



# **Valorizacija nutritivnog profila keksa proizvedenog sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije**

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

**Mentor:**  
**Prof. dr Biljana Pajin**

**Kandidat:**  
**MSc Jovana Petrović**

**Novi Sad, 2018.**

UNIVERZITET U NOVOM SADU  
Tehnološki fakultet, Novi Sad

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

<b>Redni broj:</b> RBR	
<b>Identifikacioni broj:</b> IBR	
<b>Tip dokumentacije:</b> TD	Monografska publikacija
<b>Tip zapisa:</b> TZ	Tekstualni štampani materijal
<b>Vrsta rada:</b> VR	Doktorska disertacija
<b>Autor:</b> AU	Jovana Petrović, master inž. tehnologije
<b>Mentor/komentor:</b> MN	dr Biljana Pajin, redovni profesor
<b>Naslov rada:</b> NR	Valorizacija nutritivnog profila keksa proizvedenog sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije
<b>Jezik publikacije:</b> JP	srpski, latinica
<b>Jezik izvoda:</b> JI	srpski, engleski
<b>Zemlja publikovanja:</b> ZP	Srbija
<b>Uže geografsko područje:</b> UGP	Vojvodina
<b>Godina:</b> GO	2018.
<b>Izdavač:</b> IZ	autorski reprint
<b>Mesto i adresa:</b> MA	21000 Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1
<b>Fizički opis rada:</b> FO	Broj poglavlja: 6 Strana: 165 Literaturnih citata: 175 Tabela: 68 Slika: 84

<b>Naučna oblast:</b> NO	Prehrambeno inženjerstvo
<b>Naučna disciplina:</b> ND	Inženjerstvo ugljenohidratne hrane
<b>Predmetna odrednica/ ključne reči: PO</b>	Čajno pecivo, pšenična klica, pivski trop, trop jabuke, reologija, hemijske karakteristike, senzorske karakteristike
<b>UDK</b>	
<b>Čuva se:</b> ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu 21000 Novi Sad, Srbija, Bulevar cara Lazara 1
<b>Važna napomena:</b> VN	/
<b>Izvod/abstrakt:</b> IA	<p>Zadatak ove teze je da se ispita uticaj zamene dela pšeničnog brašna ekstrudiranim snek proizvodima obogaćenim dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke na svojstva testa (boja, fizička, reološka) kao i na karakteristike čajnog peciva (fizičke, senzorske, nutritivne, trajnost, mikrobiološke). U toku preliminarnih ispitivanja (prva faza eksperimentalnog rada) ispitan je uticaj obezmašćene pšenične klice na kvalitet testa i čajnog peciva u cilju definisanja optimalnog nivoa zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije i optimalnog sadržaja vlage testa. Pšenično brašno je u količini od 5, 10 i 15 % zamenjeno obezmašćenom pšeničnom klicom. Pored uticaja nivoa zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom, ispitan je i uticaj veličine čestica pšenične klice (&lt;150 μm, 150-1000 μm i 800-2000 μm), kao i vlage testa pri zamesu (20, 22 i 24 %). U toku druge faze eksperimentalnog rada ove doktorske disertacije, pripremljeni su ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije i to: pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke u udelima 15, 30 i 45 % (odnos kukuruzna krupica:sporedni proizvod bio je 85:15, 70:30 i 55:45). Dobijeni ekstrudati su samleveni i prosejani na sitima u cilju dobijanja tri frakcije sa različitim veličinama čestica (&lt; 250 μm, 250 - 1000 μm i 1000 - 2000 μm). Izvršena je karakterizacija ekstrudata u smislu određivanja hemijskog sastava, raspodele veličine čestica, boje i mikrobiološke analize. Ovako dobijeni ekstrudati su zatim korišćeni u proizvodnji čajnog peciva kao zamena pšeničnog brašna u količinama od 5, 10 i 15 % računato na masu brašna. Za procenu uticaja veličine čestica ekstrudata, udela sporednog proizvoda u ekstrudatu i udela ekstrudata u čajnom pecivu na osobine testa i čajnog peciva takođe je korišćen Box-Behnken eksperimentalni dizajn. Rezultati su pokazali da je moguća proizvodnja funkcionalnog čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene sporednim proizvodima prehrambene industrije, pri čemu se poboljšava nutritivni profil čajnog peciva, bez</p>

negativnih efekata na fizičke i senzorske karakteristike gotovog proizvoda.

**Datum prihvatanja teme od strane senata:** 23.06.2016.  
**DP**

**Datum odbrane:**  
**DO**

**Članovi  
komisije:**  
**KO**

dr Aleksandar Fišteš, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, predsednik komisije

dr Biljana Pajin, redovni profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, mentor

dr Dušan Rakić, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član

dr Drago Šubarić, redovni profesor, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, član

dr Ivana Lončarević, naučni saradnik, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
Faculty of Technology, Novi Sad****KEY WORDS DOCUMENTATION**

**Accession number:**  
ANO

**Identification number:**  
INO

**Document type:**  
DT Monographic publication

**Type of record:**  
TR Textual material, printed

**Contents code:**  
CC Ph. D. thesis

**Author:**  
AU Jovana Petrović, BSc.

**Menthor/comenthor:**  
MN Dr Biljana Pajin, full professor

**Title:**  
TI Valorization of the nutritional profile of cookies produced with the addition of food industry by-products

**Language of text:**  
LT Serbian

**Language of abstract:**  
LA Serbian/English

**Country of publication:**  
CP Serbia

**Locality of publication:**  
LP Vojvodina

**Publication year:**  
PY 2018.

**Publisher:**  
PB Author's reprint

**Publication place:**  
PL 21000 NOVI SAD, Bulevar cara Lazara 1

**Physical description:**  
PD Chapters: 6  
Pages: 165  
References: 175  
Tables: 68  
Figures: 84

<b>Scientific field:</b> SF	Food engineering
<b>Scientific discipline:</b> SD	Carbohydrate food engineering
<b>Subject/key words:</b> SX VC	Cookies, wheat germ, brewer's spent grain, apple pomace, rheology, chemical characteristics, sensory characteristics
<b>Holding date:</b> HD	Library of Faculty of Technology, Novi Sad 21000 NOVI SAD, Serbia, Bulevar cara Lazara 1
<b>Note:</b> N	/
<b>Abstract:</b> AB	<p>The aim of this study is to examine the effect of replacing a portion of wheat flour with extruded snack products enriched with the addition of wheat germ, brewer's spent grain and apple pomace on the rheological and textural properties of dough and on characteristics of cookies (physical, sensory, nutritive, microbiological). During the preliminary analysis (the first phase of the experimental work), the influence of defatted wheat germ particle size, wheat germ content and dough moisture content on the quality of the dough and the cookies was investigated using the Box-Behnken experimental design. During the second phase of the experimental work, the extruded corn meal with the addition of by-products of the food industry (wheat germ, brewer's spent grain and apple pomace) were prepared (the ratio of corn meal: by-product was 85:15, 70:30 and 55:45). The obtained snack products are milled and sieved to obtain 3 fractions with different particle sizes (&lt;250 µm, 250-1000 µm and 1000-2000 µm). Characterization of the extrudates in terms of determining the chemical composition, particle size distribution, color and microbiological analysis was performed. The obtained extrudates were then used in the production of cookies for the replacement of wheat flour in quantities of 5, 10 and 15%. The Box-Behnken experimental design was used to evaluate the influence of the extrudate particle size, the share of the by-product in the extrudate, and the share of extrudates in the cookies, on the dough properties and cookies characteristics.</p> <p>The results showed that the corn snack products enriched with food industry by-products (brewer's spent grain, wheat germ and apple pomace) can be used for production of functional cookies. These additives in an amount up to 15% improving the nutritional profile of the cookies, without adverse effects on the physical and sensory characteristics of the final product.</p>
<b>Accepted on Senate on:</b> AS	23.06.2016.

**Defended on:**

**DE**

**Thesis defend**

**board :**

**DB**

dr Aleksandar Fišteš, associate professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad, president

dr Biljana Pajin, full professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad, mentor

dr Dušan Rakić, associate professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad, member

dr Drago Šubarić, full professor, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Food Technology Osijek, member

dr Ivana Lončarević, research fellow, Faculty of Technology, University of Novi Sad, member

# SADRŽAJ

---

UVOD.....	1
1. OPŠTI DEO .....	3
1.1. ČAJNO PECIVO .....	3
1.1.1. Sirovine u proizvodnji čajnog peciva .....	4
1.1.2. Reološke karakteristike testa za keks.....	6
1.1.3. Trajnost čajnog peciva.....	8
1.2. FUNKCIONALNA HRANA I POZICIJA KEKSA U FUNKCIONALNIM PROIZVODIMA .....	9
1.3. SPOREDNI PROIZVODI PREHRAMBENE INDUSTRIJE KAO POTENCIJALNI IZVOR FUNKCIONALNIH JEDINJENJA .....	10
1.3.1. Pšenična klica .....	14
1.3.2. Pivski trop.....	16
1.3.3. Trop jabuke .....	18
1.4. PROCES EKSTRUDIRANJA KAO NAČIN PRIPREME SPOREDNIH PROIZVODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE ZA NJIHOVU PRIMENU U PREHRAMBENIM PROIZVODIMA .....	19
1.4.1. Nutritivne promene hrane tokom procesa ekstrudiranja .....	20
1.4.1.1. Proteini .....	21
1.4.1.2. Aminokiseline .....	21
1.4.1.3. Majlardove reakcije.....	22
1.4.1.4. Skrob.....	22
1.4.1.5. Prehrambena vlakna .....	23
1.4.1.6. Lipidi .....	24
1.4.1.7. Vitamini .....	25
1.4.1.8. Mineralne materije .....	26
1.4.1.9. Uticaj procesa ekstrudiranja na ostale nenutritivne sastojke hrane .....	27
1.5. PLANIRANJE EKSPERIMENTA .....	28
1.5.1. Box-Behnken dizajn.....	29
2. EKSPERIMENTALNI DEO .....	32
2.1. MATERIJAL.....	33
2.2. METODE.....	34
2.2.1. PRVA FAZA EKSPERIMENTALNOG RADA – UTICAJ VELIČINE ČESTICA I UDELA OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA.....	34



2.1.2.1. Plan eksperimenta.....	34
2.1.2.2. Određivanje sposobnosti zadržavanja vode (AWRC) suspenzije smeša pšeničnog brašna i obezmaščene pšenične klice .....	36
2.1.2.3. Probno pečenje čajnog peciva .....	37
2.1.2.4. Tvrdća testa .....	37
2.1.2.5. Rastegljivost i otpor pri rastezanju testa.....	38
2.1.2.6. Dinamička oscilatorna merenja.....	39
2.1.2.7. Krive puzanja testa (creep & recovery test).....	40
2.1.2.8. Određivanje hemijskih karakteristika sirovina i čajnog peciva .....	41
2.1.2.9. Tvrdća čajnog peciva .....	42
2.1.2.10. Instrumentalno određivanje boje .....	43
2.1.2.11. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva .....	45
2.1.2.12. Senzorska analiza .....	45
2.2.2. DRUGA FAZA EKSPERIMENTALNOG RADA – UTICAJ EKSTRUDATA KUKURUZNE KRUPICE OBOGAĆENIH SPOREDNIM PROIZVODIMA PREHRAMBENE INDUSTRIJE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA.....	48
2.2.2.1. Proizvodnja ekstrudata .....	48
2.2.2.2. Određivanje hemijskih karakteristika ekstrudata .....	52
2.2.2.3. Određivanje raspodele veličine čestica ekstrudata .....	52
2.2.2.4. Instrumentalno određivanje boje ekstrudata .....	53
2.2.2.5. Mikrobiološka analiza ekstrudata .....	54
2.2.2.6. Plan eksperimenta.....	55
2.2.2.5. Probno pečenje čajnog peciva .....	57
2.2.2.6. Reološke i teksturalne karakteristike testa .....	57
2.2.2.7. Karakteristike čajnog peciva.....	58
2.2.2.8. Senzorska analiza čajnog peciva.....	58
2.2.2.9. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva .....	60
2.2.2.10. Mikrobiološka analiza čajnog peciva.....	60
3. REZULTATI I DISKUSIJA .....	61
3.1. PRVA FAZA - UTICAJ OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA	61
3.1.1. AWRC VREDNOST SMEŠA PŠENIČNOG BRAŠNA I OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE .....	61
3.1.2. OSOBINE TESTA .....	61
3.1.2.1. Dinamička oscilatorna merenja.....	61
3.1.2.2. Krive puzanja testa (creep & recovery test).....	66
3.1.2.3. Teksturalne karakteristike testa.....	68

