

# Određivanje poroznosti sredine kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba računalnom analizom slike

---

**Keresturi, Sandi**

**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:109:712122>

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

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

REPOZITORIJ

**PTFS**

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**

**Sandi Keresturi**

**ODREĐIVANJE POROZNOSTI SREDINE KRUHA BEZ GLUTENA NA BAZI  
RIŽINOG BRAŠNA I KUKURUZNOG ŠKROBA RAČUNALNOM  
ANALIZOM SLIKE**

**DIPLOMSKI RAD**

**Osijek, rujan, 2022.**

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA  
DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek  
Zavod za Prehrambene tehnologije  
Katedra za Tehnologije prerade žitarica  
Franje Kuhača 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. Daliborka Koceva Komlenić

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

Pomoć pri izradi: Ana Šušak dipl. ing.

**Određivanje poroznosti sredine kruha bez glutena na bazi rižinog brašna i kukuruznog škroba računalnom analizom slike**

*Sandi Keresturi, 0113136237*

**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 izgled sredine kruha (boja, poroznost), teksturu i specifični volumen kruha bez glutena. Probna pečenja su provedena prema planu pokusa koji je kreiran prema potpunom faktorskom planu. Udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom kretao se od 50 do 100%, a udio psylliuma u smjesi sa ksantan gumom od 0 do 100%. Na pečenim uzorcima kruha bez glutena provedena je analiza teksturalnog profila, određen je specifični volumen, a računalnom analizom slike određen je broj šupljina, njihova prosječna veličina i udio u ukupnoj površini te parametri boje u CIELab sustavu. Rezultati istraživanja pokazali su da se povećanjem udjela rižinog brašna smanjuje čvrstoća kruha, dok se povećanjem količine psylliuma u recepturi ona povećava, ali se istovremeno povećava i elastičnost. Broj šupljina značajno se povećavao rastom udjela psyllium praha, dok količina rižinog brašna nije imala značajan utjecaj na broj šupljina. Prosječna veličina šupljina rasla je povećanjem udjela rižinog brašna, a smanjivala se pri većim udjelima psyllium praha. Receptura za proizvodnju kruha je optimirana s obzirom na broj šupljina i njihovu prosječnu veličinu upotrebom metode odzivnih površina. Izračunato je da optimalna receptura za proizvodnju kruha bez glutena sadrži 100% rižinog brašna uz dodatak 5,42% psyllium praha i 4,58% ksantan gume (računato na ukupnu masu brašna).

**Ključne riječi:** poroznost, kruh bez glutena, računalna analiza slike, rižino brašno, psyllium

**Rad sadrži:** 45 stranica  
16 slika  
9 tablica  
0 priloga  
42 literaturne reference

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

- |    |  |               |
|----|--|---------------|
| 1. | prof. dr. sc. Ana Bucić-Kojić            | predsjednik   |
| 2. | prof. dr. sc. Daliborka Koceva Komlenić  | član-mentor   |
| 3. | izv. prof. dr. sc. Jasmina Lukinac Čačić | član-komentor |
| 4. | prof. dr. sc. Marko Jukić                | 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 Tehnology**  
**Subdepartment of Cereal Processing Tehnologies**  
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: Daliborka Koceva Komlenić, PhD, prof.

Co-mentor: Jasmina Lukinac Čačić, PhD, associate prof.

Technical assistance: Ana Šušak Mag. ing.

### **Determination of Porosity of Gluten-Free Bread Crumb Made with Rice Flour and Corn Starch Using Image Analysis**

*Sandi Keresturi, 0113136237*

**Summary:** The aim of this study was to investigate the effects of adding rice flour and corn starch in different proportions, as well as different ratios of xanthan gum and psyllium husk powder on bread crumb appearance (color, porosity), texture, and specific volume of gluten-free bread. The baking trials were conducted according to the experimental design, which was based on the full factorial design. The proportion of rice flour in the mixture with corn starch ranged from 50 to 100% and the proportion of psyllium in the mixture with xanthan gum ranged from 0 to 100%. Texture profile analysis was performed as well as determination of the specific volume of the bread. In addition, the number of cells, the average size and area of the cells, and the CIELab color parameters were determined by computer image analysis. The results of the study showed that increasing the rice flour content decreased the firmness of the bread, while increasing the psyllium content in the formulation increased it, but at the same time improved elasticity. The cell count increased significantly with the increase in the proportion of psyllium powder, while the amount of rice flour had no significant effect on the cell count. The average cell size increased with higher proportion of rice flour and decreased with higher proportion of psyllium powder. The bread baking recipe was optimized for cell number and average cell size using response surface methodology. It was calculated that the optimal recipe for the production of gluten-free bread contains 100% rice flour with the addition of 5.42% psyllium powder and 4.58% xanthan gum (calculated on the total mass of flour).

**Key words:** porosity, gluten-free bread, digital image analysis, rice flour, psyllium

**Thesis contains:** 45 pages  
16 figures  
9 tables  
0 supplements  
42 references

**Original in:** Croatian

Defense committee:

- |    |   |               |
|----|---|---------------|
| 1. | Ana Bucić-Kojić, PhD, prof.                 | chair person  |
| 2. | Daliborka Koceva Komlenić, PhD, prof.       | supervisor    |
| 3. | Jasmina Lukinac Čačić, PhD, associate prof. | co-supervisor |
| 4. | Marko Jukić, PhD, 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.

Diplomski rad je izrađen u okviru projekta Hrvatske zaklade za znanost "Razvoj održivog integriranog procesa proizvodnje biološki aktivnih izolata iz proizvodnih ostataka prehrambene industrije" (POPI-WinCEco) (IP-2018-01-1227)

*Veliko hvala svim djelatnicima Katedre za tehnologije prerade žitarica.*

*Također, zahvaljujem svojim prijateljima i prijateljicama, koji su bili uz mene tijekom studiranja i u onim najtežim trenucima, bez njih ništa ne bi bilo isto.*

*I na kraju, najveću zaslugu dugujem svojim roditeljima i bratu, koji su mi omogućili studiranje i uvijek bili uz mene od samoga početka. Sve što sam postigao dosad najviše dugujem njima.*

*Veliko hvala svima!*

# Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. POREMEĆAJI KOJE UZROKUJE GLUTEN.....	4
2.2. Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena.....	5
2.2.1. Glavne sirovine.....	5
2.2.2. Dodatne i pomoćne sirovine.....	7
2.3. RAČUNALNI VID I ANALIZA SLIKE.....	9
2.3.1. Algoritmi računalnog vida.....	9
2.3.2. Postupak digitalne obrade i analize slike.....	10
2.3.3. Segmentacija slike.....	11
2.3.4. Programi za računalnu obradu i analizu slike.....	14
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	17
3.1. ZADATAK.....	18
3.2. MATERIJALI.....	18
3.3. METODE.....	18
3.2.1. Plan pokusa pečenja kruha bez glutena u laboratorijskim uvjetima.....	18
3.3.2. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena.....	19
3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena.....	20
3.3.4. Optimiranje recepture za proizvodnju kruha bez glutena.....	23
4. REZULTATI.....	25
4.1. REZULTATI ISPITIVANJA FIZIKALNIH SVOJSTAVA.....	26
4.2. OPTIMIRANJE RECEPTURE KRUHA BEZ GLUTENA.....	29
4.3. KORELACIJE PARAMETARA POROZNOSTI I KVALITATVNIH SVOJSTAVA KRUHA BEZ GLUTENA.....	32
5. RASPRAVA.....	37
6. ZAKLJUČCI.....	41
7. LITERATURA.....	43

## Popis slika

Slika 1. Koraci u procesu računalne obrade i analize slike .....	10
Slika 2. Histogram boje na slici .....	12
Slika 3. Izgled glavnog menija programa ImageJ.....	14
Slika 4. Primjena algoritma Color Histogram u ImageJ-u .....	15
Slika 5. Izgled glavnog menija programa MATLAB .....	15
Slika 6. Analiza boje sredine kruha računalnom analizom slike .....	22
Slika 7. Analiza sredine kruha računalnom analizom slike .....	22
Slika 8. Postupak izdvajanja šupljina računalnom analizom slike .....	23
Slika 9. Dijagram odzivne površine za broj šupljina kruha bez glutena .....	29
Slika 10. Dijagram odzivne površine za prosječnu veličinu šupljina kruha bez glutena.....	30
Slika 11. Dijagram funkcije poželjnosti.....	31
Slika 12. Korelacija između čvrstoće i parametara poroznosti kruha bez glutena.....	32
Slika 13. Korelacija između elastičnosti i parametara poroznosti kruha bez glutena.....	33
Slika 14. Korelacija između kohezivnosti i parametara poroznosti kruha bez glutena.....	34
Slika 15. Korelacija između otpora žvakanju i parametara poroznosti kruha bez glutena .....	35
Slika 16. Korelacija između specifičnog volumena i parametara poroznosti kruha bez glutena .....	36

## Popis tablica

Tablica 1. Plan pokusa za probna pečenja prema potpunom faktorskom planu.....	19
Tablica 2. Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena .....	19
Tablica 3. Postavke skenera pri akviziciji slike uzoraka kruha bez glutena .....	21
Tablica 4. Rezultati određivanja poroznosti kruha bez glutena .....	26
Tablica 5. Rezultati analize teksturalnog profila i specifičnog volumena kruha bez glutena.....	27
Tablica 6. Rezultati određivanja boje sredine kruha bez glutena .....	28
Tablica 7. Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za broj šupljina kruha bez glutena .....	29
Tablica 8. Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za prosječnu veličinu šupljina vrijednost kruha bez glutena.....	30
Tablica 9. Tablica parametara za izradu funkcije poželjnosti.....	31



## **1. UVOD**

Povijesno gledano, kruh je najvažnija prehrambena namirnica. Od davnina igra značajnu ulogu u povijesti čovječanstva. Danas se kruh priprema od raznih vrsta brašna i vode, koji su glavne sirovine. Dodatne sirovine su kvasac i sol, a dodaju se razni dodaci i aditivi za poboljšanje nutritivne ili tehnološke kvalitete. Dok većina ljudi rado jede kruh i druge pekarske proizvode, postoje oni koji pate od celijakije, alergije na pšenicu ili necelijakične osjetljivosti na gluten. Glijadin i glutenin, koji se nalaze u pšenici, čine gluten, a fragmenti glijadina uzrokuju celijakiju. Najčešći simptomi autoimune bolesti su gastrointestinalni (bol, proljev, nadutost) i iscrpljenost, anemija i osteoporoza kao posljedica malapsorpcije hranjivih tvari. Zbog toga oboljeli ne bi trebali konzumirati kruh i pekarske proizvode koji sadrže pšenicu, ječam, raž, zob i njihove hibride, ali bi trebali konzumirati kruh i proizvode od bezglutenskog brašna (bademovo, heljdino, konopljino, kukuruzno, rižino i dr.). Problem je što su bezglutenski proizvodi manje kvalitetni, a u pekarskoj industriji još uvijek ne postoji supstanca koja može u potpunosti zamijeniti gluten.

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 izgled sredine kruha (boja, poroznost), ali i na ostale pokazatelje kvalitete kruha bez glutena poput teksture i specifičnog volumena.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. POREMEĆAJI KOJE UZROKUJE GLUTEN

Frakcije glutenina i glijadina zajedno čine gluten, protein koji se nalazi u klici pšeničnog zrna. Glutenin daje čvrstoću i elastičnost tijestu, a glijadin je odgovoran za poremećaje uzrokovane glutenom. Raž sadrži sekalin, ječam hordein, a zob avenin, koji su također proteini koji uzrokuju slične probleme kao gluten u pšenici, iako zob sadrži vrlo malu količinu štetnog dijela glutena, pa ih većina celijakičara može konzumirati. Kamut, pir, pšenoraž i slad također sadrže gluten (Čičak, 2016). Tri skupine na koje dijelimo poremećaje uzrokovane glutenom su alergijski, autoimuni i drugi (niti alergijski niti autoimuni). Alergija na pšenicu spada u alergijske poremećaje, celijakija, dermatitis herpetiformis i glutenska ataksija su autoimune prirode, dok necelijakična osjetljivost na gluten spada u ostale poremećaje (Gulin, 2020).

### **Alergija na pšenicu**

Pšenični proteini (albumini, globulini, glijadin i glutenin) uzrokuju alergijsku reakciju koja dovodi do respiratornih ili gastrointestinalnih simptoma uključujući: urtikariju, oticanje, poteškoće s disanjem, bolove u trbuhu, mučninu i u nekim slučajevima po život opasan anafilaktički šok (Dolinšek i sur., 2021.). Alergeni pšenice mogu ući u organizam putem dišnog sustava, kože ili kroz sluznicu probavnog sustava. Ubrzo nakon izlaganja pšenici, pojavljuju se simptomi i dijagnoza se temelji na tome. Simptomi su slični celijakiji, ali alergija na pšenicu ne oštećuje trajno sluznicu probavnog sustava. Prevencija se temelji na potpunom izbjegavanju proizvoda koji sadrže pšenicu te korištenju antihistaminika i kortikosteroida (Pozderac i sur., 2019.).

