2021) i Mancebo i sur. (2014) gdje je čvrstoća kruha bila značajno veća kod uzoraka s većim udjelom psyllium praha. Dobiveni model za adhezivnost, odnosno ljepljivost kruha, također nije bio statistički značajan. Nije utvrđena značajna ovisnost između primijenjene recepture i ovog svojstva kruha (**Slika 2, Tablica 4**). Iz dijagrama odzivne površine (**Slika 3**) vidljivo je da je na elastičnost kruha bez glutena značajno utjecao udio psyllium praha u smjesi. Dobiveni model relacije elastičnosti i ulaznih varijabli bio je statistički značajan ($R^2 = 0,875$), a značajan doprinos imali su i linearan ($p = 0,002$) i kvadratni član udjela psylliuma ($p = 0,012$) (**Tablica 5**). Povećanjem udjela psylliuma značajno se povećavala elastičnost kruha bez glutena. Najveću elastičnost (0,9) imao je uzorak s 10% psylliuma i 50% rižinog brašna. Svako povećanje elastičnosti kod kruha i sličnih proizvoda je poželjno i upravo se psyllium prah pokazao kao izvrsno sredstvo kojim se to može postići.

Na kohezivnost, koja u osnovi predstavlja snagu unutrašnjih veza potrebnih da zadrže uzorak koherentnim pri deformaciji te se tako može smatrati pokazateljem mrvljivosti kruha, značajno je utjecala promjena udjela rižinog brašna, kao i promjena udjela psyllium praha. Iz **Slike 4** vidljivo je da veći udio rižinog brašna ima pozitivan utjecaj na kohezivnost kruha bez glutena, dok je porastom udjela psylliuma kohezivnost prvo rasla, da bi nakon dostizanja maksimuma opet opadala povećanjem udjela psylliuma. Dobiveni model ovisnosti kohezivnosti o promjeni udjela rižinog brašna i psylliuma bio je statistički značajan ($R^2 = 0,932$), a značajan doprinos imali su i linearan ($p = 0,003$) i kvadratni član udjela psylliuma ($p = 0,016$), kao i linearni član udjela rižinog brašna u smjesi ($p = 0,001$) (**Tablica 6**). Bolji utjecaj psylliuma na kohezivnost kruha bez glutena u odnosu na utjecaj ksantan gume utvrdili su u svom istraživanju i Belorio i Gomez (2020). Utjecaj rižinog brašna na kohezivnost kruha bez glutena potvrđen je i u istraživanju u kojem se ispitivao utjecaj vrste brašna, odnosno škroba, i zaključeno je da rižino brašno ima veći doprinos povećanju kohezivnosti i smanjenju čvrstoće kruha od kukuruznog škroba, vjerojatno zbog prisutnosti proteina riže u brašnu (Martínez i Gómez, 2017). Dobiveni model ovisnosti otpora žvakanju nije bio statistički značajan ($R^2 = 0,698$), iako se može vidjeti da se porastom udjela psylliuma on, kao i u slučaju čvrstoće kruha bez glutena, linearno povećava (**Slika 5, Tablica 7**). Koeficijent otpornosti, koji je definiran omjerom površine ispod krivulje tijekom prve dekompresije i površine ispod krivulje tijekom prve kompresije uzorka pri analizi teksturalnog profila, u značajnoj mjeri je bio ovisan o udjelima rižinog brašna i psylliuma u recepturi. Vidljiva je linearna ovisnost koeficijenta otpornosti o udjelu rižinog brašna ($p = 0,001$), kao i o udjelu psylliuma, ali je ta ovisnost odgovarala je kvadratnom modelu ($p = 0,003$) (**Slika 6, Tablica 8**). Rezultati ispitivanja teksturalnog profila su pokazali kako se psyllium zbog svojih svojstava (apsorpcija vode, formiranje gela i učvršćenje strukture) može uspješno koristiti kao zamjena za uobičajene hidrokoloidne, a na taj način se istovremeno može povećati nutritivna vrijednost proizvoda budući da psyllium prah sadrži značajne količine prehrambenih vlakana (Filipčev i sur., 2021).

Specifični volumen uzoraka kretao se od $1,25 \text{ cm}^3/\text{g}$ za kruh s dodatkom 100% rižinog brašna i 10% psyllium praha, do $1,68 \text{ cm}^3/\text{g}$ za uzorak s 50% rižinog brašna bez dodatka psylliuma. Promjene udjela rižinog brašna i psylliuma nisu pokazale statistički značajan utjecaj na specifični volumen kruha bez glutena ($R^2 = 0,498$) (**Slika 7, Tablica 9**). Bez obzira na različite recepture, može se primijetiti da je specifični volumen svih uzoraka kruha bez glutena bio

poprilično mali, što se može pripisati velikoj ukupnoj količini hidrokoloida i/ili premaloj količini dodane vode.