---

3.1.3. OSOBINE ČAJNOG PECIVA SA DODATKOM OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE .....	72
3.1.3.1. Hemijske karakteristike čajnog peciva .....	72
3.1.3.2. Fizičke karakteristike čajnog peciva .....	74
3.1.3.3. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva .....	78
3.1.3.4. Senzorske karakteristike čajnog peciva.....	80
3.2. DRUGA FAZA – UTICAJ EKSTRUDATA OBOGAĆENIH PŠENIČNOM KLICOM, PIVSKIM TROPOM I TROPOM JABUKE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA .....	84
3.2.1. KARAKTERIZACIJA EKSTRUDATA .....	84
3.2.1.1. Određivanje hemijskih karakteristika ekstrudata .....	84
3.2.1.2. Raspodela veličine čestica ekstrudata.....	85
3.2.1.3. Boja ekstrudata .....	89
3.2.1.4. Mikrobiološka analiza ekstrudata .....	91
3.2.2. OSOBINE TESTA .....	92
3.2.2.1. Reološke karakteristike .....	92
3.2.2.2. Teksturalne karakteristike testa.....	107
3.2.3. Karakteristike čajnog peciva.....	115
3.2.3.1. Hemijske karakteristike čajnog peciva .....	115
3.2.3.2. Fizičke karakteristike čajnog peciva .....	123
3.2.3.3. Senzorske karakteristike čajnog peciva.....	132
3.2.3.4. Sadržaj hidrosimetilfurfurala (HMF).....	143
3.2.3.4. Mikrobiološka analiza.....	144
4. ZAKLJUČCI.....	149
5. LITERATURA.....	153

## UVOD

Keks i proizvodi srodni keksu predstavljaju jednu od najzastupljenijih vrsta proizvoda namenjenih ljudskoj ishrani. To su beskvasni, hrskavi, slatki ili slani proizvodi za koje je karakterističan mali sadržaj vlage i visok sadržaj šećera i masti. Pšenično brašno čini osnovnu sirovinu za proizvodnju keksa zbog svojih proteina koji imaju sposobnost da formiraju gluten. Proteini pšeničnog brašna uz dodatak vode, masti, šećera i ostalih komponenti formiraju elastično testo odgovarajuće konzistencije koje nakon oblikovanja, pečenja i hlađenja daje hbroj grupa koje se međusobno razlikuju prema sirovinskom sastavu (udelu masti i šećera) i načinu oblikovanja i mogu imati različitu veličinu, ukus i teksturu.

Iako su prvi oblici keksa bili osušeni komadi testa napravljeni od brašna i vode, koji su se koristili kao dugotrajna hrana za mornare, keks i njemu srodni proizvodi danas mogu biti glavni obrok, grickalice, luksuzni poklon, dijetetski proizvodi, hrana za decu, hrana za pse i mačke, dodatak čokoladi i kremu. Industrija keksa i proizvoda srodnih keksu je jedna od najrazvijenijih prehrambenih industrija u svetu. Potrošnja keksa po glavi stanovnika u Sjedinjenim Američkim državama iznosi više od 10 kg po glavi stanovnika, u Ujedinjenom Kraljevstvu i Zapadnoevropskim zemljama više od 4,25 kg, Kina ima potrošnju po stanovniku 1,90 kg, Japan 7,5 kg, a Indija 2,1 kg (Ahmad i Ahmed, 2014). Za njihovu ovako veliku zastupljenost zaslužni su dug rok trajanja na temperaturi okoline, relativno niska cena u odnosu na druge proizvode namenjene uživanju, laka dostupnost, ljudska slabost za šećerom, jednostavnost za upotrebu i veliki broj varijacija veličine, oblika, ukusa, pakovanja koje se dopadaju svim generacijama.

Međutim, istraživanja su potvrdila da su velike količine masti, a naročito zasićene masti faktor koji doprinosi bolestima srca, a visok nivo šećera u ishrani se smatra štetnim za zdravlje ljudi i glavni je faktor u pojavi zubnog karijesa. Ali pre nego što keks osudimo kao „nezdravu“ hranu, treba uzeti u obzir da on zapravo i jeste prvobitno napravljen kao izvor energije sa dugim rokom trajanja i da je namenjen korišćenju u slučaju prirodnih ili vojnih katastrofa.

S obzirom na to da se prehrambena industrija danas nalazi pred brojnim izazovima koji su, sa jedne strane, usmereni na stalni porast potražnje za hranom, a sa druge strane na razvoj proizvoda koji neće zadovoljiti samo osnovne prehrambene potrebe, već će imati i pozitivan uticaj na zdravlje ljudi, jedna od glavnih smernica razvoja prehrambene industrije je pronalaženje novih, jeftinih sirovina kao izvora potencijalno funkcionalnih sastojaka. Velika

zastupljenost keksa i srodnih proizvoda u strukturi dnevnog obroka omogućava da se promenom njihovog sirovinskog sastava pojedine nutritivno vredne komponente uspešno uvedu u ishranu ljudi.

## **Cilj istraživanja**

Savremeni trend proizvodnje funkcionalne hrane nameće poboljšanje kvaliteta svih konditorskih proizvoda, uključujući i keks i srodne proizvode. Ovi proizvodi su široko rasprostranjeni, konzumiraju se na svim kontinentima, od strane ljudi svih starosnih doba, naročito dece, predstavljaju jeftinu hranu i imaju relativno dug rok trajanja, tako da predstavljaju veoma pogodnu osnovu za dodatak različitih, biološki aktivnih komponentata koje će uticati na poboljšanje njegovih nutritivnih karakteristika. Pored preporuka nutricionista o neophodnoj kontroli njihovog dnevnog unosa, zastupljenost konditorskih proizvoda u svakodnevnoj ishrani fokusirala je pažnju naučnika, ali i potrošača na nutritivnu vrednost ove grupe proizvoda. Na tržištu se mogu naći konditorski proizvodi koji zahvaljujući dodatku vitamina, minerala, prehrambenih vlakana, antioksidanasa, smanjenju ili zameni masti i šećera u sirovinskom sastavu, predstavljaju funkcionalne namirnice.

Budući da se u Srbiji, a i u svetu prerađuju značajne količine pšenice, jabuke, proizvode značajne količine piva, u toku ovih postupaka zaostaje značajna količina sporednih proizvoda – trop jabuke, pivski trop, pšenična klica, koji sadrže visokovredne nutritivne komponente. Oni su prvenstveno dobar izvor prehrambenih vlakana, ali i drugi sastojci poput polifenola, vitamina i minerala ovim sirovinama daju dodatnu nutritivnu vrednost. Do sada su se ove sirovine najčešće koristile kao hrana za životinje.

Cilj ove teze je optimizacija količine sporednih proizvoda koji se mogu dodati čajnom pecivu, kao jednom od najzastupljenijih vrsta keksa, u formi kukuruznih snek proizvoda, kao i optimizacija parametara proizvodnje tako da se dobije nutritivno obogaćen finalni proizvod, prihvaćen od strane potrošača. Zadatak ove teze je da se ispita uticaj zamene dela pšeničnog brašna ekstrudiranim snek proizvodima obogaćenim dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke na svojstva testa (boja, fizička, reološka) kao i na karakteristike čajnog peciva (fizičke, senzorske, nutritivne, trajnost, mikrobiološke). Ispitivanja obuhvaćena ovom tezom daće „kostur“ za planiranje budućih naučnih ispitivanja u smislu planiranja eksperimenata, razvijanja laboratorijskih metoda i tehnika, kao i optimizacije intervala količine dodatih kukuruznih snek proizvoda, količine dodatka sporednih proizvoda u kukuruzne snek proizvode i parametara proizvodnje.

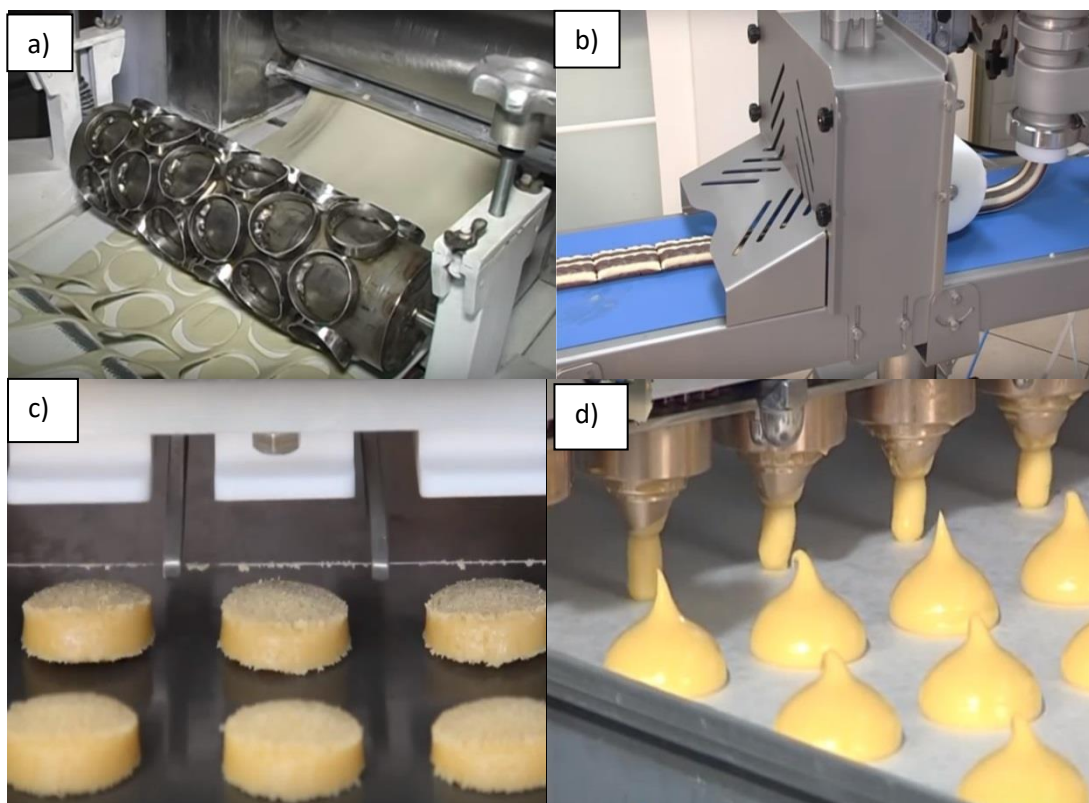
# 1. OPŠTI DEO

## 1.1. ČAJNO PECIVO

Prema Pravilniku o kvalitetu i drugim zahtevima za fine pekarske proizvode (2016), žita za doručak i snek proizvode „čajno pecivo je proizvod od testa izrađenog od brašna žita i drugih mlinskih proizvoda, masnoća, šećera i drugih namirnica. Čajno pecivo sadrži najmanje 10% masti računato na gotov proizvod”. Osnovna razlika između čajnog peciva i drugih vrsta keksa je veći sadržaj šećera i masti u čajnom pecivu i to što su napravljeni od testa kome nedostaje rastegljivost i elastičnost. Pšenično brašno je glavni sastojak, ali količine masti i šećera prisutne u testu stvaraju plastično i kohezivno testo uz minimalno formiranje mreže glutena. Struktura pečenog keksa sastoji se od mešavine proteina, skroba i rastopljenog šećera. Ne postoji kontinualna proteinska matrica, a mast je prisutna u obliku velikih globula ili većih međusobno povezanih masa između proteina i skroba. Ovakve karakteristike testa rezultuju proizvodima koji tokom pečenja imaju tendenciju da povećavaju svoju dimenziju u u širini i dužini umesto da se smanjuju kao krekeri i tvrdi keks, a tekstura proizvoda je obično relativno gruba. Ova grupa keksa omogućava primenu široke palete sirovinskih sastava i nije iznenađujuće što proizvodnja čajnog peciva daleko prevazilazi sve ostale na tržištima razvijenih zemalja (Manley, 2001).