### **Celijakija**

Autoimuna bolest uzrokovana glutenom iz pšenice, raži i ječma naziva se celijakija. Velika većina pacijenata dobro podnosi proteine zobi. Bolest kronično oštećuje sluznicu tankog crijeva kao posljedica poremećenog imunološkog odgovora kod osoba s genetskom predispozicijom. Klinička slika celijakije je široka i uključuje slučajeve s tipičnim intestinalnim i atipičnim intestinalnim i ekstraintestinalnim simptomima. Kronični ili povremeni proljev, bolovi u trbuhu, povraćanje, nadutost i vjetrovi, masna stolica, gubitak težine, anoreksija i malapsorpcija klasični su simptomi. Simptomi izvanintestinalnih manifestacija celijakije su anemija, umor, oštećenje zubne cakline, zastoj u rastu, odgođeni pubertet, amenoreja, mogući spontani pobačaj, urtikarija, psorijaza itd. (Pozderac i sur., 2019.). Dijagnoza nije tako jednostavna i može se odvijati u nekoliko koraka. Prvo se vadi krv i traže specifična antitijela. Postoje i brzi testovi (iz kapi krvi), ali oni nisu toliko pouzdani pa nisu dovoljni za postavljanje dijagnoze. Ako je krvni nalaz pozitivan, što ukazuje na celijakiju, obično se radi biopsija crijeva za potvrdu celijakije,

iako se to u određenim okolnostima može izbjeći. Za osobe s celijakijom jedini trenutni lijek je doživotna bezglutenska dijeta (Dolinšek i sur., 2021.).

### **Necelijakična osjetljivost na gluten**

Sindrom karakterističnih crijevnih i izvancrijevnih simptoma koji se javlja nakon probave hrane s glutenom i drugim proteinima pšenice kod osoba koje nemaju alergiju na pšenicu ili celijakiju naziva se necelijakična osjetljivost na gluten. Klinčikina slika je slična onoj kod oboljelih od celijakije ili alergije na pšenicu, a uključuje tipične simptome kao što su: bolovi u trbuhu, nadutost, proljev, kronični umor, anemija, glavobolja, depresija itd. Dijagnozu je teško postaviti jer ne postoje točni kriteriji za potvrdu, ali simptomi nestaju prestankom unosa glutena, pa se eliminacijom ostalih poremećaja povezanih s glutenom postavlja dijagnoza necelijakične preosjetljivosti na gluten (Pozderac i sur., 2019.)

## **2.2. Sirovine za proizvodnju kruha bez glutena**

Prema članku 32. Pravilnika o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta, u Republici Hrvatskoj kruh se razvrstava u pekarske proizvode. Prema navedenom pravilniku, kruh je definiran kao proizvod mase veće od 250 grama proizveden miješenjem, oblikovanjem, ukuhavanjem i pečenjem tijesta (Pravilnik, NN br. 78). Glavne sirovine za proizvodnju kruha su brašno i voda, dodatne sirovine su kvasac i sol, a pomoćne sirovine, dodaci i pribor poboljšavaju prehrambenu ili tehnološku kakvoću.

### **2.2.1. Glavne sirovine**

#### **Rižino brašno**

Riža (*Oryza sativa* L.) potječe uglavnom iz suptropskih i tropskih dijelova Afrike i Azije. Nakon pšenice, druga je najvažnija žitarica za ljudsku prehranu. U Aziji, posebice u Kini, Japanu i Indiji, najviše se konzumira jer ima visoku energetska vrijednost i može zamijeniti kruh. Kina je najveći proizvođač riže na svijetu (Pospišil, 2010.) Rižino brašno najčešći je nusproizvod riže, a koristi se i u proizvodnji dječje hrane jer je lako probavljivo. Također, riža ne sadrži gluten, pa osobe koje pate od poremećaja uzrokovanih glutenom mogu bez problema konzumirati rižu i proizvode. Nedostatak rižinog brašna su teško topivi proteini koji zbog svoje hidrofobnosti ne mogu vezati CO<sub>2</sub>, što rezultira konačnim proizvodom manjeg volumena i lošije strukture. Zbog toga se često dodaju karboksimetil celuloza i enzimi poput transferaza ili transglutaminaza kako bi kruh dobio najbolja moguća svojstva (Subota, 2016.)

### **Heljdino brašno**

Heljda (*Fagopyrum esculentum* L.) je jednogodišnja biljka iz porodice *Polygonaceae* (dvornikovke). Postoji petnaest vrsta heljde (Gagro, 1997.) Heljdino brašno i griz dobiva se mljevenjem zrna, dok se heljdina kaša proizvodi ljuštenjem. U heljidnom zrnu nema glutena pa je često koriste osobe koje pate od poremećaja izazvanih glutenom (Pospišil, 2010.) Oko 73% ugljikohidrata, 12% bjelančevina, masti i minerala čini zrno heljde. Od minerala najvažniji su: bakar, cink, fosfor, kalcij, kalij, magnezij, natrij i željezo, a od vitamina vitamini B i D skupine te razni fenolni spojevi poput flavonoida rutina (Gadžo i sur., 2017.) Škrob je glavni ugljikohidrat u sjemenu heljde s 59 do 70% suhe tvari zrna, ovisno o sorti, dok je amiloza između 15 i 52%, a količina reducirajućih šećera je u rasponu od 0,65 – 0,76% (Campbell, 1997.) Heljda ima nizak glikemijski indeks, visok nutritivni sastav s obiljem aminokiselina važnih za ljudski organizam. Od davnina je heljda poznata kao ljekovita biljka, ublažava želučane tegobe, dobra je za koncentraciju i pamćenje itd. Heljdino brašno također je nutritivno bogato (Turkalj, 2013.)

### **Kukuruzno brašno**

Kukuruz (*Zea mays* L.) potječe iz Srednje Amerike, a vjeruje se da ga je u Europu donijela Kolumbova ekspedicija 1492. godine. Nakon pšenice i riže, treća je najvažnija žitarica na svijetu, što se vidi i po površini koju zauzima. Kukuruz je vrlo otporna biljka i uzgaja se u cijelom svijetu (Gagro, 1998). Zrno kukuruza sastoji se od endosperma, klice, ovojnice sjemena i ovojnice ploda. Endosperm čini najveći dio zrna, oko 80%, a sastoji se uglavnom od škroba (86-89%), bjelančevina (oko 8%) i oko 0,8% lipida (Pospišil, 2010.). Kukuruzno brašno je bogato ugljikohidratima, sadrži značajnu količinu minerala te vitamine B i E kompleksa. Celijakičari mogu bez problema konzumirati proizvode od kukuruznog brašna jer ono ne sadrži gluten (Tunjić, 2020.).

### **Škrobovi**

Osim različitih brašna, u proizvodnji pekarskih proizvoda bez glutena, koriste se i različiti škrobovi. Rižin škrob zbog svojih hipoalergenih svojstava i prisutnosti lako probavljivih ugljikohidrata predstavlja izvrsnu sirovinu za pacijente koji pate od alergija, ali usprkos brojnim prednostima, zbog svoje hidrofobne prirode proteini riže su netopljivi te nisu u mogućnosti oblikovati viokoelastično tijesto (Elke i sur., 2008). Pri korištenju kukuruznog škroba dolazi do odgađanja želatinizacije škrobnih granula, a to rezultira nižom viskoznošću, a time i većim volumenom kruha zbog velike ekspanzije šupljina proizvoda (Horstmann i sur., 2018). Smatra se da dodatak kukuruznog škroba daje bezglutenskom kruhu manju čvrstoću sredine u odnosu na bezglutenske proizvode bez dodatka kukuruznog škroba (Korus i sur., 2009).

**Voda**

U samom brašnu ima 13-14% vode, a tijekom miješenja povezuju se komponente brašna i formiraju viskoelastično tijesto. Prema Uredbi o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, voda za piće je voda koja je u izvornom stanju ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje ili pripremu hrane, kao i voda koja se koristi u proizvodnji, preradi i čuvanju. proizvoda ili tvari namijenjenih konzumaciji ljudi (MPŠVG, 2008). Od velike je važnosti količina vode i njena temperatura Temperatura bi trebala biti oko 30 °C. (Kimbell, 2018.)

**2.2.2. Dodatne i pomoćne sirovine****Pekarski kvasac**

Kvasci su jednostanični organizmi veličine 0,005 – 0,008 mm, pa se u prosjeku u kilogramu tijesta nalazi oko 400 milijardi stanica kvasca. Gljivice kvasci stvaraju CO<sub>2</sub> koji diže tijesto i dajući mu određenu rahlost. Fermentaciju u tijestu uzrokuju kvasci koji razgrađuju šećer na alkohol i CO<sub>2</sub> i tako uzrokuju željeno dizanje tijesta i stvaranje željenih tvari koje daju aromu i okus kruhu i proizvodima. Najpoželjnija radna temperatura kvasca je 30 – 32 °C, a u tijesto se može dodati svježi ili suhi kvasac. Najpoznatiji pekarski kvasac je *Saccharomyces cerevisiae* (Albrecht i sur., 2010.).

**Kuhinjska sol**

Dodaje se u omjeru 1,5 - 2,0 % na ukupnu količinu brašna. U Republici Hrvatskoj dodaje se kuhinjska sol koja je jodirana. S tehnološkog aspekta važan je iz više razloga: daje proizvodima poželjan okus, elastičnost, smanjuje lijepljenje tijesta tijekom obrade, regulira i kontrolira fermentaciju, pridonosi većem volumenu proizvoda i finijoj poroznosti. Nedostatak soli u tijestu produljuje pečenje te su takva tijesta blijeda i blijeda, a presoljena tijesta također negativno utječu na kvalitetu konačnog proizvoda (Schünemann i Günter, 2012.).

**Šećer**

Korištenjem šećera kao dodatne sirovine postiže se: dobivanje željenog okusa slatkoće i drugih aroma, dolazi do posmeđivanja proizvoda (kamarelizacija i Maillardove reakcije), izgled proizvoda, svojstva korice i poboljšana je poroznost proizvoda. Također, šećer je važan za proces fermentacije jer ga kvasci koriste kao hranu. Najveći volumen proizvoda postiže se dodavanjem šećera u koncentraciji 2-5% na ukupnu količinu brašna, a slično kao i sa soli, prevelike količine šećera u tijestu negativno utječu na konačni proizvod. U pekarstvu se najčešće koristi saharoza (Schünemann i Günter, 2012.).

### **Ulje**

Jestiva se ulja češće dodaju tijestom u južnoj Europi, Italiji, Grčkoj ili Španjolskoj. Najčešće se dodaju biljna jestiva ulja poput maslinovog ili suncokretovog, a mogu se dodati i u kombinaciji s margarinom ili maslacem. Uz dodatak ulja lakše se oblikuje i oblikuje ljepak, a tijesto ostaje čvrsto i manje se lijepi (Albrecht i sur., 2010.).

### **Proteini sirutke**

Visoka biološka vrijednost proteina sirutke i laka apsorpcija poželjni su u prehrambenoj industriji. Udio slobodnih aminokiselina znatno je veći u odnosu na obično mlijeko, a najzastupljeniji protein je  $\beta$ -laktoglobulin. Visok udio peptida doprinosi antimikrobnom, antihipertenzivnom, antioksidativnom, antikancerogenom i imunomodulatornom djelovanju u ljudskom organizmu (Kalyankar i sur., 2016.). U kruhu bez glutena proteini sirutke su izvor proteina. Proteini sirutke imaju sposobnost stvaranja mreže u tijestu, povećanja volumena kruha, uz već spomenuta funkcionalna i nutritivna svojstva proteina (Gallahger i sur., 2003a; 2003b).

### **Hidrokoloidi**

Polisaharidi velike molekularne mase koji su izolirani iz morskih algi ili biljaka ili su nastali biotehnološkom proizvodnjom čine skupinu hidrokoloida. U vrlo malim količinama utječu na glatkoću i reološka svojstva proizvoda stabilizirajući emulzije, pjene i suspenzije. U prehrambenoj industriji utječu na želatinizaciju škroba i općenito poboljšavaju kvalitetu proizvoda, a također su dobar izvor vlakana, povećavaju viskoznost tijesta, poboljšavaju strukturu i teksturu te produljuju rok trajanja dobivenog. proizvoda. Zbog toga se često koriste kao zamjena za gluten u bezglutenskim proizvodima (Rosell i sur., 2001.). Najpoznatiji hidrokoloidi koji se koriste u proizvodnji bezglutenskih kruhova su: hidroksipropilmetilceluloza (HPMC), karboksimetilceluloza (CMC), guar guma, karagenan i ksantan (Anton i Artfield, 2008.).