Rezultati ispitivanja utjecaja različitih receptura na parametre boje kruha bez glutena metodom odzivnih površina prikazani su na **Slikama 8-10** i u **Tablicama 10-12**. Vidljivo je da je najveći utjecaj na svjetlinu uzoraka imao dodatak psyllium praha (Slika 8) što je i potvrđeno modelom odzivnih površina ($R^2 = 0,498$). Primjetan je linearan utjecaj dodatka psyllium praha na svjetlinu L^* koja je opadala povećanjem udjela psylliuma u smjesi. Najtamniji su bili uzorci s dodatkom 10% psylliuma i 100% rižinog brašna (43,4), a najsvjetliji s 50% rižinog brašna bez dodanog psyllium praha (65,7) (**Slika 8, Tablica 10**). Tamnija boja kruha s dodatkom psylliuma utvrđena je i u drugim istraživanjima (Fratelli i sur., 2018). Udio rižinog brašna imao je značajan utjecaj na a^* kromatsku komponentu kruha bez glutena ($p = 0,013$) pri čemu se ona povećanjem udjela rižinog brašna pomicala prema pozitivnim vrijednostima, odnosno crvenijim tonovima (**Slika 9, Tablica 11**). Dodatak psyllium praha je osim na svjetlinu značajno utjecao i na b^* komponentu boje ($p < 0,001$) uz vrlo dobru uspješnost aproksimacije regresijskog modela odzivnih površina ($R^2 = 0,922$) (**Slika 10, Tablica 12**). Povećanjem udjela psylliuma b^* vrijednosti su se smanjivale, odnosno pomicale više prema plavim tonovima, a ovi rezultati instrumentalnog određivanja boje potvrđeni su i senzorskom analizom pri kojoj je vrlo lako bila uočljiva pomalo ljubičasta boja uzoraka koji su sadržavali psyllium prah.

Ukupna senzorska ocjena u najvećoj je mjeri ovisila o udjelu rižinog brašna u smjesi, a dobiveni regresijski model bio je statistički značajan ($R^2 = 0,830$). Povećanjem udjela rižinog brašna u smjesi značajno je rasla i senzorska ocjena, a značajan doprinos imali su i linearan ($p = 0,003$) i kvadratni član udjela rižinog brašna ($p = 0,016$), kao i interakcija linearnih članova modela ($p = 0,001$) (**Slika 11, Tablica 13**).

U završnom koraku provedeno je optimiranje recepture na način da su sve praćene odzivne varijable prevedene u pojedinačne funkcije poželjnosti s vrijednostima 0-1, gdje je 0 predstavljala najmanju, a 1 najveću poželjnost određenog svojstva. Tako su čvrstoća, adhezivnost, otpor žvakanju i a^* komponenta boje kodirane na način da je najmanjim izmjerenim vrijednostima dodijeljena poželjnost 1, a najvećim poželjnost 0. Elastičnost, kohezivnost, koeficijent otpornosti, specifični volumen, L^* i b^* vrijednosti te ukupna senzorska ocjena kodirani 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 kruha bez glutena sadrži 92,87% rižinog brašna i 7,13% kukuruznog škroba te 2,05% psyllium praha i 7,95% ksantan gume uz poželjnost 0,588 (**Slika 12, Tablica 14**). Fratelli i sur. (2018) utvrdili su da je optimalna količina dodatka psyllium praha u recepturi za kruh bez glutena 2,86%, a količina vode 82,14% na masu brašna, ali oni nisu kao i mi u svojoj recepturi koristili istovremeno i ksantan gumu.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti da kvalitativna svojstva kruha bez glutena značajno ovise o omjeru rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i o omjeru psyllium praha i ksantan gume u recepturi. Povećanjem udjela rižinog brašna smanjuju se čvrstoća i otpor žvakanju, a povećava kohezivnost i koeficijent otpornosti kruha bez glutena. Dodatkom psyllium praha povećavaju se čvrstoća, otpor žvakanju, elastičnost i kohezivnost kruha bez glutena. Boja kruha u najvećoj mjeri ovisi o udjelu psylliuma u recepturi na način da povećanjem njegovog udjela kruh postaje značajno tamniji i poprima ljubičasti ton boje. Rižino brašno i psyllium prah imaju pozitivan utjecaj na ukupnu senzorsku ocjenu. Optimalna receptura za proizvodnju kruha bez glutena sadrži 92,87% rižinog brašna i 7,13% kukuruznog škroba te 2,05% psyllium praha i 7,95% ksantan gume.