Čajno pecivo obuhvata četiri grupe proizvoda, koje se međusobno razlikuju prema sirovinskom sastavu i načinu oblikovanja, ali i prema obliku, izgledu gornje površine i veličini: formovano, presovano, rezano i istisnuto čajno pecivo. Testo za formovano čajno pecivo sadrži visok udeo masti i 14-16 % vlage, a nakon mešenja se oblikuje utiskivanjem kalupa koji se nalaze urezani na omotaču od bronzne (Slika 1.1a). Ovi proizvodi na površini imaju jasne oštre ivice, imaju najmanju visinu i finu poroznu strukturu sa sitnim, okruglim, uniformno raspoređenim šupljinama. Testo za presovano čajno pecivo sadrži 20-24 % vlage, nakon mešenja odmara 1-2 sata i potom se oblikuje potiskivanjem kroz kalup sa otvorima, a dobijene trake se seku na željenu dužinu pomoću noža (Slika 1.1.b). Oblikovanje testa za rezano čajno pecivo se izvodi rezanjem žicom testa koje se potiskuje kroz kalupe, kao što je prikazano na Slici 1.1c. Ovo testo sadrži 18-26 % vlage i oblikuje se odmah posle zamesa. Rezano čajno pecivo ima visinu od oko 40 mm, bočne strane imaju oštre ivice, a površina je hrapava. Struktura ove podgrupe čajnog peciva je zrnasta i suva. Na Slici 1.1.d prikazan je

način proizvodnje istisnutog čajnog peciva. U ovom slučaju, testo mora biti mekše konzistencije jer se istiskuje kroz kalupe oblika prosečene kape koji stoje u uspravnom položaju, a donji deo kape kroz koji izlazi testo je manjeg prečnika od gornjeg dela. Istisnuto čajno pecivo ima oštre ivice – otiske kalupa, fino zrnastu strukturu, pri žvakanju je trošno, drobljivo, krto i brzo omekšava. Nakon oblikovanja, testo se peče 5-8 min. na temperaturi od 190 do 220 °C, hladi i pakuje u odgovarajuću ambalažu (Gavrilović, 2003).



**Slika 1.1.** Način oblikovanja različitih vrsta čajnog peciva: a) formovano; b) presovano; c) rezano; d) istisnuto

### **1.1.1. Sirovine u proizvodnji čajnog peciva**

Razumevanje uloge sirovina u proizvodnji nekog proizvoda, omogućava rešavanje problema koji mogu nastati tokom proizvodnje, poboljšanje kvaliteta proizvoda i očuvanje kvaliteta proizvoda.

**Pšenično brašno** je osnovna sirovina za proizvodnju čajnog peciva. Proteini u pšeničnom brašnu, gliadini (prolamini) i glutenini (glutelini), imaju jedinstvenu sposobnost da formiraju glutensku mrežu, a time i viskoelastično testo koje će nakon oblikovanja i pečenja dati proizvod odgovarajuće strukture. Glutenini su veliki polimerni proteini povezani disulfidnim vezama. Ovi proteini daju jačinu i elastičnost testa. Gliadini su manji monomerni

proteini koji su odgovorni za širenje testa. I količina i kvalitet ovih proteina važni su za karakteristike testa. Brašna meke pšenice obično imaju nizak sadržaj proteina (8 do 10%), a proteini su slabiji, što su karakteristike koje su pogodne za proizvodnju keksa i srodnih proizvoda. Gluten može biti jak i težak za istezanje, ali vrlo elastičan, što je pogodno za proizvodnju hleba, dok je za proizvodnju keksa i srodnih proizvoda poželjno da gluten bude slab i da se lako može istegnuti, ali ne elastičan. U određenoj meri kvalitet glutena može se korigovati pomoću aditiva i različitih tehnika obrade testa. Pšenično brašno, pored proteina, sadrži više od 70% skroba (Sollars i Rubenthaler, 1971). Jedna od najvažnijih osobina skroba je njegova sposobnost da bubri i upija vodu kada se zagreje, pri čemu granula skroba raste, puca, oslobađajući prvenstveno amilozu, a zatim amilopektin. Ovaj proces se naziva želatinizacija. Utvrđeno je da u procesu mlevenja pšenice i proizvodnje brašna, neke od granula skroba mogu biti fizički oštećene. Ovo ima veliki uticaj na svojstvo apsorpcije vode brašna pri zamesu testa, tako da se može zaključiti da i nivo proteina i nivo mehanički oštećenog skroba imaju veliki uticaj na osobine apsorbovanja vode brašna. Za proizvodnju keksa, jer gotovi proizvod mora biti skoro potpuno suv, količina vode koja se koristi za proizvodnju testa treba da bude minimalna, tako da se preporučuje upotreba brašna sa malom moći apsorpcije vode, a time niskim sadržajem proteina i malim stepenom oštećenjem skroba.

**Šećer** kao neophodna sirovina u proizvodnji čajnog peciva utiče prvenstveno na ukus. Saharozu se rastvara u vodi, a nakon pečenja rekristališe i formira amorfnu čvrstu masu. Na ovaj način veoma utiče na teksturu proizvoda i ukoliko je količina saharoze veća, keks je tvrdi (Manley, 2001). Međutim, u umerenim količinama, deluje kao omekšivač zbog sposobnosti saharoze da zadrži vodu (Schanot, 1981).

**Mast** je sastojak od suštinskog značaja u proizvodnji keksa i najzastupljenija je sirovina nakon brašna i šećera. Tokom mešenja testa, mast deluje kao lubrikant i kada je mast prisutna u velikim količinama, ovaj efekat je toliko izražen da je veoma malo vode potrebno za postizanje meke konzistencije testa. Dodavanje masti omekšava testo, smanjuje viskozitet i vreme odmaranja testa. Takođe, mast se takmiči sa vodenom fazom za obavijanje površine čestica brašna i time sprečava hidrataciju proteina brašna i formiranje mreže glutena u testu. Kad se pomeša sa brašnom pre hidracije, mast sprečava stvaranje mreže glutena i testo koje se na ovaj način dobije postaje manje elastično. Visoko elastično testo nije poželjno u proizvodnji čajnog peciva. Čajno pecivo je proizvod koji se odlikuje velikom raznovrsnošću oblika, tako da je za dobijanje ove vrste proizvoda, zbog karakterističnih načina oblikovanja



testanih komada, neophodno da testo bude više plastično, kako bi se nakon oblikovanja i pečenja zadržali željeni oblik i gravura (Menjivar i Faridi, 1994). Bubrežje i želatinizacija skroba se takođe smanjuje pri visokom sadržaju masti, dajući manju tvrdoću krajnjem proizvodu. Mast doprinosi povećanju dužine i smanjenju debljine i mase čajnog peciva, utiče na teksturu i na ukus kranjeg proizvoda. Proizvodi sa većim sadržajem masti imaju manju tvrdoću i bolje se tope u ustima (Manley, 2001).

So se koristi za poboljšanje ukusa. Njena koncentracija za postizanje optimalnog, svojstvenog ukusa čajnog peciva iznosi oko 1-1,5 % u odnosu na masu brašna, a na nivou od više od 2,5 % ukus postaje neprijatan. Pored toga, so ima ulogu i u formiranju teksture testa tako što povećava jačinu glutena i smanjuje lepljivost testa, a može i blago inhibirati delovanje proteolitičkih enzima na gluten (Manley, 2001).

Sredstva za narastanje se dodaju u testo kako bi tokom zamesa i ranih faza pečenja testa došlo do formiranja gasa u cilju dobijanja proizvoda sa karakterističnom poroznom ćelijskom strukturom. Natrijum bikarbonat (soda bikarbona) koristi se kao sredstvo za narastanje u proizvodima koji sadrže kiseli sastojak, kao što su sirće, puter, čokolada, med ili voće. Natrijum bikarbonat oslobađa ugljen-dioksid kada se zagreva ili kada se pomeša sa kiselinom, bilo u toploj ili hladnoj sredini. U odsustvu kiselina, prilikom zagrevanja, bikarbonat će osloboditi deo svog ugljen-dioksida i ostati u obliku natrijum-karbonata, što je korisno u slučaju potrebe prilagođavanja pH vrednosti testa i krajnjeg proizvoda. Ukoliko je ovo nepoželjno, dodaju se kiseline koje će neutralisati nastali natrijum-karbonat. Pored natrijum bikarbonata, kao sredstvo za narastanje koristi se i amonijum bikarbonat. Amonijum bikarbonat se potpuno disosuje na ugljen-dioksid, amonijak i vodu. U vodi je veoma rastvorljiv i veoma je bazan, usled čega omekšava testo, koje zbog toga zahteva manju količinu vode za postizanje željene konzistencije. Zbog potpune disocijacije i nastanka gasova koji tokom pečenja isparavaju, amonijum bikarbonat nije efikasan kao sredstvo za prilagođavanje pH vrednosti gotovog proizvoda, za razliku od natrijum bikarbonata (Kichline i Conn, 1970).

### **1.1.2. Reološke karakteristike testa za keks**

Reološke karakteristike testa su veoma važne, jer utiču na obradu testa tokom proizvodnje, kao i na kvalitetne osobine gotovog proizvoda kao što su geometrija (npr. širenje



keksa ili zapremina) i tekstura. Relativno velike količine masti i šećera u testu obezbeđuju plastičnost i kohezivnost testa bez formiranja mreže glutena i proizvode manje elastično testo (Faridi i Faubion, 2012). Visoko elastično testo nije poželjno u proizvodnji keksa, jer se smanjuje nakon istezanja i nije u stanju da zadrži oblik modle ili gravure. Testo za keks prilikom pečenja treba da se širi umesto da raste u visinu i da se skraćuje.

Određivanje reoloških osobina testa daje vredne informacije o kvalitetu sirovina, osobinama testa važnim za mašinsku obradu i teksturalnim karakteristikama gotovog proizvoda (Faridi, 1990). Osnovne metode merenja uključuju merenje naprezanja ( $\epsilon$ ) kada stres ( $\sigma$ ) deluje na materijal. Stres je definisan kao sila koja se primenjuje po jedinici površine testa; naprezanje se definiše kao količina deformacije u odnosu na početne dimenzije (visina, dužina ili zapremina). Generalno, odnos između njih je izražen kao modul ( $\sigma/\epsilon$ ) ili kao kompliansa ( $\epsilon/\sigma$ ). Za viskoelastične materijale kao što je testo koriste se oscilatorni i dinamički testovi. Dinamička oscilatorna merenja su vrlo pogodna pri definisanju viskoelastičnih svojstava reoloških sistema. To su nedestruktivna merenja sa malim udelom deformacija sa ciljem da ne dođe do narušavanja strukture sistema (Angioloni i Collar, 2009). Tokom dinamičkih oscilatornih merenja komponente gel sistema su pri svakoj određenoj frekvenciji definisane modulom elastičnosti ( $G'$ ) i modulom viskoznosti ( $G''$ ). Moduo elastičnosti predstavlja elastično ponašanje uzorka i meru energije deformacije zadržane u uzorku tokom smicanja. Nasuprot tome, moduo viskoznosti odgovara viskoznoj komponenti uzorka i predstavlja meru energije potrošene tokom smicanja.

Viskoelastična svojstva reoloških sistema mogu se takođe definisati i ispitivanjem svojstva puzanja, tj. primenom konstantnog napona tokom vremena, odnosno, tzv. „creep–recovery“ testom. Viskoelastično ponašanje pri konstantnom primenjenom naponu se karakteriše variranjem deformacije tokom vremena i nakon uklanjanja napona ukupna deformacija se razdvaja na trajno izgubljeni viskozni deo i obnovljivi elastični deo. Na ovaj način dobijaju se krive „puzavosti“ ili „creep & recovery“ krive koje opisuje funkcija popustljivosti viskoelastičnih sistema  $J$  [1/Pa], koja predstavlja deformaciju ( $\gamma$ ) u vremenu ( $t$ ) po jedinici konstantnog naprezanja ( $\tau$ ) (Ghannam i Esmail, 1997).