Ksantan guma se dobiva fermentacijom kukuruznog šećera uz pomoć bakterije *Xanthomonas campestris*. Jednako se dobro otapa u hladnoj i toploj vodi i stvara viskozne i pseudoplastične otopine. Visoka viskoznost otopine bez obzira na utjecaj pH i temperature, čak i pri niskim koncentracijama, čini ksantan gumu vrlo popularnim hidrokoloidom u proizvodnji proizvoda bez glutena. Poboljšava senzorska svojstva konačnog proizvoda, produljuje mu vijek trajanja, povećava volumen i daje bolju teksturu konačnom proizvodu (Feja i sur., 2018.).

U novije vrijeme se, umjesto uobičajenih hidrokoloida, u recepturama za proizvodnju pekarskih proizvoda bez glutena koriste psyllium ljuskice u prahu. Psyllium ljuskice dobivaju se iz sjemenki indijskog trpuca (*Plantago psyllium*, L.). Sposobnost zadržavanja vode, stvaranja gela i važna strukturna



uloga u posljednjih nekoliko godina učinili su psyllium vrlo popularnim aditivom u pečenju kruha bez glutena. Također, dodatak psiliuma povećava volumen i čvrstoću kruha, poboljšava strukturu, teksturu i izgled, povećava sadržaj dijetalnih vlakana i snižava glikemijski indeks u konačnom proizvodu. Kruh u koji su dodane pahuljice ima produljeni rok trajanja zbog sposobnosti vezanja vode, što ograničava njegovo kretanje, a smanjuje hidrataciju, želatinizaciju i retrogradaciju škroba, što također utječe na kinetiku stvrdnjavanja krušnih mrvica (Culetu i sur., 2021.).

## **2.3. RAČUNALNI VID I ANALIZA SLIKE**

Računalni vid bavi se automatskim izdvajanjem, analizom i razumijevanjem korisnih informacija iz jedne slike ili niza slika. Uključuje razvoj teorijske i algoritamske osnove za postizanje automatskog vizualnog razumijevanja. Tj. znanstvena i tehnološka disciplina koja se koristi za dobivanje teorije i izrade sustava s ciljem prikupljanja informacija iz slika (jedne ili više), video uradaka ili određenih medicinskih uređaja naziva se računalni vid. Polja koja su najuže povezana s računalnim vidom su obrada slike, analiza slike i strojni vid. Računalni i strojni vid se značajno preklapaju.

Računalni vid obuhvaća temeljne tehnologije za automatsku analizu slike koje se koriste u mnogim područjima. Strojni vid obično se odnosi na proces kombiniranja automatizirane analize slike s drugim metodama i tehnologijama kako bi se osigurala automatizirana inspekcija i robotika u industrijskim primjenama. Kao znanstvena disciplina, računalni vid bavi se teorijom iza umjetnih sustava koji dohvaćaju informacije iz slika. Podaci o slikama mogu imati mnoge oblike, kao što su video sekvence, prikazi s više kamera ili višedimenzionalni podaci iz medicinskih skenera. Kao tehnološka disciplina, računalni vid nastoji primijeniti svoju teoriju i modele na izgradnju računalnog vida. Također, računalni vid služi za prepoznavanje i praćenje objekata te detekciju unaprijed zadanih događaja ili pak za rekonstrukciju slike i sl. Umjetna inteligencija, fotografija i optika srodne su računalnom vidu.

### **2.3.1. Algoritmi računalnog vida**

#### **Sift**

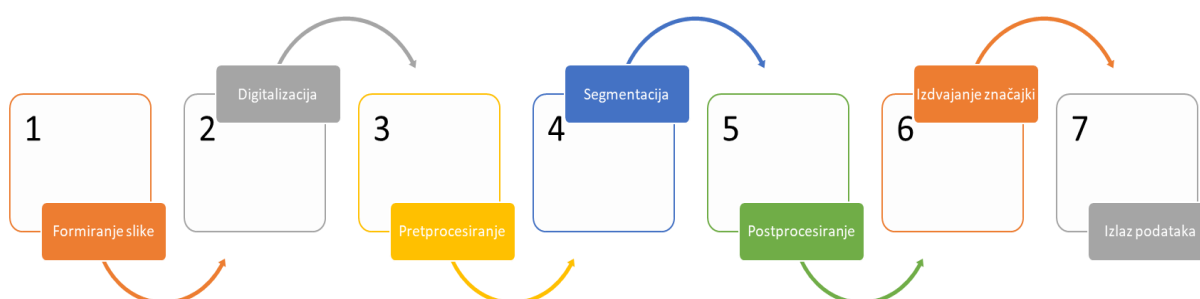
SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) koristi se za opisivanje i pronalazak ciljanih značajki neke slike. Najviše se koristi kod trodimenzionalnog rekonstruiranja scene i prepoznavanja što ima promjenu u robotici, kod spajanja nekoliko fotografija u jednu i u svrhu nadgledanja i traženja neželjenih objekata.

### Viola-Jones algoritam

Napravljen je u svrhu otkrivanja ljudskih lica na slici, ali ima primjenu i za pronalaženje bilo kojih drugih objekata nakon što ga se nauči (prepoznavanje prometnih vozila ili znakova, oružja i sl.). Radi na principu uspoređivanja slike s bazom podataka i uspoređuje sadrži li slika traženi objekt ili ne. U Viola-Jones algoritam pripadaju: Haarove značajke, integralna slika, Ada-Boost algoritam i kaskadni klasifikator (Hrga, 2018).

### 2.3.2. Postupak digitalne obrade i analize slike

Postupak digitalne obrade slike podrazumijeva podvrgavanje numeričkih reprezentacija objekata seriji operacija s ciljem postizanja željenog rezultata i prethodi analizi slike. Digitalna analiza slike predstavlja proces kojim se iz slike izdvajaju bitne informacije sa svrhom dobivanja opisa. Dok u postupku digitalne obrade slika na ulazu i izlazu iz procesa, kod postupka analize slike ona je na samo na ulazu (a na izlazu nalaze se izlazni parametri tj. značajke izdvojene sa slike). Obrada i analiza slike se prvenstveno fokusira na proces digitalizacije (akvizicije) slike, a potom i analize radi izdvajanja slikovnih podataka (boja uzorka, morfološke karakteristike: oblik, tekstura, površina). Analiza slike primjenjuje se na način da bude objektivna, jednostavna za korištenje, ponovljiva i brzo izvediva.



**Slika 1.** Koraci u procesu računalne obrade i analize slike

Proces računalne obrade i analize slike sastoji se od nekoliko koraka (Slika 1):

1. DIGITALIZACIJA – digitalna slika je proizvedena od jednog ili više senzora. Ovisno o tipu senzora, slikovni podatak je obični 2D prikaz, 3D volumen, ili slijed slika u različitim formatima (JPEG; TIFF...)
2. PRETPROCESIRANJE –podrazumijeva ispravljanje eventualnih grešaka nastalih prilikom snimanja digitalne slike te evaluacija kvalitete slike, pretprocesiranje je priprema za segmentaciju slike.

3. SEGMENTACIJA - pri analizi objekata na slici neophodno je razgraničiti „objekte od interesa“ od ostatka slike. Segmentacija objekata, pojedinačnih površina ili dijelova objekata vrši se klasifikacijom svakog piksela, odnosno računalo provjerava pripada li ili ne pojedini piksel grupi odnosno objektu.

4. POSTPROCESIRANJE - u osnovi vezano je na dvije metode kojima se poboljšavaju rezultati dobiveni segmentacijom. Prva metoda bazirana je na morfološkim operacijama kojima je cilj popraviti rezultat segmentacije, a druga na mjerenju segmentiranih objekata čime se razdvajaju objekti spojeni segmentacijom. Operacije mjerenja dolaze nakon što slika prođe kroz proces pretprocesiranja, segmentacije i postprocesiranja.

4. IZDVAJANJE ZNAČAJKI - značajke slike na različitim razinama složenosti su izlučene iz slikovnih podataka. Tipični primjeri takvih značajki: linije i rubovi, lokalizirane točke kao što su kutovi, mrlje ili točke, složenija obilježja mogu biti povezana s teksturom, oblicima ili pokretima.

### **2.3.3. Segmentacija slike**

Segmentacija slike je proces koji izvlači željene dijelove i dijeli sliku na njene ključne dijelove. Zato je segmentacija jedan od glavnih zadataka u analizi slike, direktno utječe na sve sljedeće procese. Algoritam za segmentaciju slike rastavlja sliku na segmente, a semantički objekti definiraju vezu između objekta na slici i njegovih realnih aspekata (Lazarević i sur, 2014).

#### **Metode segmentacije**

Prema Lončariću (2009), neke od metoda segmentacije su:

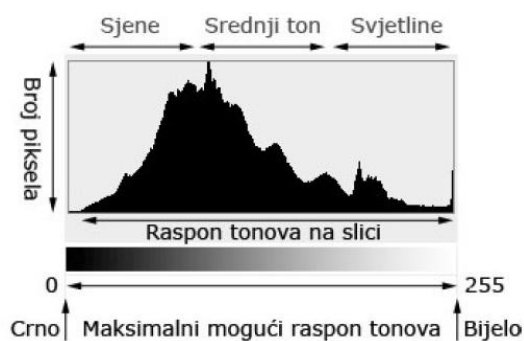
- amplitudna segmentacije
- obilježavanje komponenti
- metode koje koriste granicu objekta
- metode koje koriste unutrašnjost objekta
- metode grupiranja
- segmentacija ekspertnim sustavima
- segmentacija neuronskom mrežom.

Ne postoji univerzalna tehnika segmentacije koja će raditi na svim slikama niti je i jedna tehnika segmentacije savršena. Metode segmentacije mogu se razdijeliti u tri grupe (Gonzalez-Barron i Butler, 2006):

- određivanje praga (*thresholding*) – izdvajanje cijelog objekta od pozadine
- pronalaženje rubova (*edge-based*)
- segmentacija bazirana na regijama (*region-based*)

**Određivanje praga** je jednostavna metoda koja se lako može izvoditi i u realnom vremenu, a kao parametar se koristi intenzitet piksela,  $I$ , tj. piksel se smatra dijelom objekta, ako je dovoljno svijetao. Za segmentaciju je potrebno odrediti prag  $t$ , kojim će se pikseli odijeliti na objekt i pozadinu. Podjela se izvodi primjenom jednostavnog pravila: ako  $I(x, y) > t$ , pikseli na  $(x, y)$  pripadaju objektu. Odnosno,  $I(x, y) < t$ , piksel na  $(x, y)$  pripada pozadini. Glavni je zadatak, pravilan izbor vrijednosti praga  $t$ . Metode određivanja praga baziraju se na analizi oblika histograma (predstavlja relativnu frekvenciju svjetlina točaka u slici) sa rasponom intenziteta piksela  $I [0, L - 1]$ . Najčešće se koristi histogram prvog reda.

**Histogram** je grafički prikaz raspodjele tonских vrijednosti snimke. Vodoravna os histograma prikazuje tonски raspon od 0 (crno) do 255 (bijelo), a okomita os predstavlja relativan broj piksela u pojedinom tonu. Taj broj nije toliko važan, koliko su važni relativni odnosi po pojedinim dijelovima histograma. Na Slici 2 prikazan je histogram koji ima tri dijela: pikseli koji predstavljaju sjene, srednji ton i svjetline na slici.



**Slika 2.** Histogram boje na slici

**IsoData metoda praga** (*Iterative Self Organizing Data Analysis Technique*) - je iterativna metoda praga za segmentaciju objekata na slici koju su razvili Ridler i Calvard (1978). Metoda polazi od pretpostavljene početne vrijednosti praga (*thresholda*). Nakon što je početna vrijednost praga pretpostavljena ona se koristi u iterativnom postupku za raspodjelu piksela prema srednjim vrijednostima u dvije kategorije (one koji predstavljaju objekt i one za pozadinu). Vrijednost praga je postavljena da pada točno na polovici izračunatih srednjih vrijednosti. U novom iterativnom koraku srednje vrijednosti se ponovno računaju i dobiva se novi prag, te se postupak iteracija nastavlja sve dok se vrijednosti praga počnu ponavljati. Neka su vrijednosti piksela na histogramu označeni kao:

$h(0), h(1), \dots, h(L-1)$ , gdje  $h(i)$  određuje broj piksela na slici s nijansama sive boje u rasponu od  $i$  do  $(L-1)$ , pri čemu  $(L-1)$  predstavlja maksimalnu vrijednost piksela i iznosi 255. Kao početna pretpostavka za  $t$  je uzeta vrijednost medijana piksela. Za vrijednosti manje ili jednake  $t$ , prosječna vrijednost piksela  $\mu_1$  izračunava se kao:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^t i \cdot h(i)}{\sum_{i=0}^t h(i)} \quad (1)$$

Dok je za vrijednosti veće od  $t$  prosječna vrijednost piksela  $\mu_2$  dana formulom:

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot h(i)}{\sum_{i=t+1}^{L-1} h(i)} \quad (2)$$

Vrijednost  $t$  ponovno se procjenjuje kao cjelobrojna vrijednost od srednjih vrijednosti  $\mu_1$  i  $\mu_2$ . Iterativni postupak se ponavlja sve dok se za  $t$  ne dobiju dva puta uzastopno iste vrijednosti (Gonzalez-Barron i Butler, 2006; Kalavathi 2014).