7. LITERATURA

- Alvarez-Jubete L, Arendt EK, Gallagher E: Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional glutenfree ingredients. *Trends in Food Science & Technology* 21: 106-113, 2009.
- Anupama Rathnayake H, Navaratne S, Navaratne C: Effect of Process Variables on Rice Flour Functional. *Food Technology and Biotechnology* 60(1):90-108, 2022.
- Aoki, N., Kataoka, T., Nishiba, Y: Crucial role of amylose in the rising of gluten- and additive-free rice bread. *Journal of Cereal Science* 92, 102-905, 2020.
- Belorio M, Gómez M: Effect of Hydration on Gluten-Free Breads Made with Hydroxypropyl Methylcellulose in Comparison with Psyllium and Xanthan Gum. *Foods* 9(11):1548, 2020.
- Collar C, Armero E, Martinez JC: Lipid binding of formula bread doughs. *AGRIS* 207:110-121, 2013.
- Crockett R, Le P, Vodovotz Y: Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry* 129:84-91, 2011.
- Culeta A, Duta DE, Papageorgiou M, Varzakas: The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Index. *Foods* 10(12):3121, 2021.
- Dluzewska E, Marciniak K, Dojczew D: Gluten-free bread concentrates with added selected hydrocolloids. *Zywnosc* 8: 57-67, 2001.
- Elgeti D, Bernauer S, Jekle M, Becker, T: *Lipids in gluten-free bread*. Technische Universität München, Freising, 2015.
- Elke KA, Dal Bello F: *Gluten-free cereal products and beverages*. Science Direct, Ireland, 2008.
- Feja M, Cortines J, Kessler A: *Xanthan Gum i gluten-free bread*. Jungbunzlauer, Basel, 2018.
- Filipčev B, Pojić M, Šimurina O, Mišan A, Mandić, A: Psyllium as an improver in gluten-free breads: Effect on volume, crumb texture, moisture binding and staling kinetics. *LWT -Food Science and Technology* 151:112-156, 2021.

- Fratelli C, Muniz D, Garcia dos Santos F, Capriles, V: Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of Functional Foods* 42: 339-345, 2018.
- Fratelli C, Santos FG, Muniz DG, Habu S, Braga ARC, Capriles VD: Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread. *Foods* 10(5):954, 2021.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK: Crust and Crumb Characteristics of Gluten Free Breads. *Journal of Food Engineering* 56:153-161, 2003.
- Gallagher E, Kunkel A, Gormley TR, Arendt EK: The effect of dairy and rice powder addition on loaf on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology* 218:44-48, 2003.
- Glicksman M, Farkas EH, Carter S: Low calorie yeast leavened baked products. *United States Patent Office* 3:150-676, 1972.
- Horstmann SW, Axel C, Arendt, EK: Water absorption as a prediction tool for the application of hydrocolloids in potato starch-based bread. *Food Hydrocolloids* 81:129-138, 2018.
- Kayashita J, Shimaoka I, Nakajyuh M: Hypocholesterolemic effect of buckwheat protein extract in rats fed cholesterol enriched diets. *Nutrition Research* 15(5):691-698, 1995.
- Klapec T, Šarkanj B, Marček T: *Opasnosti vezane uz hranu*, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2021.
- Korus J, Witczak M, Rafal Z, Juszczak L: The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids* 23:995-998, 2009.
- Liu, Z., Ishikawa, W., Huang, X. et al.: A buckwheat protein product suppresses 1,2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats by reducing cell poliferation. *The Journal of Nutrition* 131(6):1850-1853, 2001.
- Mancebo C, Miguel M, Martinez M, Gómez, M: Optimisation of rheological properties of gluten-free doughs with HPMC, psyllium and different levels of water. *Journal of Cereal Science* 61:8-15, 2014.

- Marco C, Rosell, CM: Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties. *Journal of Food Engineering* 84:132-139, 2008.
- Martínez MM, Gómez M: Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering* 197:78-86, 2017.
- McCarthy DF, Gallagher E, Gormley TR, Schorber TJ, Arendt EK: Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry* 82(5):609-615, 2005.
- MDSS, Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi RH: *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće*, Narodne novine 46/07, 2008.
- Monteiro JS, Farage P, Zandonadi RP, Botelho RBA, de Oliveira L de L, Raposo A, Shakeel F, Alshehri S, Mahdi WA, Araújo WMC: A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods* 10(3):614, 2021.
- Nishita KD, Roberts RL, Bean MM, Kennedy BM: Development of a yeast leavened ricebread formula. *Cereal Chemistry* 53:626-635, 1976.
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: Poremećaji povezani s glutenom. *Medicina fluminensis* 55(1):53-58, 2019.
- Rosell CM, Collar C, Haros M: Assessment of hydrocolloid effects on thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids* 21(3):452-462, 2007.
- Rosell CM, Rojas JA, Benedito de Barber, C: Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids* 15, 75-81, 2001.
- Sakač, M., Pestorić, M., Mišan, A., Nedeljković, N., Jambrec, D., Jovanov, P., Banjac, V., Torbica, A., Hadnađev, M., Mandić, A: Antioxidant Capacity, Mineral Content and Sensory Properties of Gluten-Free Rice and Buckwheat Cookies. *Food Technology & Biocethnology* 53:38-47, 2015.
- Simić, M., Žilić, S: Proteini pšenice sa tehnološkog, nutritivnog i zdravstvenog aspekta. *Hrana i ishrana* 59:68-73, 2018.

Torbica A, Hadnađev M, Dapčević T: Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids* 24:626-632, 2010.

Žilić, S., Hadži-Tašković Šukalović, V., Milašinović, M., Ignjatović-Micić, D., Maksimović, M., Semenčenko, V: Effect of Micronisation on the Composition and Properties of the Flour from White, Yellow and Red Maize. *Food Technology and Biotechnology* 48(2):198-206, 2010.