Sastojci testa imaju značajan uticaj na reološke osobine i kvalitet gotovog proizvoda i bilo koja promena u količini i vrsti sirovina dovodi do promena karakteristika testa, a time i do karakteristika proizvoda. Ukoliko se poveća sadržaj vode, šećera i masti u testu smanjuje se elastičnost testa i povećava stepen širenja proizvoda. Elastičnost testa može se smanjiti i dodatkom emulgatora, dodatkom različitih agenasa za cepanje disulfidnih veza i proteaza, dok

povećanje sadržaja proteina ili glutena utiče na povećanje elastičnosti testa i smanjenja stepena širenja keksa.

Dodatak prehrambenih vlakana smanjuje rastegljivost testa (koja je veoma značajna karakteristika testa, jer od nje zavisi ekspanzija gasnih ćelija tokom pečenja), a ima promenjive efekte na otpor na rastezanje. Interakcije između vlakana i pšeničnih proteina mogle bi objasniti ove fenomene, a takođe i različite komponente svake vrste vlakna (Blokma i Bushuk, 1988).

Gomez i saradnici (2010) su pokazali da testo sa dodatkom prehrambenih vlakana ima veće vrednosti  $G'$  i  $G''$  što ukazuje na čvršće testo, veće konzistencije, slabijeg proticanja i na kompleksniju strukturu. Takve promene u viskozitetu mogu uticati na mogućnost obrade testa, kao i na kvalitet proizvoda. Istraživanja su takođe pokazala i da dodavanje vlakana može negativno uticati na kvalitet krajnjeg proizvoda. Vlakna smanjuju volumen proizvoda, struktura je zbijenija i manje aerisana, a proizvod veće tvrdoće i tamnije boje. Efekat vlakana na kvalitet proizvoda zavisi od vrste i komponentata vlakna, nivoa supstitucije i od veličine čestica vlakana (Laurikainen i sar., 1998).

### **1.1.3. Trajnost čajnog peciva**

Keks i srodni proizvodi su mikrobiološki stabilni u dužem vremenskom periodu (6-8 meseci). Promene tokom skladištenja utiču na čvrstoću, ukus i izgled keksa.

Keks sa višim sadržajem vlage mora biti pažljivo formulisan i posebno pakovan da se spreči rast plesni. Veći sadržaj vlage utiče na pogoršanje ukusa, tako da je rok trajanja ovakvih proizvoda često kraći nego kod proizvoda sa niskim sadržajem vlage. Period u kojem proizvod zadržava željene karakteristike zavisi od formulacije, obrade i dizajna ambalaže. Stoga je rok trajanja kritičan aspekt programa razvoja novih proizvoda i važan je za kontrolu kvaliteta. Pogoršanje kvaliteta tokom skladištenja može se manifestovati promenama u fizičkim i hemijskim karakteristikama keksa (Manley, 2001).

## **1.2. FUNKCIONALNA HRANA I POZICIJA KEKSA U FUNKCIONALNIM PROIZVODIMA**

Koncept funkcionalne hrane prvo je razvijen u Japanu krajem osamdesetih godina dvadesetog veka, kada je ministarstvo zdravlja osmislilo regulatorni okvir za kategoriju namirnica korisnih za zdravlje, jasno ih odvajajući od lekova (Rodriguez i sar., 2009). U njemu se navodi da hrana ima tri funkcije:

1. Hranljiva, koja služi za održavanje života i rast tela;
2. Funkcija ukusa kao interakcija sa senzorskom funkcijom pojedinih komponenti;
3. Odbrana tela ili modifikacije koje doprinose očuvanju zdravlja ili prevenciji bolesti.

Ukoliko ispunjava ovaj treći zahtev, proizvod se smatra funkcionalnom hranom, mada su sve tri funkcije za prehrambeni proizvod veoma važne i idealno je ako jedan proizvod može da zadovolji sve tri istovremeno. S obzirom na to da ne postoji zvanično prihvaćena definicija funkcionalne hrane, Evropska Unija je 1998. godine usvojila konsenzus poznat kao „Scientific Concepts of Functional Foods in Europe“ u okviru kojeg je data sledeća definicija „Namirnica se može smatrati funkcionalnom ukoliko je na zadovoljavajući način pokazano da povoljno utiče na jednu ili više ciljanih funkcija organizma, van okvira uobičajenih nutritivnih efekata i na način koji je značajan za opšte zdravstveno stanje ili smanjenje rizika od bolesti” (Diplock i sar., 1999). Nosioci funkcionalnosti prehrambenog proizvoda su funkcionalna jedinjenja koja se mogu naći u njegovom sastavu. U funkcionalna jedinjenja ubrajaju se: prehrambena vlakna, polifenoli, karotenoidi, masne kiseline, biljni steroli, prebiotici i probiotici, fitoestrogeni, proteini, vitamini i minerali (Kapsak, 2011).

Osnovni sastojci keksa su one komponente koje lekari i nutricionisti najviše okrivljuju za razvoj različitih bolesti – pšenično brašno, šećer i mast. Zbog toga, keks i srodni proizvodi zauzimaju veoma nepovoljnu poziciju među prehrambenim proizvodima kada se radi o njihovom uticaju na zdravlje ljudi. Međutim, keks i srodni proizvodi su proizvodi koji su veoma zastupljeni u ishrani ljudi i veoma popularni, što ih čini veoma pogodnim medijumom za unošenje različitih funkcionalnih komponenti, naročito proteina i prehrambenih vlakana (Manley, 2001).

Keks obogaćen proteinima već se koristi kao specijalna hrana za ishranu dece u nerazvijenim zemljama, a poslednjih godina velika pažnja nutricionista usmerena je na prehrambena vlakna koja imaju brojne povoljne uticaje na zdravlje ljudi. Pored toga što mogu

postati funkcionalna hrana dodatkom neke funkcionalne komponente, postoje i vrste keksa i srodnih proizvoda koji isključivanjem ili zamenom nekih sirovina, mogu postati bezbedni za konzumiranje od strane ljudi koji imaju problem sa intolerancijom na neku vrstu sastojaka (celijakija, alergija na lešnik, jaja, intolerancija na laktozu i sl.). Takođe, različite vrste keksa se koriste i kao izvor vitamina, minerala, kalcijuma i gvožđa za ishranu beba i male dece, a na tržištu se mogu naći i vrste keksa sa redukovanim sadržajem masti i vrste namenjene dijabetičarima koji sadrže manju količinu prostih šećera, ili je deo šećera zamenjen poliolima.

Do sada je objavljen veliki broj istraživanja na temu obogaćivanja različitih vrsta keksa funkcionalnim komponentama: prehrambenim vlaknima (Artz i sar., 1990); proteinima (Noguchi i Cheftel, 1983); polifenolima (Tumbas i sar., 2016). Za povećanje nutritivne vrednosti ove vrste proizvoda korišćena su brašna mahunarki, omotači zrna žitarica, trop voća, brašno banane,  $\beta$ -glukan, pšenične i kukuruzne klice (Zucco i sar., 2011; Kerckhoffs i sar., 2003; Wang i Thomas, 1989; Agama-Acevedo i sar., 2012; Nasir i sar., 2010).

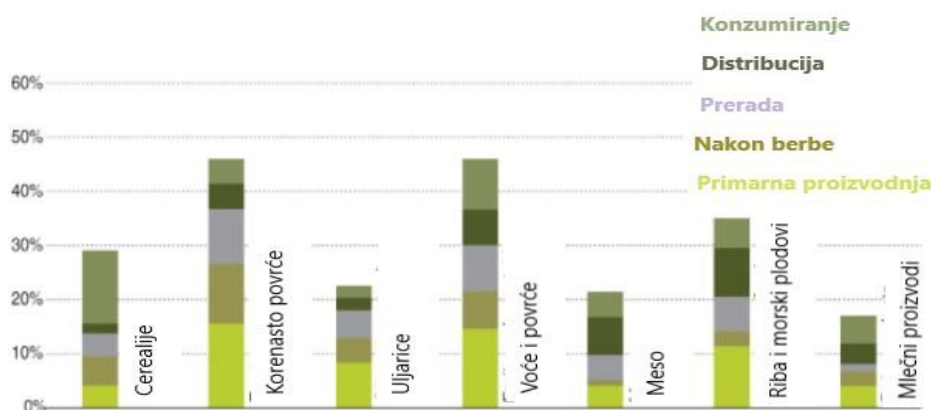
Međutim, svaka promena sirovinskog sastava utiče na kvalitet gotovog proizvoda, a kako je osnovni razlog zastupljenosti i popularnosti keksa i srodnih proizvoda prijatan ukus, dodatak funkcionalne komponente ne sme da narušava svojstvene organoleptičke karakteristike i trajnost ovih proizvoda.

### **1.3. SPOREDNI PROIZVODI PREHRAMBENE INDUSTRIJE KAO POTENCIJALNI IZVOR FUNKCIONALNIH JEDINJENJA**

Sporedni proizvodi prehrambene industrije se definišu kao jestivi materijali namenjeni za ljudsku potrošnju koji se odbacuju, izgube, degradiraju ili konzumiraju od strane štetočina na putu hrane od ubiranja (ili žetve) do potrošača (Foresight Project, 2011). Količina izgubljene hrane i sporednih proizvoda duž lanca snabdevanja prehrambenim proizvodima kreće se i do 46% kod nekih proizvoda, a ova količina je raspoređena različito u različitim fazama ciklusa kao što se može videti na Slici 1.2 (Fao, 2011)

Samo od 1974. godine, u Sjedinjenim Američkim Državama, otpad hrane se progresivno povećao za 50%, dostigavši više od 1400 kcal po osobi na dan (Hall i sar., 2009). Štaviše, ovaj problem ima mnogo veće razmere ako se uzme u obzir da se ne gubi samo hrana, već i velike količine zemljišta, energije, poljoprivrednih inputa tokom proizvodnje hrane, kao i voda, koja je takođe jedan od oskudnih prirodnih resursa (Galanakis, 2015). Pored toga, veliki problem je i to što je otpad prehrambene industrije biorazgradiv materijal za

čiju razgradnju (hemijsku ili biološku) je neophodan kiseonik, a razgradnjom dolazi do emisije metana i onečišćenja voda, što je poseban ekološki problem. Zbog toga zakonske regulative o odlaganju otpada postaju sve oštrije u poslednjoj deceniji. Za sada, opšte metode, kao što su spaljivanje, anaerobna fermentacija, kompostiranje, odnošenje na deponiju ili upotreba ostataka hrane za potrebe poljoprivrede, u vidu hrane za životinje ili đubriva, glavne su strategije minimizacije i valorizacije otpada.

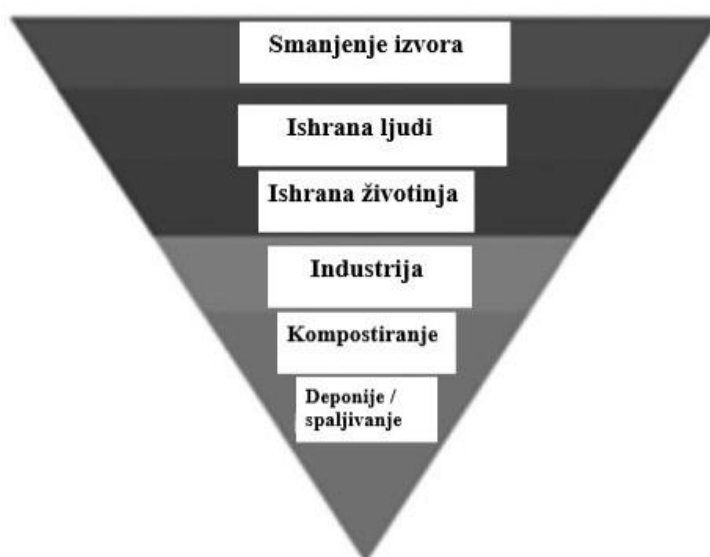


**Slika 1.2.** Procenat gubitka hrane i otpada u lancu snabdevanja prehrambenim proizvodima (Galanakis, 2015)

Sa druge strane, mnogi sporedni proizvodi prehrambene industrije obiluju prehrambenim vlaknima i brojnim biološki aktivnim komponentama koji se mogu koristiti za povećanje nutritivne vrednosti novih proizvoda. Hodges i saradnici (2011), zaključili su da će u budućnosti biti veoma teško nahraniti 9 milijardi ljudi (koliko se procenjuje da će populacija narasti do 2050. god.), čak i sa povećanjem proizvodnje hrane za 60-70%, jer klimatske promene i nestašica prirodnih resursa ograničavaju rast poljoprivrede i proizvodnju hrane, dok je gubitak hrane koji nastaje tokom kretanja hrane od proizvođača do distributera dovoljan da se hrani 1 milijarda ljudi (Tomlinson, 2013).