**Segmentacija bazirana na rubovima** se zasniva na rubovima pronađenim uz pomoć raznih detektora, ti rubovi označavaju lokacije diskontinuiteta između nijansi, boja, tekstova ili nečega drugoga. Najčešće se problemi kod ove segmentacije javljaju zbog šumova ili drugih vrsta loših informacija o slici a to su da se registrira rub gdje ne postoji ili da se ne registrira gdje on postoji. Granice objekata se mogu izdvajati metodama praćenja granice, interpolacijom krivulje i Houghovom transformacijom. Rubovi su mjesta naglih promjena u vrijednosti točaka slike te je zbog toga moguće koristiti gradijent funkcije za detekciju ruba. Gradijent funkcije dviju varijabli je vektor koji pokazuje smjer najbrže promjene funkcije

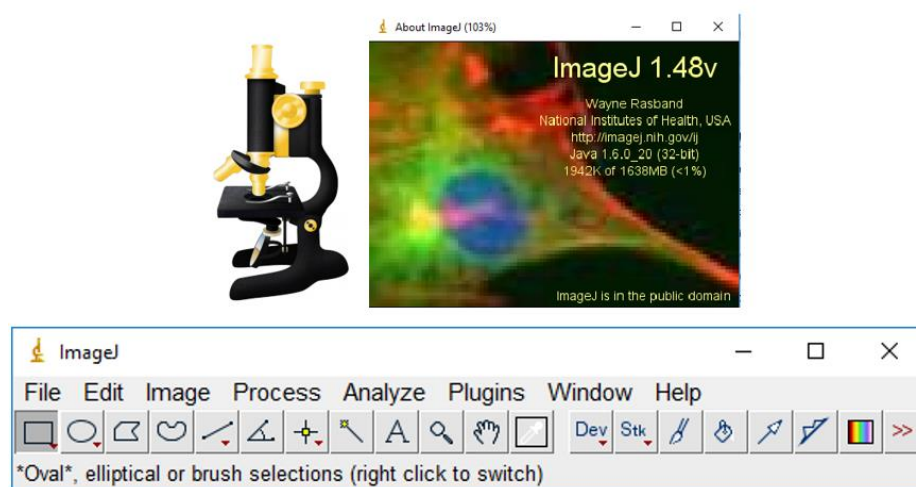
$$\mathbf{grad} f(x, y) = \left[ \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \quad \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right] = [f_x \quad f_y] \quad (3)$$

**Metoda segmentacije zasnovana na regijama** ima za cilj identificirati dijelove slike koje imaju slične značajke. Dvije karakteristične metode su: izrastanje područja te metoda dijeljenja i stapanja. Za razliku od prethodnih metoda u kojima su se tražili rubovi između regija ove metode direktno određuju regije. Ova metoda je pogodnija za slike koje imaju dosta šuma gdje je teško odrediti granice.

### 2.3.4. Programi za računalnu obradu i analizu slike

#### ImageJ

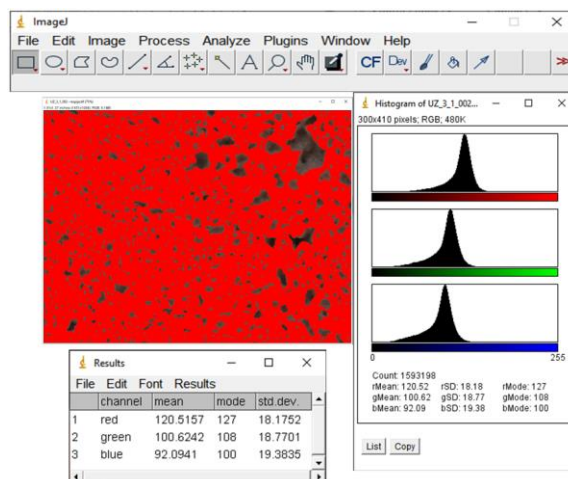
ImageJ je program (Slika 3) koji se koristi za analizu digitalnih slika uzoraka. Wayne Rasband ga osmislio 90-ih godina dvadesetog stoljeća. Program se koristi za prikazivanje, uređivanje, analiziranje, obradu, spremanje i ispis 8-bitnih, 16-bitnih, 32-bitnih sivih slika te 8-bitnih i 24-bitnih slika u boji. Jednostavan je za korištenje, materijali i upute za korištenje su dostupni javno. Program ima široku primjenu koja obuhvaća: medicinske svrhe, mikroskopiju, materijalne znanosti, a najviše u biološkoj svjetlosnoj mikroskopiji. (Hibik, 2019.) Mogućnosti koje program nudi su osim standardne obrade slike i određivanje morfoloških karakteristika objekata (površina, volumen, deskriptori oblika), izračunati područje i vrijednost piksela, izmjeriti udaljenosti i kutove, a sadrži i opcije za podešavanje kontrasta, izoštravanje, poravnavanje, kolokalizacija, registracija, segmentacija, praćenje, vizualizacija i još mnogo toga. Program omogućuje geometrijske transformacije poput rotacije i skaliranja. Slika se može povećati do 32:1 i smanjiti do 1:32. Podržava neograničen broj otvorenih prozora istovremeno, ograničen je jedino dostupnom memorijom računala.



Slika 3. Izgled glavnog menija programa ImageJ

Naredba za analiziranje šupljina (engl. *Analyze Particles*) mjeri objekte u binarnim ili *threshold* slikama, a radi na principu skeniranja slike sve dok se ne pronađe rub objekta. *Threshold* odnosno primjena razdjelne vrijednosti je najjednostavnija metoda podjele slike u segmente, koja se bazira na pretvorbi slike sa različitim nijansama boja u binarnu sliku. Nakon toga, u izborniku se može odabrati raspon za veličinu i okruglost šupljina koja će se uzeti u obzir, pri čemu će sve izvan tog raspona biti zanemareno. Program omogućuje primjenu algoritama poput *ColorHistogram* za mjerenje boja na slici.

Ovom naredbom program prikazuje histograme R, G i B vrijednosti i prosječne vrijednosti piksela svakog kanala boje u tablici rezultata (*Results*). *ColorHistogram* algoritam može se primijeniti na čitavu sliku ili na definirano područje interesa (ROI) kao što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Primjena algoritma Color Histogram u ImageJ-u

## MATLAB

Usljed potrebe za brzom obradom podataka (laboratorijskih mjernih rezultata) kao i potrebe za računanjem zasnovanim na matričnoj aritmetici razvija se osnovna verzija programa za računanje u tehničkim znanostima kojima pripada i Matlab (Slika 5), razvijen od tvrtke MathWorks Inc. Po svojoj formi Matlab je interaktivni jezik-interpreter, namijenjen prvenstveno matričnim izračunavanjima. Po svojoj formi blizak je načinu na koji i inače zapisujemo matematičke formule, pa jedan redak u Matlab-u može zamijeniti stotine redaka napisanih u nekom programskom jeziku opće namjene (C, C++, PASCAL, BASIC i sl.). Objedinjava računanje, vizualizaciju i programiranje u lako uporabljivoj okolini u kojoj su problem i rješenje definirani poznatom matematičkom notacijom.



Slika 5. Izgled glavnog menija programa MATLAB

Uobičajena je uporaba Matlab-a za

- matematiku i izračune,
- razvoj algoritama,

- modeliranje, simulaciju, analizu,
- analizu i obradu podataka, vizualizaciju,
- znanstvenu i inženjersku grafiku,
- razvoj aplikacija, uključujući i izgradnju GUI.

Koristi se za rješavanje raznih matematičkih problema, izračunavanja i simulacija za obradu signala, upravljanje, identifikaciju sustava i regulaciju. Još krajem 1970. godine napisana je prva verzija (Matrix Laboratory). Cilj je bila matična teorija, linearna algebra i numerička analiza. Početkom osamdesetih godina prošloga stoljeća dodane su nove mogućnosti, poput obrade signala i automatskog upravljanja. U današnje vrijeme ima puno širu primjenu. Uz osnovni paket, postoje i brojni programski paketi koji mu daju puno širu primjenu, pa se tako koristi u: obradi signala i slike, 2D i 3D grafičkim prikazima, automatskom upravljanju, identifikaciji sustava, statističkim obradama i sl. Matlab je jednostavan program koji koristi jednostavan programski jezik. U Matlab-u se svi podaci tretiraju kao matrice, a dimenzije se ne čuvaju posebno kao varijable. Program podržava i kompleksne brojeve i kompleksne matrice, a namjena mu je najviše za matična izračunavanja. (Petković, 2005).



### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj različitih omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba, kao i različitih omjera hidrokoloida ksantan gume i psyllium praha, na izgled sredine te ostale parametre kvalitete kruha bez glutena. Izgled sredine kruha analizirat će se metodom računalne analize slike kojom će se odrediti boja, raspodjela i veličina šupljina na presjeku kruha.

### 3.2. MATERIJALI

Za proizvodnju kruha bez glutena korišteni su:

- 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

#### 3.2.1. Plan pokusa pečenja kruha bez glutena u laboratorijskim uvjetima

Plan pokusa izrađen je korištenjem potpunog faktorskog plana pokusa 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 pokusa je provedeno ukupno dvanaest probnih pečenja uključujući tri ponavljanja centralne točke ( $N = 32 + 3 = 12$ ) (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).

**Tablica 1.** Plan pokusa za probna pečenja prema potpunom faktorskom planu

Uzorak	Nezavisne varijable					
	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	50	0	50	50	0	10
2	50	50	50	50	5	5
3	50	100	50	50	10	0
4	75	0	75	25	0	10
5	75	50	75	25	5	5
6	75	100	75	25	10	0
7	100	0	100	0	0	10
8	100	50	100	0	5	5
9	100	100	100	0	10	0
10	75	5	75	25	5	5
11	75	5	75	25	5	5
12	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

### 3.3.2. Laboratorijsko pečenje kruha bez glutena

Sve sirovine predviđene recepturom (Tablica 2) stavljaju se u mjesilicu 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

$\pm 1$  °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.

### 3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava kruha bez glutena

#### Određivanje teksture i volumena kruha bez glutena

Tekstura uzoraka određivala se pomoću analizatora 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 očitani su parametri teksture: čvrstoća (N), adhezivnost (Ns), elastičnost, kohezivnost, otpor žvakanju (N) i koeficijent otpornosti.

Specifični volumen uzoraka (cm<sup>3</sup>/g) mjereno je metodom laserske topografije pomoću laserskog uređaja Volscan Profiler (Stable Microsystems Ltd., Surrey, UK) prema uputama proizvođača.

#### Analiza boje sredine kruha bez glutena računalnom analizom slike

Boja uzoraka mjerena je računalnom analizom slike pomoću programa ImageJ, a rezultati su dobiveni u RGB modelu boja. Mjerenje boje pomoću računalne analize slike provedeno je u nekoliko koraka s pripadajućom softverskom i hardverskom opremom:

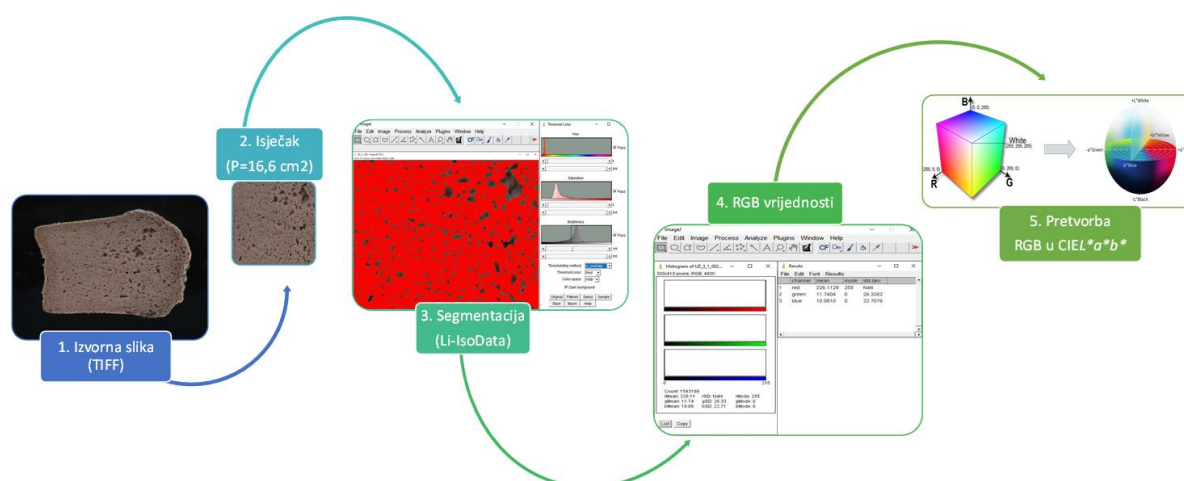
- Akvizicija slike – skener i komora za slikanje
- Obrada i analiza slike – računalo i programska podrška za obradu slike
  - kreiranje izreska ( $P=16,6$  cm<sup>2</sup>) sa originalne slike
  - segmentacija *IJ-IsoData* metodom praga
  - analiza boje (intenzitet R, G i B vrijednosti) metodom amplitudne segmentacije.

Uzorci su skenirani pomoću stolnog skenera u boji EPSON Perfection® V500 Photo (SEIKO EPSON, Japan) programom EPSON Scan (Ver. 3.74EN). Skener se postavlja u tamnu komoru, u kontroliranim uvjetima rasvjete, a uzorak se osvjetljava pomoću ugrađenog donjeg LED izvora svjetla (*ReadyScan* LED). Uzorci su skenirani u rezoluciji od 800 dpi, dubini boje 24-bitna i dinamičkom rasponu 3.4, u RGB modelu boja i pohranjeni u TIFF formatu (Tablica 3).

Nakon skeniranja, digitalna slika se obrađuje i analizira programom *ImageJ* 1.48v (Wayne Rasband, National Institute of Health, Maryland, USA Prvi korak u obradi slike bio je stvaranje isječka od 16,6 cm<sup>2</sup> (Slika 6) iz izvorne slike. Na isječcima je provedena segmentacija primjenom *IJ\_IsoData* metode segmentacije (pri čemu su šupljine isključene iz analize slike, kako ne bi utjecale na boju) (Ridler, 1978, El-Zaart. 2010). Nakon segmentacije slijedi mjerenje boje metodom amplitudne segmentacije (*amplitude thresholding*) i histograma prvog reda (*color histogram*), nakon čega su dobiveni rezultati relativne frekvencije svjetline točaka na slici (RGB vrijednosti točaka na slici) što je prikazano na Slici 6. Posljednji korak je konverzija vrijednosti boja iz RGB u CIE L\*a\*b\* vrijednosti (Leon i sur., 2006; Mendoza, 2006).

**Tablica 3.** Postavke skenera pri akviziciji slike uzoraka kruha bez glutena

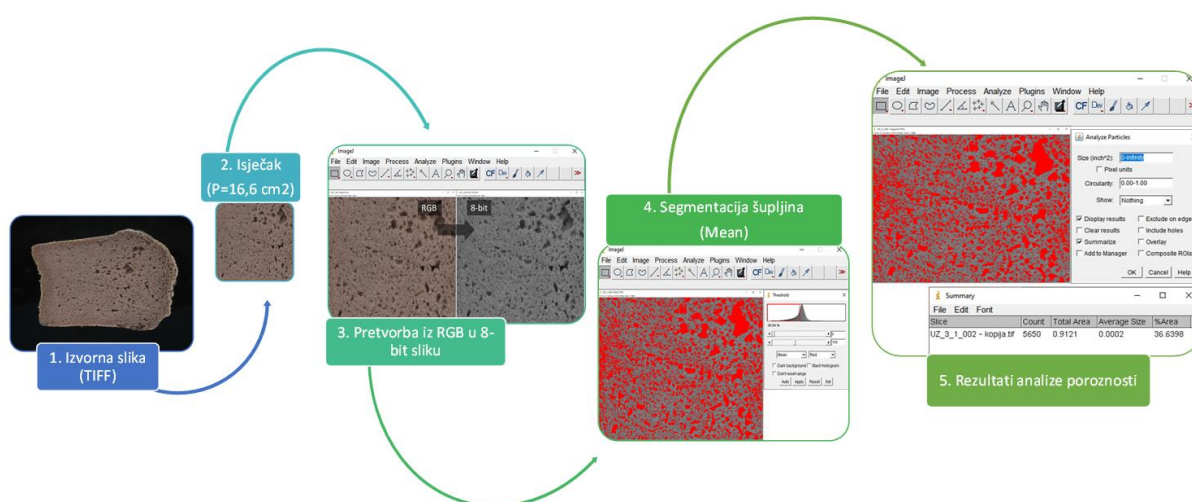
Model	Epson Perfection V500 Photo
Vrsta skenera	Stolni skener (Flatbed color image scanner)
Optički senzor	Epson MatrixCCD® 12-line, color sensor
Način skeniranje	Refleksija: jednotonski, siva skala, puna boja
Razlučivost	Optička rezolucija: 800 dpi
Dubina boja (ulaz/izlaz)	24 bit
Dinamički raspon	3,4 Dmax
Izvor svjetla	Bijela LED lampa s ReadyScan™ LED tehnologijom
Model boja	sRGB
Izlazni format slike	TIFF
Programska podrška	Epson Scan



Slika 6. Analiza boje sredine kruha računalnom analizom slike

### Analiza udjela šupljina kruha bez glutena računalnom analizom slike

Poroznost sredine kruha analizirana je računalnom analizom slike, kojom je utvrđen raspored i veličina šupljina na presjeku kruha. Uzorci kruha pažljivo su izrezani na šnite debljine 2 cm, a zatim skenirani u komori za snimanje prema postavkama prikazanim u Tablici 3. Nakon skeniranja, slika je obrađena i analizirana pomoću programa ImageJ 1.48v (Wayne Rasband, National Institute of Health, Maryland, USA). Postupak obrade i analize slike sredine kruha bez glutena prikazan je na Slici 7.



Slika 7. Analiza sredine kruha računalnom analizom slike

Prvi korak u obradi slike bio je izrada isječka od 16,6 cm<sup>2</sup> iz originalne slike, koji je kasnije korišten u daljnjoj analizi. Sljedeći korak bila je konverzija u 8-bitnu sliku gdje su šupljine odvojene od ostatka slike pomoću metode praga i *Mean* algoritma (Slika 8). Sa slike su izdvojene sljedeće informacije: broj šupljina, prosječna veličina šupljina i udio šupljina (Petruša et al., 2018.).



**Slika 8.** Postupak izdvajanja šupljina računalnom analizom slike

### 3.3.4. 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:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_{11} \cdot X_1^2 + \beta_{22} \cdot X_2^2 + \beta_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + \varepsilon \quad (4)$$

gdje su:

$\beta_0$  - slobodni član jednadžbe odzivnog polinoma,

$\beta_1, \beta_2$  – koeficijenti regresije linearnog člana jednadžbe odzivnog polinoma,

$\beta_{11}, \beta_{22}$  – koeficijenti regresije kvadratnog člana jednadžbe odzivnog polinoma,

$\beta_{12}$  – koeficijent člana interakcije jednadžbe odzivnog polinoma,

$X_1$  – udio rižinog brašna u smjesi,

$X_2$  – udio psyllium praha u smjesi,

$\varepsilon$  – 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<sup>2</sup>. 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

**Tablica 4.** Rezultati određivanja poroznosti kruha bez glutena

Omjer psylliuma i ksantan gume	Omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba		
	50 : 50	75 : 25	100 : 0
<b>Broj šupljina (<math>N/cm^2</math>)</b>			
0 : 100	13,31±0,50	13,61±2,16	14,49±3,86
50 : 50	19,43±0,19	17,11±2,57	16,63±2,38
100 : 0	19,72±1,74	19,02±0,83	17,68±0,98
<b>Prosječna veličina šupljina (<math>mm^2</math>)</b>			
0 : 100	2,23±0,28	2,16±0,42	2,23±0,71
50 : 50	1,45±0,03	1,71±0,40	1,98±0,35
100 : 0	1,50±0,12	1,55±0,16	1,92±0,15
<b>Udio šupljina (%)</b>			
0 : 100	29,43±2,60	28,99±2,40	29,93±3,43
50 : 50	28,00±0,10	28,05±1,99	31,94±0,53
100 : 0	29,46±0,25	29,51±3,08	33,99±1,00

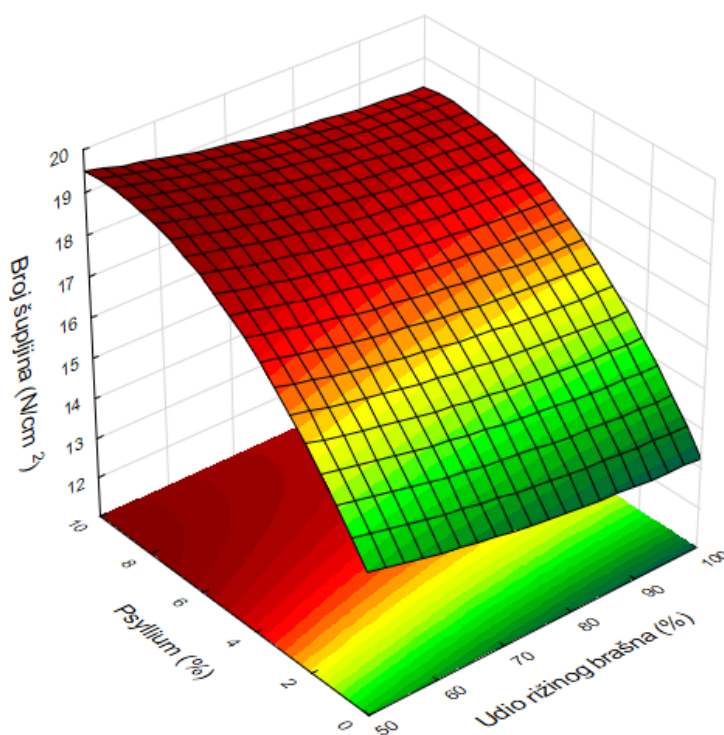
**Tablica 5.** Rezultati analize teksturalnog profila i specifičnog volumena kruha bez glutena

Omjer psylliuma i ksantan gume	Omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba		
	50 : 50	75 : 25	100 : 0
<b>Čvrstoća (N)</b>			
0 : 100	36,7±4,3	35,1±1,5	17,9±2,5
50 : 50	50,9±1,2	41,7±2,5	14,6±1,5
100 : 0	55,3±4,5	43,1±1,9	51,5±2,2
<b>Elastičnost</b>			
0 : 100	0,83±0,02	0,79±0,02	0,80±0,00
50 : 50	0,87±0,04	0,89±0,00	0,90±0,01
100 : 0	0,90±0,05	0,89±0,02	0,87±0,01
<b>Kohezivnost</b>			
0 : 100	0,58±0,02	0,64±0,02	0,66±0,01
50 : 50	0,56±0,03	0,62±0,02	0,70±0,01
100 : 0	0,48±0,02	0,55±0,02	0,59±0,03
<b>Otpor žvakanju (N)</b>			
0 : 100	17,6±1,9	17,7±1,5	9,4±1,4
50 : 50	24,7±1,7	23,1±1,8	9,2±0,8
100 : 0	23,8±2,8	21,1±1,3	26,4±0,4
<b>Specifični volumen (cm<sup>3</sup>)</b>			
0 : 100	1,68±0,01	1,42±0,06	1,45±0,04
50 : 50	1,50±0,05	1,48±0,06	1,65±0,00
100 : 0	1,42±0,01	1,40±0,03	1,25±0,02

**Tablica 6.** Rezultati određivanja boje sredine kruha bez glutena

Omjer psylliuma i ksantan gume	Omjer rižinog brašna i kukuruznog škroba		
	50 : 50	75 : 25	100 : 0
<b><i>L*</i></b>			
0 : 100	78,1±0,8	77,9±0,6	78,5±1,4
50 : 50	58,4±4,7	60,5±1,0	61,5±0,6
100 : 0	49,2±1,5	50,1±1,0	50,5±0,7
<b><i>a*</i></b>			
0 : 100	-1,8±0,2	-1,7±0,1	-0,9±0,1
50 : 50	6,0±0,2	6,5±0,2	7,0±0,2
100 : 0	8,1±0,2	9,0±0,2	8,8±0,2
<b><i>b*</i></b>			
0 : 100	14,9±1,0	14,7±0,3	13,5±0,3
50 : 50	10,3±0,4	10,6±0,2	11,0±0,4
100 : 0	8,9±0,9	9,6±0,6	9,7±0,1