Iz svih ovih razloga, u poslednje vreme sve je veći broj naučne literature i izveštaja koji se odnose na sporedne proizvode prehrambene industrije i načine njihovog iskorišćenja. Ova literatura uključuje mogućnosti smanjenja količine sporednih proizvoda, valorizaciju sporednih proizvoda i poboljšanje upravljanja otpadom (Galanakis, 2015). Prevencija/minimizacija otpada je prvi prioritet u hijerarhiji upravljanja otpadom, a odmah iza nje je iskorišćenje sporednih proizvoda za ishranu ljudi (Slika 1.3). Rastući trend u prehrambenoj industriji postala je upravo upotreba sporednih proizvoda industrije prerade voća i povrća, jer se pored smanjenja količine otpada postiže i povećanje nutritivne vrednosti proizvoda u koje se dodaju (Yağcı i Göğüş, 2010). Proizvodnja i dodatak takvih nutrijenata

može biti veoma skupa za proizvođače, dok sporedni proizvodi često imaju značajne količine biološki aktivnih komponenata i predstavljaju jeftinu, a kvalitetnu sirovinu za poboljšanje nutritivnog profila nekih prehrambenih proizvoda. Njihovim uključivanjem u proizvodnju drugih proizvoda dobijaju se funkcionalni prehrambeni proizvodi i rešava problem biološki aktivnog otpada.



**Slika 1.3.** Hijerarhija prioriteta upravljanja otpadom prema EU Direktivi 2008/98/EC (EPA, 2011.)

Kao što se može videti u Tabeli 1.1, u okviru različitih grana prehrambene industrije, zaostaju različite količine sporednih proizvoda. Neke od industrija koje stvaraju najviše sporednih proizvoda su industrija prerade voća i povrća, industrija pića i industrija prerade žitarica.

**Tabela 1.1.** Procena količine otpada u različitim granama prehrambene industrije (Segre, Falasconi, 2011).

<b>Industrijski sektor</b>	<b>Količina otpada (000 t)</b>	<b>Otpad (%)</b>
<b>Meso i proizvodi od mesa</b>	150	2,5
<b>Riba i morski plodovi</b>	8	3,5
<b>Voće i povrće</b>	279	4,5
<b>Biljne i životinjske masti i ulja</b>	73	1,5
<b>Mlečni proizvodi i industrija sladoleda</b>	404	3
<b>Žitarice i industrija skroba</b>	245	1,5
<b>Proizvodnja ostalih proizvoda</b>	239	2
<b>Industrija pića</b>	492	2
<b>Ukupno</b>	1890	2,6

Sporedni proizvodi industrije prerade voća (ljuska, koštice, pulpa) sadrže pektin, flavonoide, karotenoide, vlakna i polifenole. Ovi sporedni proizvodi se mogu dodavati u druge proizvode nakon nekog postupka stabilizacije (obično imaju visok sadržaj vlage), ili mogu biti supstrat za izolaciju bioaktivnih jedinjenja koja se onda mogu koristiti kao funkcionalni aditivi u hrani (Larrauri, 1999). Vergara-Valensija i saradnici (2007), pokazali su da se koncentrat prehrambenih vlakana iz manga može primeniti kao sastojak pekarskih proizvoda i povećati antioksidativni kapacitet. Zatim, trop jabuke, sporedni proizvod koji nastaje prilikom proizvodnje soka, može se koristiti kao izvor prehrambenih vlakana i polifenola u proizvodnji finih pekarskih proizvoda (Sudha i sar., 2007), dok su sporedni proizvodi prerade maline (Górecka i sar., 2010), grožđa (Mildner-Szkudlarz i sar., 2013) i borovnice (Mišan i sar., 2014) takođe korišćeni za obogaćivanje keksa.

Žitarice su važan izvor ugljenih hidrata, proteina, lipida, vitamina, uglavnom B-kompleksa i vitamina E i mineralnih elemenata u tragovima. Najčešći postupak primarne prerade žitarica je mlevenje (pšenica i raž). Tokom ovog postupka, omotač i klicakolja predstavlja nutritivno najbogatiji deo zrna, se odvajaju od skrobnog endosperma (brašna) kao sporedni proizvodi. Ovi sporedni proizvodi su bogat izvor prehrambenih vlakana i proteina, a klica pored toga sadrži i značajne količine ulja.

Tokom proizvodnje piva zaostaje velika količina pivskog tropa (čak 20 kg tropa na 100 l piva) koji ima visok sadržaj proteina, ugljenih hidrata i prehrambenih vlakana (Pejin, 2013).

Međutim, manipulacija sporednim proizvodima u prehrambenoj industriji je veoma komplikovana sa više aspekata. Neadekvatna biološka stabilnost i postojanje patogena mogu uzrokovati povećanje mikrobne aktivnosti. Visok sadržaj vode ima značajan uticaj na troškove transporta. Sporedni proizvodi nastali od hrane sa visokim sadržajem masti osetljivi su na oksidaciju koja uzrokuje njihovo kvarenje (Russ i Meyer-Pittroff, 2004). Stoga je ove proizvode neohodno na neki način stabilizovati, smanjiti mogućnost njihove razgradnje i kvarenja, smanjiti troškove transporta, omogućiti duži period skladištenja i jednostavno doziranje prilikom uključivanja kao sirovine u proizvodnju novih prehrambenih proizvoda.



### 1.3.1. Pšenična klica

Jedna od najzastupljenijih žitarica u celom svetu po proizvodnji, a pogotovo upotrebi proizvodi prerade u ishrani je pšenica (*Triticum Aestivum*). S obzirom na sadržaj proteina, vitamina (prvenstveno B grupe i tokoferola), minerala, lipida, skroba, šećera, mnogi je, s pravom, smatraju idealno izbalansiranom hranom. Razlike u hemijskom sastavu pojedinih delova zrna pšenice prikazane u Tabeli 1.2 pokazuju da pšenična klica i omotač zrna predstavljaju nutritivno najkvalitetniji deo zrna. Prilikom prerade pšenice, klica i omotač zrna se uklanjaju i iako su najhranljiviji deo zrna zaostaju kao sporedni proizvodi.

**Tabela 1.2.** Hemijski sastav endosperma, klice i omotača zrna pšenice (Fraser i Holmes, 1959)

	<b>Endosperm</b>	<b>Klica</b>	<b>Omotač</b>
<b>Proteini (%)</b>	9,6	28,5	14,4
<b>Mast (%)</b>	1,4	10,4	4,7
<b>Pepeo (%)</b>	0,7	4,5	6,3
<b>Skrob (%)</b>	72,0	14,0	8,6
<b>Hemiceluloza (%)</b>	1,8	6,8	26,2
<b>Šećeri (%)</b>	1,1	16,2	4,6
<b>Ukupni ugljeni hidrati (%)</b>	74,1	44,5	60,8

Upotrebom pšenične klice (Slika 1.4) može se povoljno uticati na razne zdravstvene probleme – hronični umor, problemi sa želucem i digestivnim traktom, srčane tegobe, kožne bolesti, bolesti nervnog sistema (Zhu i sar., 2011).



**Slika 1.4.** Pšenična klica



Proteini pšenične klice se po svojoj biološkoj vrednosti nalaze na nivou proteina životinjskog porekla. Organski fosfati koji se, takođe nalaze u pšeničnoj klici, pogoduju svima koji osećaju mišićnu slabost, kao i osobama koje imaju problem sa varenjem. Klica sadrži i vitamin B1 koji obnavlja nervni sistem, ali i vitamin E, kalijum karbonat, gvožđe i cink (Amadò i Arrigoni, 1992). Pored toga, u pšeničnoj klici od bioaktivnih komponenti prisutni su alfa i beta-tokoferoli (300-740 mg/kg), fitosteroli (24-50 mg/kg), karotenoidi (4-38 mg/kg), tiamin (15-23 mg/kg), riboflavin (6-10 mg/kg) (Al-Hooti i sar., 2002; Hemery i sar., 2007; Brandolini i Hidalgo., 2012). Takođe, klica pokazuje i značajnu antioksidativnu aktivnost (Zhokhov i sar., 2009). Ulje iz pšenične klice bogato je trigliceridima (57% ukupnih masti), a od masnih kiselina najzastupljenije su od zasićenih palmitinska i stearinska, a od nezasićenih oleinska i linolna (Kan, 2012; Pomeranz, 1970). S obzirom na to da se masti enzimskim putem razlažu, a nezasićene masne kiseline podležu oksidaciji, pšenična klica se izdvaja iz zrna tokom prerade, da se spreče ovi nepoželjni procesi u proizvodima mlinske prerade (Posner i Hibbs, 2005). Udeo klice u zrnu pšenice je 2,5-3 %, a ukoliko se izdvaja kao zaseban sporedni proizvod prinos klice u industrijskim mlinovima kreće se u intervalu od 0,2-1 % u zavisnosti od primenjenog postupka izdvajanja (Posner, 1985).

Pšenična klica se može uključiti u sirovinski sastav čajnog peciva kao funkcionalni ingredijent čime se povećava sadržaj prehrambenih vlakana, minerala i vitamina u gotovom proizvodu (Miletić i sar., 2008). Odsustvo glutena u pšeničnoj klici čini je pogodnom sirovinom za proizvodnju bezglutenskih proizvoda visokog kvaliteta i u konditorskoj industriji pšenična klica se najviše upotrebljava za proizvodnju specijalnih brašeno-konditorskih proizvoda.

Ukoliko se koristi za proizvodnju čajnog peciva, veoma je važno predvideti i umanjiti negativne efekte pšenične klice na pojedine faze tehnološkog procesa proizvodnje, budući da se fizičko - hemijske karakteristike pšenične klice razlikuju u odnosu na pšenično brašno i druga brašna žitarica (Demirkesen i sar., 2011). Pšenična klica je žućkaste boje, sladunjavog ukusa i bogata mastima što može da utiče na pogoršanje senzorskih osobina čajnog peciva (Bajaj i sar., 1991). Povišen udeo pšenične klice može dovesti do smanjenja specifične zapremine i povećanja tvrdoće čajnog peciva i time pogoršati kvalitet gotovog proizvoda (Vukobratović i Beleslin, 1991). Pomenuti negativni uticaji pšenične klice na kvalitet brašeno-konditorskih proizvoda se mogu izbeći ako se izvede zamena pšeničnog brašna do maksimalno 15% (Demirkesen i sar., 2010).

Pored negativnih uticaja, pšenična klica ima brojne pozitivne uticaje. Korišćenje pržene klice kod koje je uklonjen nepoželjan miris i ukus, u izradi brašeno-konditorskih

proizvoda isključuje upotrebu dodataka za korekciju ukusa, jer pržena klica proizvodima daje prijatan ukus sličan orahu. Dodatkom pšenične klice poboljšavaju se nutritivne karakteristike proizvoda jer se povećava sadržaj prehrambenih vlakana, esencijalnih aminokiselina, vitamina grupe B i vitamina E (World Health Organization, 2003).