## 4.2. OPTIMIRANJE RECEPTURE KRUHA BEZ GLUTENA

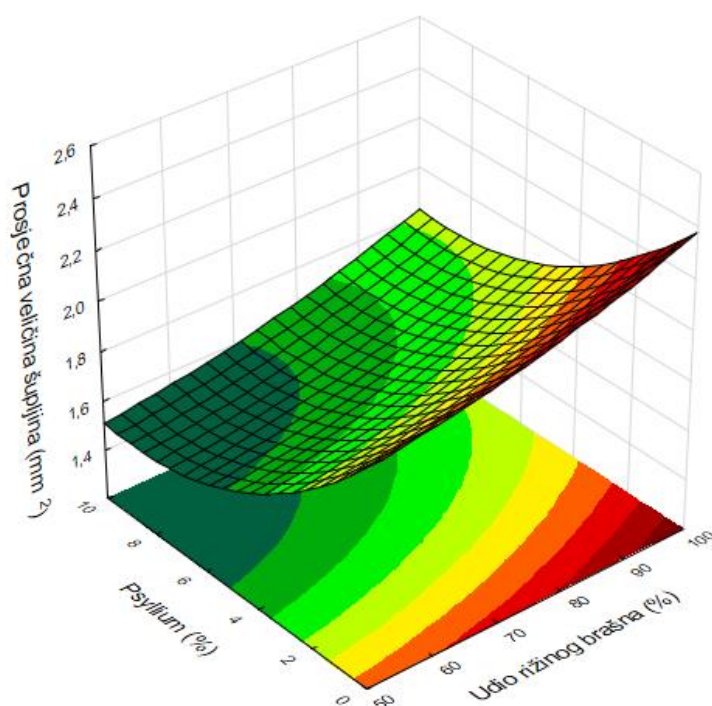


Slika 9. Dijagram odzivne površine za broj šupljina kruha bez glutena

Tablica 7. Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za broj šupljina kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
$X_1$ – udio rižinog brašna	2,230	1	2,230	4,069	0,090
$X_1^2$	0,131	1	0,131	0,239	0,642
$X_2$ – udio psyllium praha u smjesi	37,609	1	37,609	68,609	< 0,001*
$X_2^2$	5,924	1	5,924	10,807	0,017*
$X_1 \cdot X_2$	2,596	1	2,596	4,735	0,072
Pogreška	3,289	6	0,548		
Ukupno	51,875	11			$R^2 = 0,937$
Model: $Y = 15,063 - 0,045 \cdot X_1 + 1,580 \cdot X_2 + 0,0003 \cdot X_1^2 - 0,060 \cdot X_2^2 - 0,006 \cdot X_1 \cdot X_2$					

\* $p < 0,05$



Slika 10. Dijagram odzivne površine za prosječnu veličinu šupljina kruha bez glutena

Tablica 8. Analiza varijance (ANOVA) parametara modela za prosječnu veličinu šupljina vrijednost kruha bez glutena

Izvor varijabilnosti	SS	DF	MS	F	p
$X_1$ – udio rižinog brašna	0,151	1	0,151	15,301	0,008*
$X_1^2$	0,005	1	0,005	0,532	0,493
$X_2$ – udio psyllium praha u smjesi	0,451	1	0,451	45,732	0,001*
$X_2^2$	0,088	1	0,088	8,901	0,025*
$X_1 \cdot X_2$	0,044	1	0,044	4,457	0,079
Pogreška	0,059	6	0,010		
Ukupno	0,826	11			$R^2 = 0,928$

Model:  $Y = 2,413 + 0,008 \cdot X_1 - 0,190 \cdot X_2 + 0,00007 \cdot X_1^2 + 0,007 \cdot X_2^2 + 0,0008 \cdot X_1 \cdot X_2$

\* $p < 0,05$

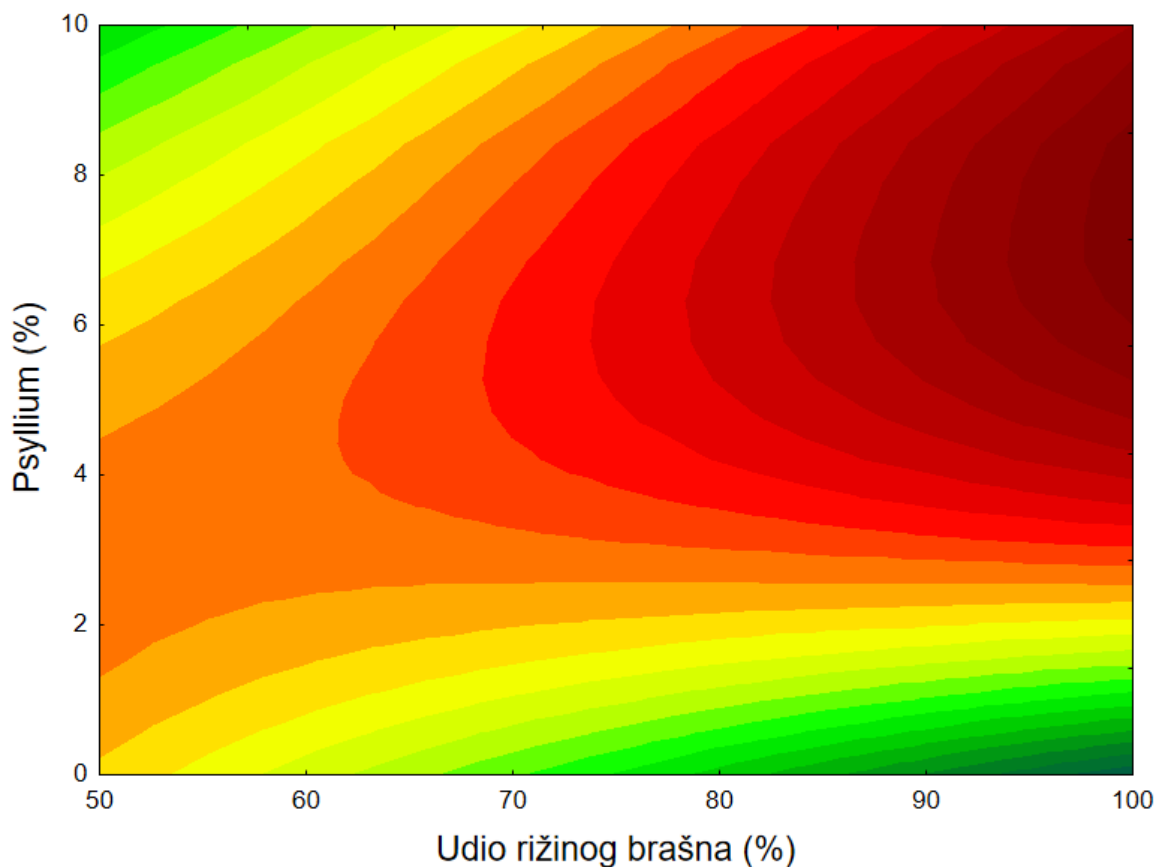
**Tablica 9.** Tablica parametara za izradu funkcije poželjnosti

Odzivne varijable	Donja granica	Kod poželjnosti za donju granicu	Gornja granica	Kod poželjnosti za gornju granicu	Cilj
Broj šupljina ( $N/cm^2$ )	12,67	0	21,35	1	Što veći
Prosječna veličina šupljina ( $mm^2$ )	1,28	0	2,38	1	Što veća

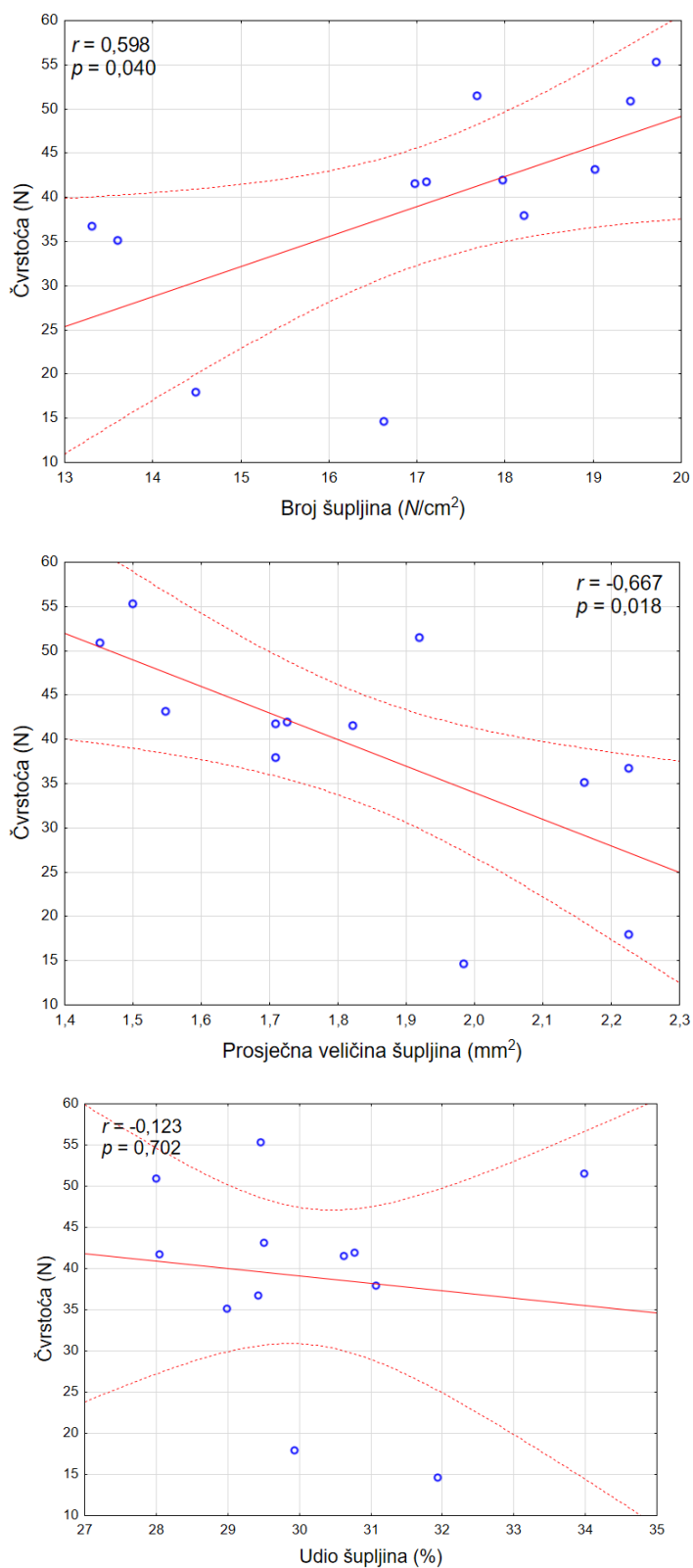
**Izračunata optimalna receptura:**

100% rižinog brašna i 0% kukuruznog škroba

5,42% psyllium praha i 4,58% ksantan gume

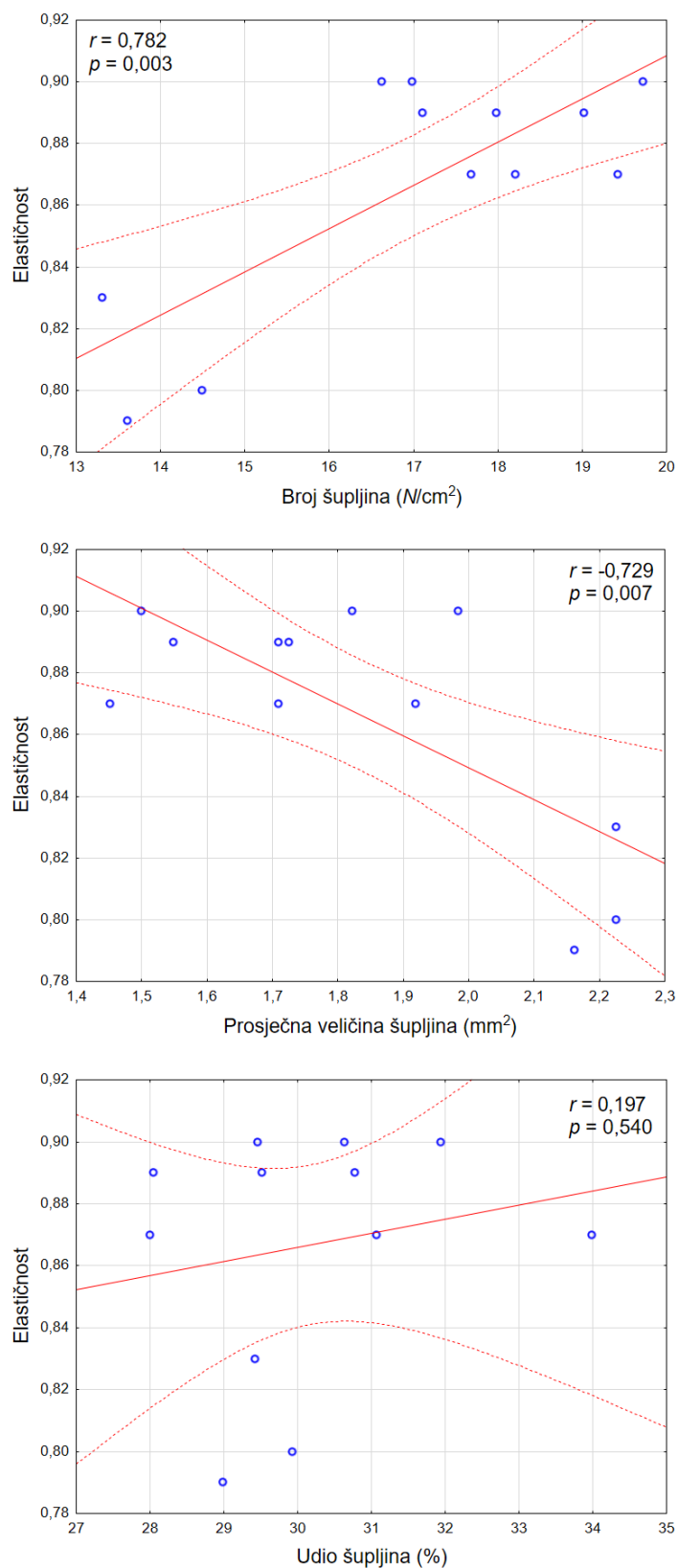
Poželjnost  $D = 0,612$ **Slika 11.** Dijagram funkcije poželjnosti

### 4.3. KORELACIJE PARAMETARA POROZNOSTI I KVALITATIVNIH SVOJSTAVA KRUHA BEZ GLUTENA

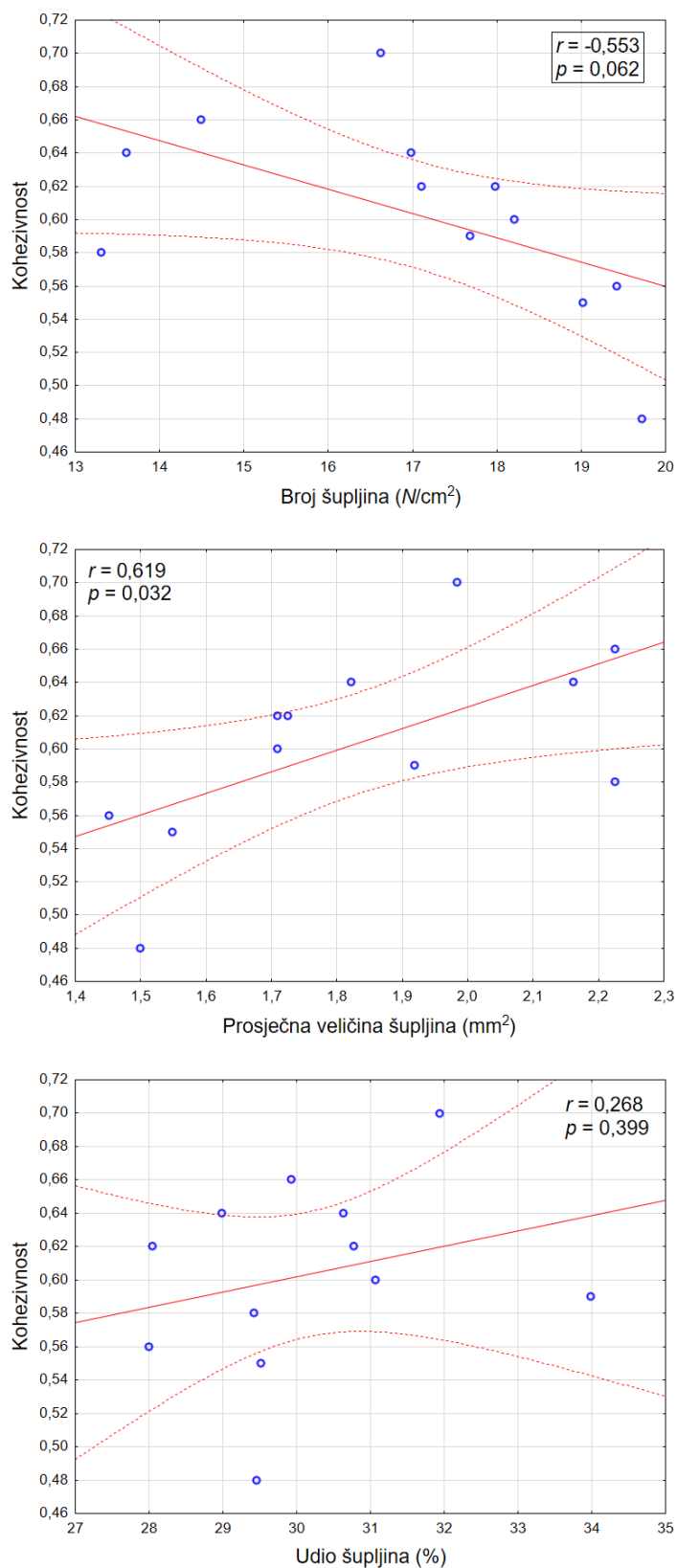


Slika 12. Korelacija između čvrstoće i parametara poroznosti kruha bez glutena

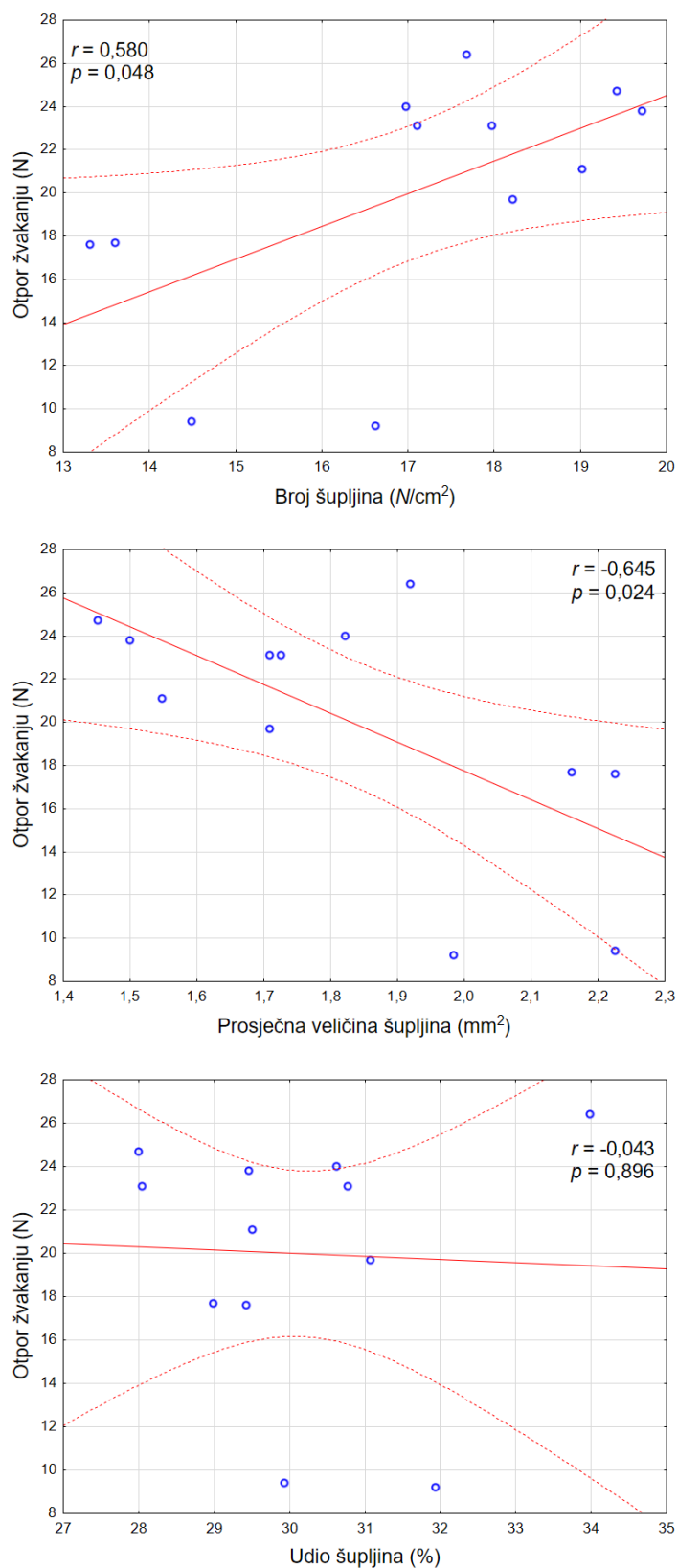




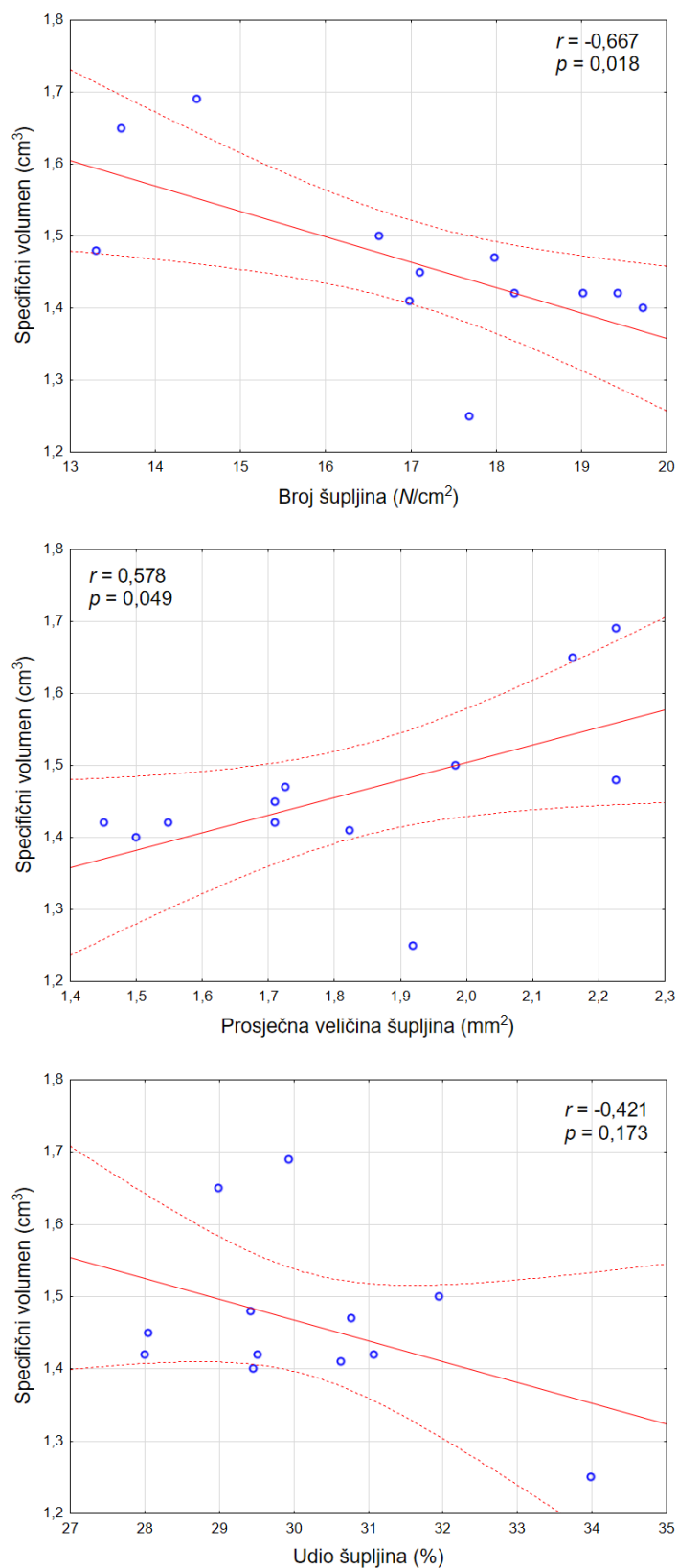
Slika 13. Korelacija između elastičnosti i parametara poroznosti kruha bez glutena



Slika 14. Korelacija između kohezivnosti i parametara poroznosti kruha bez glutena



Slika 15. Korelacija između otpora žvakanju i parametara poroznosti kruha bez glutena



Slika 16. Korelacija između specifičnog volumena i parametara poroznosti kruha bez glutena

## **5. RASPRAVA**

Zadatak rada bio je ispitati utjecaj promjene omjera rižinog brašna i kukuruznog škroba te omjera psyllium praha i ksantan gume na poroznost kruha bez glutena, kao i na ostale kvalitativne parametre. U **Tablici 1 i 2** prikazana je receptura za proizvodnju kruha bez glutena koja je izračunata prema potpunom faktorskom planu pokusa. Ukupna masa rižinog brašna i kukuruznog škroba u svim uzorcima bila je konstantna, a udio rižinog brašna u smjesi s kukuruznim škrobom kretao se od 50% do 100%. Ukupna količina psyllium praha i ksantan gume također je bila konstantna u svim uzorcima (10% računato na masu smjese rižinog brašna i kukuruznog škroba), a udio psylliuma je varirao od 0% do 100%.

Iz rezultata prikazanih u **Tablici 4** vidljivo je da je broj šupljina ( $N/cm^2$ ) bio najveći u uzorku koji je sadržavao 50% rižinog brašna i 50% kukuruznog škroba te 100% psyllium praha. Broj šupljina bio je obrnuto proporcionalan njihovoj prosječnoj veličini pa je tako uzorak koji je imao najveći broj šupljina (50% rižinog brašna i 100% psyllium praha) imao najmanju prosječnu veličinu šupljina ( $1,5 \text{ mm}^2$ ). Najveći udio šupljina (33,9%) imao je uzorak sa 100% rižinog brašna i 100% dodatka psyllium praha, a najmanji (28,0%) uzorak s 50% rižinog brašna i 50% psylliuma.