Najveći problem kod primene pšenične klice je visok sadržaj ulja koji čini klicu nestabilnom. Činjenica da je klica najhidrofilniji deo zrna čini je još osetljivijom i podložnom promenama (Posner i Hibs, 2005). Pšenična klica se može stabilizovati primenom postupka tostovanja, obezmašćivanja i uparavanja (Arshad i sar., 2007), pakovanja u troslojne papirne kese obložene polietilenom, zatim postupcima sušenja (sušenje IR zracima, sušenje vrelom parom) i antioksidativnim tretmanom (Baldini i sar., 1982). Howe i saradnici (1937) su još tridesetih godina prošlog veka došli do zaključka da se toplotnim tretmanom mogu veoma uspešno otkloniti glavni nedostaci sirove pšenične klice, kao što su: ukus i miris na sirovo, odnosno na stočnu hranu, slaba stabilnost usled hidrolitičkih i oksidativnih promena u lipidima klice.

### **1.3.2. Pivski trop**

Pivski trop (Slika 1.5) je glavni sporedni proizvod u proizvodnji piva, nastaje u velikim količinama tokom cele godine (na 100 l proizvedenog piva, dobija se oko 20 kg tropa) (Pejin, 2013), jeftin je i ima visok sadržaj proteina (oko 20%) i prehrambenih vlakana (oko 70%) (Mussatto i sar., 2006). Pored toga pivski trop je bogat i fenolnim jedinjenjima, vitaminima (biotin, folna kiselina, niacin, holin, riboflavin i tiamin, pantotenska kiselina i piroksidin), mineralima (Ca, Cu, Fe, Mn, K i Na) i amino kiselinama (uključujući esencijalne - lizin, histidin, metionin, fenilalanin, triptofan), tako da se pojavio značajan interes za iskorišćenjem ovog sporednog proizvoda od strane prehrambene industrije, naučnika i potrošača (McCarthy i sar., 2013). Hemijski sastav pivskog tropa prikazan je u Tabeli 1.3.



Slika 1.5. Pivski trop

S obzirom na nisku cenu i visoku nutritivnu vrednost, pivski trop predstavlja idealnu sirovinu za proizvode kao što su keks i grickalice, naročito tamo gde postoji potreba za povećanjem sadržaja prehrambenih vlakana.

Tabela 1.3. Hemijski sastav pivskog tropa (% suve materije) prema različitim autorima

Komponenta	Bogar i saradnici (2002)	Mussatto i Roberto (2005)	Serena i Knudsen (2007)	Dehnavi i sardnici (2009)
<b>Celuloza</b>	15	16,8	14,7	15,1
<b>Hemiceluloza</b>	23	28,4	-	32,5
<b>Lignin</b>	22	27,8	12,6	13,4
<b>Proteini</b>	18	15,2	21,5	-
<b>Mineralne materije</b>	-	4,6	4,8	3,4
<b>Ugljeni hidrati</b>	-	-	52,5	-
<b>Sirova vlakna</b>	-	-	-	-
<b>Masti</b>	-	-	11,7	-
<b>Skrob</b>	12	-	6,0	12,5

Prentice i saradnici (1978) ispitili su mogućnost pripreme keksa sa sadržajem pivskog tropa na nivoima od 5 do 60% i zaključili da je moguće održati kvalitet keksa ukoliko se trop piva dodat u količini do 40%. Ovoliki dodatak pivskog tropa povećava sadržaj proteina u keksu za 74 %, a udeo prehrambenih vlakana čak deset puta. I drugi autori takođe su potvrdili značajno povećanje sadržaja vlakana u keksu sa povećanjem količine dodatog pivskog tropa (Öztürk i sar., 2002). Pored keksa, pivski trop je uspešno inkorporiran i u druge prehrambene proizvode poput snek proizvoda (Stojceska i sar., 2008; Ainsworth i sar., 2007) i hleba

(Stojceska i Ainsworth, 2008). U svim proizvodima, pivski trop je uticao na povećanje udela prehrambenih vlakana bez negativnog uticaja na prihvatljivost kod potrošača, ali samo ukoliko se dodaje u manjim količinama. Istraživanja su pokazala da je dodavanje pivskog tropa na nivou od 20 % optimalno za održavanje svojstava kvaliteta komercijalno dostupnih prehrambenih proizvoda.

### 1.3.3. Trop jabuke

Trop jabuke (Slika 1.6) čini skoro 25 % od ukupne mase ploda jabuke koji zaostaje nakon prerade. Trop jabuke je prvenstveno bogat prehrambenim vlaknima (35 – 60 %). Međutim, za razliku od žitarica koje sadrže veći deo nerastvorljivih prehrambenih vlakana (celuloze i hemiceluloze), trop jabuke, sadrži značajne količine rastvorljivih prehrambenih vlakana, a u najvećoj meri pektina koji se koristi kao sredstvo za želiranje, vezivanje i može se koristiti kao stabilizator u prehrambenim proizvodima (O'Shea i sar., 2012). Za ova svojstva je odgovorna porozna matrična struktura koju formiraju polisaharidni lanaci u koje se inkorporira velika količina vode putem vodoničnih veza. Glavni sastojci ovih vlakana su pektini (5,5% -11,7%), celuloza (7,2% -43,6%), hemiceluloza (4,2% -24,4%), lignini (15,3% - 23,5%) i gume (Bhushan i sar., 2008). Hemijski sastav tropa jabuke prikazan je u Tabeli 1.4.



**Slika 1.6.** Trop jabuke

Trop jabuke je našao posebno mesto u proizvodnji keksa i srodnih proizvoda. Primer iskorišćenja ovog sporednog proizvoda je prah dobijen od kore jabuke koji se može koristiti kao zamena za pšenično brašno pri proizvodnji mafina u količini do 16 %, pri čemu se povećava udeo prehrambenih vlakana i polifenolnih jedinjenja, a ne dolazi do pogoršanja senzorskih karakteristika (Rupasinghe i sar., 2008). Dodavanjem tropa jabuke proizvodi

dobijaju karakterističnu, voćnu aromu i tamniju boju. Zbog prijatne arome ovog tropa, moguće je smanjiti količinu šećera u zamesu.

**Tabela 1.4.** Hemijski sastav tropa jabuke (Dhillon i sar., 2013)

<b>Komponenta (% s.m.)</b>	<b>Trop jabuke</b>
<b>Proteini</b>	2,9-5,7
<b>Masti</b>	1,2-3,9
<b>Ukupni ugljeni hidrati</b>	48,0-83,8
<b>Vlakna</b>	4,7-51,10
<b>Celuloza</b>	7,2-43,6
<b>Hemiceluloza</b>	4,26-24,40
<b>Lignin</b>	15,3-23,5
<b>Pektin</b>	3,5-14,32
<b>Redukujući šećeri</b>	10,8-15,0
<b>Glukoza</b>	22,7
<b>Fruktoza</b>	23,6
<b>Saharoza</b>	1,8
<b>Arabinoza</b>	14-23
<b>Galaktoza</b>	6-15
<b>Ksilozna</b>	1,1

Ukoliko se doda u većim količinama pri proizvodnji keksa, trop jabuke može da izazove pojavu neprijatne arome, previše tamnu boju i manju zareminu proizvoda. Trop jabuke ima veliku moć vezivanja vode usled čega je voda koja se dodaje u zames delimično nedostupna proteinima pšenice koji onda ne hidratišu potpuno i ne mogu da stvore jaku glutensku mrežu (Masoodi i sar., 2002). Sudha i saradnici (2007) su pokazali da se dodatkom tropa jabuke u keks povećala značajno apsorpcija vode i smanjila stabilnost testa (došlo je do slabljenja testa). Otpor na istezanje testa značajno je porastao, a rastegljivost se smanjila. Zapremina keksa je smanjena, ali se značajno povećao udeo vlakana i polifenola

## **1.4. PROCES EKSTRUDIRANJA KAO NAČIN PRIPREME SPOREDNIH PROIZVODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE ZA NJIHOVU PRIMENU U PREHRAMBENIM PROIZVODIMA**

Ekstrudiranje je višestepeni, višefunkcionalni, termičko/mehanički proces koji omogućava proizvodnju velikog proja prehrambenih proizvoda kao što su ekspanzirani snack proizvodi, testenina, dečija hrana, različite vrste slatkiša, hrana za ribe i kućne ljubimce i dr. (Móscicki, 2011). Efekat procesa ekstrudiranja na kvalitet hrane je dvojak. Pozitivan uticaj

uključuje uništavanje antinutritivnih faktora, želatinizaciju skroba, povećanje udela rastvorljivih vlakana i smanjenje oksidacije masti. Sa druge strane, promene u proteinima, amino kiselinama, ugljenim hidratima, vlaknima, vitaminima i sadržaju minerala mogu biti i pozitivne i negativne u zavisnosti od uslova procesa ekstrudiranja. Visok sadržaj vlage, kratko vreme zadržavanja materijala i niža temperatura dovode do poboljšanja nutritivnog kvaliteta materijala koji se ekstrudira, dok primena visokih temperatura, iznad 200 °C, sadržaj vlage ispod 15% i neodgovarajuća formulacija materijala mogu imati nepovoljan uticaj (Jozinović, 2015).

Procesi koji se odigravaju tokom ekstrudiranja su: dehidratacija, aglomeracija manjih čestica u veće, ekspanzija, želatinizacija, denaturacija proteina, homogenizacija, usitnjavanje, pasterizacija i sterilizacija, oblikovanje, termičko tretiranje (Riaz, 2000).

U odnosu na druge postupke pripreme sirovina, proces ekstrudiranja ima brojne prednosti. Jednostavnom promenom procesnih parametara ili sirovina tokom ekstrudiranja može se proizvoditi različit spektar proizvoda u uređajima koji su veoma jednostavni za upotrebu. U poređenju sa drugim postupcima termičke obrade, manji su gubici energije i operativni troškovi, a bez velikih investicionih ulaganja. Moguća je visoka produktivnost i kontinuiranost procesa i brza kontrola kvaliteta, i što je veoma značajno, dobijaju se proizvodi visokog kvaliteta usled povećanja svarljivosti proteina i skroba i smanjenja broja mikroorganizama, a količina otpada (sporednih proizvoda) je veoma mala i čak se u proces mogu uključiti materijali koji su u nekom drugom procesu označeni kao otpad (Riaz, 2000). Osim toga, postupak ekstrudiranja deaktivira neželjene enzime, inaktivira neke antinutritivne faktore (inhibitore tripsina, hemaglutinine, tanine i fitate), sterilizuje krajnji proizvod i zadržava prirodne boje i arome hrane (Fellows, 2000; Bhandari i sar., 2001).

Kod procesa ekstrudiranja veoma je važno odabrati odgovarajuće parametre kako bi se u što većoj meri zadržali nutritivno vredni sastojci tokom obrade: temperaturu (koja se postiže trenjem, zagrevanjem kućišta ili injektovanjem pare); vreme zadržavanja materijala; pritisak; konfiguracija ekstrudera; brzina osovine ekstrudera; veličina čestica materijala i nivo vlage (Cheftel, 1990).

#### **1.4.1. Nutritivne promene hrane tokom procesa ekstrudiranja**

S obzirom na to da se tokom procesa ekstrudiranja materijal izlaže visokim temperaturama (kod postupaka toplog ekstrudiranja i do 130-180°C), visokom pritisku (120-



250 bara) i velikim brzinama smicanja (većim od  $100 \text{ s}^{-1}$ ), neminovno dolazi do fizičkih i hemijskih promena u sastojcima materijala koji se ekstrudira. Osnovne fizičko-hemijske promene koje se dešavaju tokom procesa ekstrudiranja su: vezivanje, cepanje, gubitak prirodne strukture, rekombinacija delova i termička razgradnja (Camire, 2001). Pored ovih promena na promenu sastava hrane tokom procesa ekstrudiranja mogu da utiču i materijalni gubici usled ceđenja ulja i isparavanja vode i drugih isparljivih komponenata. Ove promene sa nutritivnog aspekta mogu biti poželjne i nepoželjne, tako da je veoma važno podesiti odgovarajuće parametre procesa ekstrudiranja i izabrati odgovarajući uređaj za ekstrudiranje, kako bi se dobio proizvod sa najboljim mogućim nutritivnim i funkcionalnim svojstvima.