U **Tablici 5** prikazani su rezultati analize teksturalnog profila i specifičnog volumena kruha bez glutena. Vidljivo je da se čvrstoća kruha smanjuje porastom udjela rižinog brašna, a povećava udjelom psyllium praha u smjesi pa je tako uzorak s 50% rižinog brašna i 10% psylliuma imao najveću čvrstoću (55,3 N). Porastom udjela psylliuma rasla je elastičnost, a opadala kohezivnost kruha bez glutena. Otpor žvakanju je direktno proporcionalan čvrstoći i elastičnosti kruha, a obrnuto proporcionalan kohezivnosti pa su najmanji otpor žvakanju imali uzorci sa 100% rižinog brašna bez psylliuma (9,4 N) i s 50% psylliuma u smjesi sa ksantan gumom (9,2 N). Promjene udjele psyllium praha u recepturi također su utjecale i na specifični volumen kruha bez glutena dok utjecaj udjela rižinog brašna nije utvrđen. Najmanji specifični volumen imali su uzorci sa 100% psyllium praha, odnosno uzorci bez dodane ksantan gume. Rezultati ispitivanja teksture i volumena kruha bez glutena bili su u skladu s ostalim istraživanjima utjecaja psyllium praha na kvalitetu pekarskih proizvoda bez glutena gdje je utvrđeno da do određene granice psyllium ima pozitivan utjecaj, ali prekomjeran dodatak ipak može narušiti kvalitetu teksture kruha bez glutena i njegov volumen (Mancebo i sur., 2014; Fratelli i sur., 2021).

Iz rezultata prikazanih u **Tablici 6** vidljivo je da je psyllium prah utjecao na sve CIELab parametre boje kruha bez glutena. Porast udjela psyllium praha uzrokovao je smanjenje svjetline kruha, odnosno smanjenje  $L^*$  vrijednosti, pa su tako najtamniji uzorci bili oni sa 100% psyllium praha. Osim toga, utvrđeno je povećanje  $a^*$  i smanjenje  $b^*$  kromatske komponente što znači da se boja kruha bez glutena s povećanjem udjela psylliuma pomicala prema crvenim i plavim nijansama. Upravo je to povećanje

crvene i plave nijanse boje uzrokovalo da uzorci s dodatkom psylliuma poprime pomalo ljubičastu nijansu boje.

Na **Slikama 9 i 10** prikazani su dijagrami odzivnih površina za ovisnost broja šupljina kruha bez glutena i njihove prosječnu veličinu o omjerima rižinog brašna i kukuruznog škroba te psyllium praha i ksantan gume. Dobiveni model ovisnosti broja šupljina o promjeni udjela rižinog brašna i psylliuma bio je statistički značajan ( $R^2 = 0,937$ ), a značajan doprinos imali su linearan ( $p < 0,001$ ) i kvadratni član udjela psylliuma ( $p = 0,017$ ) (**Tablica 7**). Vidljivo je da se broj šupljina značajno povećavao povećanjem udjela psyllium praha, dok udio rižinog brašna nije imao značajan utjecaj.

Dobiveni model relacije prosječne veličine šupljina i ulaznih varijabli bio je također statistički značajan ( $R^2 = 0,928$ ), a značajan doprinos imali su linearni član ( $p = 0,001$ ) udjela rižinog brašna, ali i linearni ( $p = 0,001$ ) i kvadratni član udjela psyllium praha ( $p = 0,025$ ) (**Tablica 8**). Prosječna veličina šupljina rasla je povećanjem udjela rižinog brašna, a smanjivala se pri većim udjelima psyllium praha. Za razliku od našeg istraživanja, Fratelli i sur. (2021) su u svom radu utvrdili da broj i udio šupljina kruha bez glutena rastu porastom udjela psylliuma u smjesi dok se njihova prosječna veličina nije mijenjala. Suprotni rezultati mogu se objasniti time da je u našem istraživanju ukupna količina hidrokoloida bila konstantna pa je ksantan guma na određeni način maskirala utjecaj psyllium praha te se može zaključiti da za smanjenje broja šupljina zapravo nije zaslužno povećanje udjela psylliuma, nego upravo smanjenje količine ksantan gume. Općenito se smatra da hidrokoloidi imaju pozitivan utjecaj na poroznost, naročito na ujednačenost šupljina kruha bez glutena (Zoghi i sur., 2021).

Optimiranje recepture kruha bez glutena s obzirom na poroznost provedeno je na način da su odzivne varijable (broj šupljina i njihova prosječna veličina) prevedene u pojedinačne funkcije poželjnosti s vrijednostima 0 - 1, gdje je 0 predstavljala najmanju, a 1 najveću poželjnost određenog svojstva. Odzivne varijable kodirane su tako da je najmanjim izmjerenim vrijednostima dodijeljena poželjnost 0, a najvećim poželjnost 1, odnosno poželjnim su se smatrali uzorci koji su imali veći broj šupljina s većom prosječnom veličinom. Primjenom funkcije poželjnosti, koja predstavlja geometrijsku sredinu poželjnosti pojedinačnih odzivnih varijabli, izračunato je da optimalna receptura za proizvodnju kruha bez glutena sadrži 100% rižinog brašna, odnosno ne sadrži kukuruzni škrob, uz dodatak 5,42% psyllium praha i 4,58% ksantan gume (računato na ukupnu masu brašna). Poželjnost D iznosila je 0,612 (**Tablica 9; Slika 11**).

Na **Slikama 12-16** prikazani su rezultati ispitivanja korelacije između parametara poroznosti i ostalih fizikalnih svojstava kruha bez glutena. Utvrđena je statistički značajna pozitivna linearna korelacija između čvrstoće kruha i broja šupljina ( $r = 0,598$ ;  $p = 0,040$ ) te značajna negativna korelacija između

čvrstoće kruha i prosječne veličine šupljina ( $r = -0,667$ ;  $p = 0,018$ ), dok nije bilo korelacije s udjelom šupljina ( $r = -0,123$ ;  $p = 0,702$ ). Elastičnost i otpor žvakanju kruha bili su u istom odnosu s parametrima poroznosti kruha kao i čvrstoća. Značajno su pozitivno korelirali s brojem šupljina ( $r = 0,782$ ;  $p = 0,003$  i  $r = 0,580$ ;  $p = 0,048$ ), a negativno s njihovom prosječnom veličinom ( $r = -0,729$ ;  $p = 0,007$  i  $r = -0,645$ ;  $p = 0,024$ ), dok korelacija s udjelom šupljina nije utvrđena ( $r = 0,197$ ;  $p = 0,540$  i  $r = 0,197$ ;  $p = 0,540$ ). Kohezivnost i specifični volumen bili su u značajnoj pozitivnoj korelaciji s prosječnom veličinom šupljina ( $r = 0,619$ ;  $p = 0,032$  i  $r = 0,578$ ;  $p = 0,049$ ) dok s udjelom šupljina nije utvrđena statistički značajna korelacija ( $r = 0,268$ ;  $p = 0,399$  i  $r = -0,421$ ;  $p = 0,173$ ). Uz to, specifični volumen bio je u značajnoj negativnoj korelaciji s brojem šupljina ( $r = -0,667$ ;  $p = 0,018$ ). Iz rezultata korelacijske analize je vidljivo da je manji broj šupljina veće prosječne površine uzrokovao mekšu strukturu kruha i smanjenje otpora žvakanju i elastičnosti uz istovremeni rast kohezivnosti i specifičnog volumena pa se može zaključiti da je za teksturu kruha važniji utjecaj strukture samih šupljina nego njihova ukupna površina.



## **6. ZAKLJUČCI**

Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti da kvaliteta kruha bez glutena značajno ovisi o količinama rižinog brašna, kukuruznog škroba, psyllium praha i ksantan gume u recepturi. Rižino brašno imalo je pozitivan utjecaj na teksturu kruha što se očitovalo mekšom strukturom kruha. Psyllium prah imao je suprotan učinak pa se njegovim povećanjem povećavala čvrstoća, ali se u isto vrijeme povećavala i elastičnost proizvoda. Psyllium je uzrokovao i značajno tamnjenje uzoraka kruha bez glutena.

Parametri poroznosti su u velikoj mjeri ovisili o udjelima rižinog brašna i psylliuma. Broj šupljina značajno se povećavao povećanjem udjela psyllium praha, dok udio rižinog brašna nije imao značajan utjecaj na broj šupljina. Prosječna veličina šupljina rasla je povećanjem udjela rižinog brašna, a smanjivala se pri većim udjelima psyllium praha.

S obzirom na poroznost kruha bez glutena optimalna receptura sadrži 100% rižinog brašna uz dodatak 5,42% psyllium praha i 4,58% ksantan gume (računato na ukupnu masu brašna).

## **7. LITERATURA**

- Albrecht T, Klarić F: *Priručnik o pekarstvu i slastičarstvu – teorija i praksa*. TIM ZIP d.o.o., Zagreb, 2010.
- Anton AA, Artfield SD: Hydrocolloids in gluten-free breads: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 59, 11-23, 2008.
- Campbell CG: *Buckwheat – Fagopyrum esculentum Moench*, International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1997.
- Culetu A, Duta DE, Papageorgiou M, Varzakas: *The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Index*. University of Peloponnese, Department of Food Science and Technology, Greece, 2021.
- Čičak AM: *Poremećaji izazvani glutenom u prehrani*. Diplomski rad. Medicinski fakultet, Zagreb, 2016.
- Dolinšek J, Rižnik P, Krenčik T i sur.: *Vodič za život s celijakijom*. Repozitorij Klinike za dječje bolesti Zagreb, Zagreb, 2021.
- Elke KA, Dal Bello F: *Gluten-free cereal products and beverages*. Science Direct, Ireland, 2008.
- El-Zaart: Images thresholding using ISODATA technique with gamma distribution. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 20 (1): 29-41, 2010.
- Feja M, Cortines J, Kessler A: *Xanthan Gum i gluten-free bread*. Jungbunzlauer. From nature to ingredients. Switzerland, 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.
- Gadžo D, Đikić M, Jovović Z, Mijić A: *Alternativni ratarski usjevi*, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 2017.
- Gagro M: *Industrijsko i krmno bilje*. Školska knjiga, Zagreb, 1998.
- Gagro M: *Žitarice i zrnate mahunarke*. Hrvatsko agronomsko društvo, Zagreb, 1997.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK: Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161, 2003a.
- Gallagher E, Kunkel A, Gormley TR, Arendt EK: The effect of dairy and rice powder addition on loaf on loaf and crumb characteristics, and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology* 218, 44-48, 2003b.
- Gonzales-Barron U, Butler F: A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumbs features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74: 268-278, 2006.
- Gulin, M: *Utvrdjivanje prisutnosti glutena u različitim sortama riže Elisa metodom*. Diplomski rad. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2020.
- Hibik, A: *Primjena mikroskopije i računalne analize slike u ispitivanju kvalitete tiska*. Završni rad. Filozofski fakultet, Osijek, 2019.
- 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.
- Hrga, M: *Računalni vid*. Stručni rad. Veleučilište u Šibeniku, 2018.
- Kalavathi PA: Thresholding Method for Color Image Binarization. *SSRG International Journal of Computer Science and Engineering*, 1(7):31-40, 2014.

- Kalyankar S, Khedkar C, Patil AM, Deosarkar S: *Milk: Sources and Composition*. Encyclopedia of food and health. London, 2016.
- Kimbell, V: *Škola zdravog kruha*. Planetopija, Zagreb, 2018.
- 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.
- Lazarević D, Mišić M, Ćirković B: *Postojeće tehnike za segmentaciju slike*. Festival kvaliteta, 2014.
- Leon K, Mery D, Pedreschi D, Leon D. Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39: 1084-1091, 2006.
- Lončarić, S: *Segmentacija slike*. Materijali s predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.
- 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.
- Mendoza F, Dejmeck P, Aguilera JM: Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3): 285-295, 2006.
- MPŠVG. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnog gospodarstva. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piše, NN br. 47/2008.
- Petković, T: *Kratke upute za korištenje MATLAB-a*. Zagreb, 2005.
- Petrusha O, Daschynska O, Shulika A: Development of the measurement method of porosity of bakery products by analysis of digital image. *Technology Audit and Production Reserves*, 2/3(40):61-66, 2018.
- Pospišil, A: *Ratarstvo I. dio*, Zrinski d.d., Čakovec, 2010.
- Pozderac I, Mijandrušić Sinčić B: *Poremećaji povezani s glutenom*. Kratki pregledni članak. doi:10.21860, 2019.
- Ridler TW, Calvard S: *Picture thresholding using an iterative selection method*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 8(8): 630-632, 1978.
- Rosell CM, Rojas JA, Benedito de Barber C: Influence of Hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloid* 15, 75-81, 2001.
- Schünemann C, Günter T: *Tehnologije proizvodnje pekarskih i slastičarskih proizvoda*. TIM ZIP d.o.o., Zagreb, 2012.
- Subota, N: *Mogućnosti obrade riže u prehrambenoj industriji*. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2016.
- Tunjić, I: *Osnovni elementi marketinške pripreme proizvodnje kukuruznog brašna*. Završni rad. Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci, 2020.
- Turkalj, B: *Heljda (Fagopyrum esculentum) – zaboravljena biljka ili biljka budućnosti*. Završni rad. Poljoprivredni fakultet, Osijek, 2013.
- Zoghi A, Mirmahdi R, 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, 2021.