#### **1.4.1.1. Proteini**

Nutritivna vrednost proteina zavisi od njihove količine, svarljivosti i dostupnosti esencijalnih aminokiselina. Svarljivost se smatra jednom od najvažnijih osobina proteina prema FAO/WHO/UNU (1985) i veća je kod ekstrudiranih nego kod neekstrudiranih proizvoda. Uzrok tome može biti denaturacija proteina i inaktivacija antinutritivnih komponenata koje umanjuju svarljivost, kao što su tripsin inhibitori, hemaglutinini, tanini i fitati (Bookwalter i sar., 1971; Armour i Jones, 1998). Od svih procesnih parametara, odnos komponenata u materijalu koji se ekstrudira ima najveći uticaj na svarljivost proteina, ali ni uticaj promene temperature nije zanemaljiv. Enzimaska hidroliza proteina se poboljšava nakon ekstrudiranja kao rezultat inaktivacije antitripsina. Poboljšanje pepsinske hidrolize može biti rezultat denaturacije proteina tokom ekstrudiranja, što ih čini lakse dostupnim delovanju pepsina. Sve ovo ukazuje da se ovakvim načinom obrade znatno povećava nutritivna vrednost proteina (Singh i sar., 2007).

#### **1.4.1.2. Aminokiseline**

Od svih esencijalnih aminokiselina, lizin je najmanje dostupna u proizvodima na bazi žitarica, u koje spada većina ekstrudiranih namirnica. Veoma je važno da tokom ekstrudiranja ne dođe do gubitka lizina. Tokom ekstrudiranja smeše žitarica, gubitak lizina je od 32-80 % na temperaturi  $170^{\circ}\text{C}$ , pri vlažnosti proizvoda 10-14% i 60 obrtaja/minuti (Singh i sar, 2007). Podaci o posledicama procesa ekstrudiranja na ostale aminokiseline su malobrojni. Ukoliko se redukuje vreme zadržavanja materije u ekstruderu, samim tim se i ograničava efekat toplotnog tretmana, to za rezultat ima bolje zadržavanje lizina. Takođe i odnos komponenata u masi

koja se ekstrudira menja količinu zadržanog lizina (Iwe i sar., 2004). Kako bi se smanjio gubitak ove aminokiseline, temperatura u ekstruderu treba da se održava ispod 180°C, posebno ako je procenat vlage niži od 15 % (Cheftel, 1986).

#### 1.4.1.3. Majlardove reakcije

Majlardova reakcija je hemijska reakcija koja podrazumeva međusobnu interakciju amino i karboksilnih grupa, koje su česte u namirnicama i koje dovode do tamnjenja i poboljšanja arome proizvoda. Ishod jeste smanjenje dostupnosti aminokiselina i svarljivosti belančevina. I skrob i prehrambena vlakna, zajedno sa proizvodima reakcije hidrolize saharoze učestvuju u Majlardovim reakcijama. Uslovi tokom ekstrudiranja, kao što su visoke temperature i nizak sadržaj vlage, pogoduju Majlardovoj reakciji. Nedavna istraživanja su pokazala da Majlardova reakcija znatno utiče i na tok formiranja neželjnog akrilamida u krompiru, pirinču i proizvodima od žitarica (Becalski i sar., 2004; Kim i sar., 2005).

#### 1.4.1.4. Skrob

Skrob je polisaharid koji se u žitaricama nalazi u obliku granula, a sastavljen je od molekula amiloze (koji imaju linearnu strukturu) i amilopektina (razgranate strukture) koji su izgrađeni od glukoznih jedinica. Na sobnoj temperaturi skrob apsorbuje relativno malo vode, međutim, zagrevanjem dolazi do pucanja skrobne granule i narušavanja stukture unutar nje, a moć upijanja vode se znatno povećava i dolazi do stvaranja gela. Ovaj proces se naziva želatinizacija skroba.

Žitarice, u čijem se sastavu nalazi najvećim delom upravo skrob, predstavljaju osnovni izvor kalorija za veliki broj ljudi, naročito za ljude koji žive u slabo razvijenim zemljama. Međutim, ljudi i neke vrste životinja ne mogu lako da svare neželetinizovan skrob. Želatinizovan skrob je svarljiviji od sirovog i nakon ekstrudiranja povećava se nutritivna vrednost skroba. Zbog toga je uloga procesa ekstrudiranja u ovom slučaju veoma značajna, jer se tokom procesa ekstrudiranja želatinizacija skroba javlja pri znatno manjim nivoima vlažnosti proizvoda (12-22 %), nego što je neophodno u drugim načinima obrade hrane (Qu i Wang, 1994).

Na stepen želatinizacije skroba tokom ekstrudiranja utiču temperatura i udeo vlage, kao i konfiguracija ekstrudera. Razgranata struktura amilopektina čini skrob osetljivim na smicanje i puževi ekstrudera se mogu konfigurisati tako da se umanju ili uveća razgradnja



skroba u zavisnosti od toga da li se želi postići degradacija skroba do dekstrina ili do glukoze (Gautam i Choudhoury, 1999). Pored toga veliki udeo šećera, soli ili prehrambenih vlakana može da utiče na stepen želatinizacije skroba i time na ekspanziju proizvoda.

#### 1.4.1.5. Prehrambena vlakna

Prehrambena vlakna čine ostaci jestivih biljnih ćelija, polisaharidi, lignin i slične materije koje ne podležu hidrolizi ili nisu svarljive u ljudskom digestivnom traktu (AOAC, 2001). Prehrambena vlakna pospešuju razne fiziološke procese kao što je laksacija, smanjenje holesterola i/ili glukoze u krvi. Pored pozitivnog nutritivnog efekta, njihova funkcionalnost ogleda se i u poboljšanju fizičkih svojstava prehrambenih proizvoda jer povećavaju moć upijanja vode, kapacitet vezivanja ulja, poboljšavaju teksturu i produžavaju rok trajanja proizvoda (Elleuch i sar., 2011).

Fiziološki efekti su vezani za fizičko-hemijske i funkcionalne osobine vlakana. Opšte je poznato da se prehrambena vlakna dobijena različitim metodama i iz različitih izvora, ponašaju različito tokom njihovog tranzita kroz digestivni trakt, u zavisnosti od njihovog hemijskog sastava i fizičko-hemijskih karakteristika i obrade koju hrana prolazi (Gyura i sar., 2016).

Prehrambena vlakna se mogu podeliti na nerastvorljiva i rastvorljiva. Njihov zbir čine ukupna prehrambena vlakna. Rastvorljivost se odnosi na vlakna koja su disperzna u vodi, ali ova kategorizacija se ne može uvek koristiti u cilju predviđanja fiziološke funkcije vlakana. Viskozitet rastvorljive frakcije prehrambenih vlakana je važniji od količine rastvorljivih vlakana u hrani. Rastvorljiva prehrambena vlakna postaju viskozna kada se pomešaju sa vodom (Gorinstein et al., 2001). Odnos rastvorljivih i nerastvorljivih vlakana (SDF/IDF) je važan i za prehrambene i funkcionalne osobine. Izvori vlakna pogodni za upotrebu kao sastojak hrane treba da imaju odnos SDF/IDF blizu 1: 2 (Schneeman, 1987).

Najznačajniji predstavnici nerastvorljivih prehrambenih vlakana su: celuloza, hemiceluloza, lignin, produkti Majlardove reakcije i drugi nesvarljivi biljni materijali (Nelson, 2001). Drugi nesvarljivi biljni materijali su tanini i slična polihidroksifenolna jedinjenja rasprostranjena u biljkama. Ona često vezuju proteine, te sprečavaju njihovu enzimsku razgradnju i na taj način povećavaju udeo nesvarljive komponente u hrani. Predstavnici ove grupe su voskovi, glikoproteini, neke frakcije  $\beta$ -glukana (Stauffer, 1993). Rastvorljiva prehrambena vlakna se još nazivaju i sluzima, a mogu biti endogenog ili egzogenog porekla. To su dugi polisaharidni lanci sa brojnim bočnim granama sastavljenim od monosaharida ili

oligosaharida. Karakteristični predstavnici endogenih sluzi su:  $\beta$ -glukani i pektini. Predstavnici egzogenih sluzi su hidrokolidi: gume i sluzi ekstrahovane iz morskih trava, ekstrudata biljaka i semenki. Koriste se u prehrambenim proizvodima kao sredstva za želiranje, ugušćavanje, stabilizaciju ili emulgovanje.

Primenom blažih uslova ekstrudiranja, nisu primećene značajne promene u sastavu vlakana, ali se malo povećava njihova rastvorljivost (Siljeström i sar., 1986). Sa druge strane, zapažen je povećan sadržaj vlakana u pšeničnom brašnu i brašnima od ječma sa povećanjem temperature ekstrudiranja (150-200°C), što može biti posledica povećanja količine rastvorljivih vlakana (Vasanthan i sar., 2002). Pored transfera od nerastvorljivih ka rastvorljivim vlaknima, Promene u profilu prehrambenih vlakana tokom ekstrudiranja ječmenog brašna mogu da se pripišu i formiranju rezistentnog skroba i enzimski otpornog nesvarljivog glukana sintetisanog kao posledica transglikozidacije.

Ukratko, pri blažim ili optimalnim uslovima, ekstrudiranje ne dovodi do značajnih promena u sadržaju prehrambenih vlakana, ali utiče na rastvorljivost nekih njihovih komponenti. Pri oštrijim uslovima, sadržaj vlakana se povećava, uglavnom zbog porasta sadržaja rastvorljivih vlakana i nekih frakcija skroba rezistentnih na delovanje enzima. Mora se imati na umu da dodatak vlakana ne samo da utiče na ukupni kvalitet hrane promenom njegovih fizioloških svojstava, već i značajno utiče na senzorska svojstva proizvoda. Kada se biljna vlakna dodaju prehrambenom proizvodu, oni doprinose svojstvu vezivanja vode i viskoznosti proizvoda (Kethireddipalli i sar., 2002).

Preporučeni nivo prehrambenih vlakana u dnevnoj ishrani je 25-30 g/dan. Uključivanje vlakana u hranu koja se često konzumira, moglo bi pomoći u prevazilaženju deficita vlakna u ljudskom organizmu (Fernandez-Gines i sar., 2003).

#### **1.4.1.6. Lipidi**

Lipidi su heterogena grupa nepolarnih jedinjenja koja obuhvata fosfolipide, gliceride, sterole i voskove. Od svih lipida, trigliceridi su nazastupljeniji u prehrambenim proizvodima. Trigliceridi su estri trohidroksilnog alkohola glicerola i masnih kiselina. U ljudskom organizmu lipidi služe kao izvor energije, ali je unošenje lipida u organizam u višku povezan sa nastankom nekih hroničnih bolesti kao što su bolesti srca, rak i gojaznost (Camire, 2001).

Ekstrudiranje punomasnog materijala se uglavnom ne preporučuje, pogotovo u slučaju kada je poželjno da proizvod ekspanduje. Količina lipida preko 5 - 6 % negativno utiče na performanse ekstrudera i smanjuje torziju jer prisustvo većih količina lipida redukuje

klizanje unutar ekstrudera, te je ekspanzija proizvoda ograničena zbog nedovoljnog pritiska (Camire, 2001). Istovremeno, male količine lipida (ispod 5 %) potpomažu stabilnost ovog procesa i poboljšanje teksture proizvoda.

Procesima ekstrudiranja se mogu denaturisati hidrolitički enzimi čime bi se sprečilo nastajanje masnih kiselina koje su uzrok neprijatnog ukusa i koje utiču na kvalitet hrane tokom skladištenja (Camire i sar., 1990). Pored hidrolize, veliki problem kod lipida koji se nalaze u hrani je i oksidacija, proces koji ima negativan uticaj na senzorski i nutritivni kvalitet hrane. Pretpostavlja se da se taj proces ne odvija u toku samog ekstrudiranja jer je vreme zadržavanja u ekstruderu isuviše kratko. Ipak, na problem užeglosti proizvoda se može naići kasnije tokom samog skladištenja. Habanje puža je takođe jedan od problema, jer su metali katalizatori oksidacije (Semwal i sar., 1994). Takođe, tokom ekstrudiranja se formiraju mehurići vazduha na površini ekspandovanih proizvoda što pogoduje oksidaciji. Međutim, sa druge strane, ekstrudiranjem se denaturišu enzimi koji su promoteri oksidacije, a tokom ovog procesa nastaju i kompleksi amiloza – lipidi, a lipidi vezani za skrob su manje izloženi uticaju oksidacije. Proizvodi Majlardove reakcije koji se odvijaju tokom procesa ekstrudiranja takođe mogu delovati kao antioksidanti. U suštini, hrana sa nižim sadržajem masti je pogodnija za ekstrudiranje. Ovaj proces umanjuje oksidaciju lipida, što povećava nutritivni i senzorski kvalitet namirnica (Arora i Camire, 1994).

#### **1.4.1.7. Vitamini**

Vitamini se međusobno dosta razlikuju po hemijskoj strukturi i sastavu tako da se njihovo ponašanje tokom procesa ekstrudiranja značajno razlikuje. Poznato je da su vitamini jedinjenja koja su nestabilna na visokim temperaturama. Stepenn degradacije vitamina zavisi od raznih parametara tokom ekstrudiranja i skladištenja (vlažnost, temperatura, svetlost, dostupnost kiseonika, vreme i pH vrednost). Većina vitamina ostaje sačuvana tokom ekstrudiranja ako se smanji temperatura i uslovi naprezanja.

Među vitaminima rastvorljivim u mastima, vitamini D i K imaju najmanju stabilnost. Vitamini A i E i njihova srodna jedinjenja – karotenoidi i tokoferoli nisu stabilni u prisustvu kiseonika i povišene temperature (Killeit, 1994). Termička degradacija je glavni krivac za raspad  $\beta$ -karotena tokom ekstrudiranja. Više temperature procesa (200 °C poredeći sa onima na 125 °C) redukuju sve trans- $\beta$ -karotene u pšeničnom brašnu za 50% (Guzman-Tello i Cheftel, 1990). Askorbinska kiselina je osetljiva na visoke temperature i oksidaciju. Količina ovog vitamina u pšeničnom brašnu opada tokom ekstrudiranja na višim temperaturama

procesa i pri niskom stepenu vlage (10%) (Andersson i Hedlund, 1990). Dodatak koncentrata borovnice može sačuvati oko 1 % dodatog vitamina C u ekstrudiranim žitaricama za doručak (Chaovanalikit, 1999).

Količina vitamina tokom ekstrudiranja smanjuje se sa povećanjem temperature i brzine obrtanja puža, kao i sa smanjenjem stepena vlažnosti. Ipak, postoje određeni načini da se u toku procesa ekstrudiranja sačuvaju vitamini dodati u hranu: upotrebom specifičnih komponenata ili oblika vitamina kako bi se poboljšala stabilnost; dodatkom većih količina vitamina koji bi mogli nadoknaditi njihov gubitak tokom obrade i skladištenja; dodatkom vitamina nakon ekstrudiranja: prašenjem, prskanjem, premazivanjem ili punjenjem zajedno sa ostalim komponentama.

#### **1.4.1.8. Mineralne materije**

Iako su minerali elementi koji imaju mali udeo u sastavu hrane, njihova uloga u hemiji hrane je velika. Minerali su čvrste materije, odnosno hemijski elementi koji ne mogu da se razlože ili sintetišu uobičajnim hemijskim reakcijama. Minerali se dele na makro i mikro minerale. U makromineralne spadaju kalcijum, fosfor, natrijum, hlor i kalijum. Od nabrojanih, kalcijum i fosfor su u hrani neophodni u većim količinama. Pod mikromineralne spadaju magnezijum, mangan, cink, gvožđe, bakar, molibden, selen, jod, kobalt i hrom (Camire i sar., 1990).

Iako su minerali bitni za ishranu, manji broj istraživanja se bavio njihovom osetljivošću tokom ekstrudiranja s obzirom da su to komponente koje su stabilne tokom ostalih procesa obrade hrane (Camire i sar., 1990). Sa druge strane, proces ekstrudiranja može poboljšati apsorpciju minerala, jer u toku ekstrudiranja može doći do redukovanja komponenata koje inhibiraju njihovu apsorpciju. Na primer, fitati mogu da formiraju komplekse sa mineralima što nepovoljno utiče na njihovu apsorpciju. U toku procesa ekstrudiranja dolazi do hidrolize fitata, što objašnjava veću dostupnost minerala nakon obrade. Polifenoli takođe mogu da budu jedan od faktora inhibicije apsorpcije minerala. Tanini mogu da grade nerastvorljive komplekse sa dvovalentnim gvožđem u gastrointestinalnom traktu, čime se smanjuje njihova biološka raspoloživost. Veća apsorpcija gvožđa nakon ekstrudiranja može biti posledica uništenja polifenola tokom toplotnog tretmana (Alonso i sar., 2001).

#### 1.4.1.9. Uticaj procesa ekstrudiranja na ostale nenutritivne sastojke hrane

Pored sastojaka koji imaju hranljivu vrednost, u hrani se nalaze i komponente koje imaju povoljan uticaj na zdravlje ljudi, kao što su fenolne komponente, glukozinolati, izoflavoni. Ove komponente imaju ulogu u prevenciji bolesti savremenog doba, posebno kancera i kardiovaskularnih bolesti. Fenolna jedinjenja koja imaju antioksidativno dejstvo su u poslednje vreme u fokusu mnogobrojnih studija zbog povoljnog delovanja na zdravlje ljudi. Međutim, ova jedinjenja su veoma nestabilna u prisustvu povišene temperature, svetlosti, kiseonika i enzima, tako da se sadržaj fenolnih jedinjenja značajno redukuje tokom procesa ekstrudiranja (Chaovanalikit, 1999). Ovaj gubitak fenolnih jedinjenja se može objasniti njihovom polimerizacijom i reakcijama enzimskog tamnjenja (oksidacija i polimerizacija fenola).

Ekstrudiranjem se smanjuje i sadržaj glukozinolata, koji imaju antifungalno, antibakterijsko, antioksidativno, antimutageno i antikancerogeno dejstvo (Kopjar i sar., 2002). Rinaldi i saradnici (2000) su zaključili da se i sadržaj izoflavona značajno redukuje tokom ekstrudiranja. Izoflavoni su značajni jer imaju estrogenu aktivnost koja može zaštititi žene u menopauzi od osteoporoze i bolesti srca, dok muškarci dobijaju preventivnu zaštitu od raka prostate i drugih kancera koji su posledica disbalansa testosterona.

Takođe, tokom procesa ekstrudiranja može doći do povećanja sadržaja hidrosimetilfurfurala (HMF), jedinjenja koje u poslednje vreme sve više privlači pažnju naučnika, a nastaje Majlardovim reakcijama između proteina i ugljenih hidrata prilikom termičke obrade hrane koja je bogata ovim komponentama, kao i tokom reakcija degradacije heksoza i reakcija karamelizacije (Teixido i sar., 2008). Iako sami mehanizmi delovanja HMF-a na zdravlje ljudi nisu dovoljno razjašnjeni, mnogi naučnici ističu njegovu kancerogenost, cito- i genotoksičnost. Zbog toga je prilikom procesa ekstrudiranja neophodno pratiti sadržaj ovog jedinjenja u proizvodima.

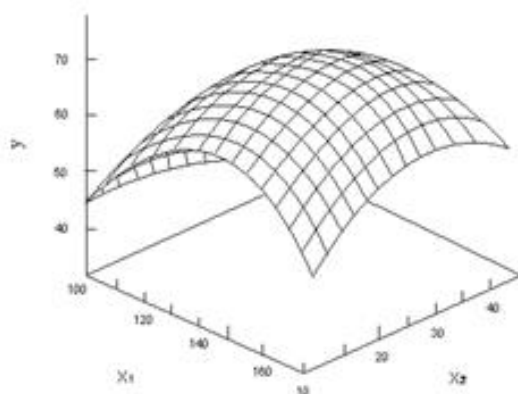
Pored navedenih nepovoljnih uticaja na nenutritivne komponente hrane, proces ekstrudiranja ima i neke povoljne uticaje. Prilikom procesa ekstrudiranja dolazi do smanjenja sadržaja toksina i alergena u hrani, kao što su: tripsin-inhibitor koji inhibira dejstvo enzima tripsina, neophodnog u procesu varenja hrane; ohratoksin A, za koji su i zakonima propisane maksimalno dozvoljene količine u hrani, koje zavise od vrste proizvoda i kreću se u vrednostima od 5 do 200 mg/kg, citrinin i fumonizin B (mikotoksini koje odlikuje citotoksičnost, hepatotoksičnost, neurotoksičnost, mutagenost i kancerogenost), deoksinivalenol, aflatoksini i dr. (Singh, 2007).

Kako bi se u što većoj meri sačuvale komponente koje su od značaja za zdravlje ljudi, a smanjio sadržaj onih koje imaju nepovoljne efekte, neophodna je optimizacija uslova procesa ekstrudiranja i izbor odgovarajućeg uređaja.

## 1.5. PLANIRANJE EKSPERIMENTA

Konvencionalni način planiranja eksperimenta podrazumeva analizu uticaja jednog po jednog faktora, dok se ostali održavaju konstantnim. Međutim, u tom slučaju ne postoji mogućnost određivanja interakcije između promenljivih, koja može biti veoma značajna (na primer, ako uzmemo maksimalnu vrednost faktora B, dobijaćemo različite vrednosti izlazne veličine u zavisnosti koju smo vrednost faktora A uzeli). Interakcije nema ako jedan faktor proizvodi iste efekte na izlaznu veličinu na različitim nivoima drugog faktora. Bolji pristup rešavanju problema je metoda odzivne površine (eng. Response surface method - RSM) koja obuhvata istovremeno posmatranje promena više ulaznih faktora i analizu njihovih značajnosti u odnosu na rezultate.

Veza između izlazne veličine ( $y$ ) i kontrolisanih ulaznih promenljivih, u slučaju dve ulazne promenljive ( $x_1, x_2$ ) data je sa:  $y = f(x_1, x_2)$  i površina definisana ovom zavisnošću naziva se odzivna površina (slika 1.7).



**Slika 1.7.** Grafički prikaz RSM metode,  $y = f(x_1, x_2)$

Ovom metodom nije moguće potpuno opisati vezu između izlaznih veličina i nezavisno promenljivih faktora. Zato je prvi korak pri RSM-u da se pronade odgovarajuća aproksimacija funkcionalne veze, izlazne veličine i nezavisno promenljivih faktora. Obično se

kao dobar opis zavisnosti uzima polinomna veza. Prisustvo trećeg nivoa faktora dozvoljava da veza između izlaznih i ulaznih, dizajniranih faktora bude predstavljena kao kvadratni model:

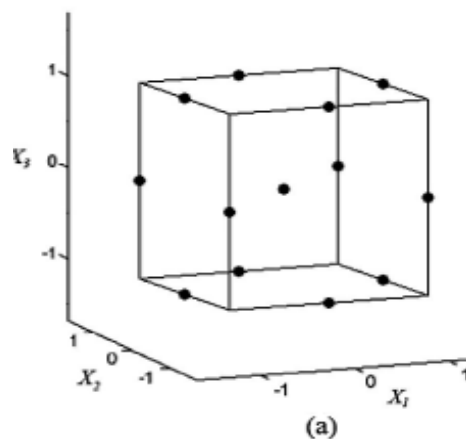
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{kk} x_k^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{k-1,k} x_{k-1} x_k + \varepsilon$$

gde je  $y$  odziv,  $x_1 - x_k$  su kodirane nezavisno promenljive, a  $\beta_0$ ,  $\beta_1 - \beta_k$ ,  $\beta_{11} - \beta_{kk}$ , i  $\beta_{12} - \beta_{k-1,k}$  su regresioni koeficijenti za odsečak, linearne, kvadratne i članove interakcije.

U novijim istraživanjima vezanim za prehrambeno inženjerstvo najčešće se koristi  $3^k$  faktorijalni dizajn (Full-factorial), odnosno njegove modifikacije sa smanjenim brojem eksperimenata, poput Box-Behnken (BBD) i Central-Compzit dizajna (CCD).

### 1.5.1. Box-Behnken dizajn

Box-Behnken eksperimentalni dizajn je dizajn sa tri nivoa (three-level design) za aproksimaciju odzivne površine i sastoji se od eksperimenata koji se mogu predstaviti kao skup tačaka koje leže na sredini svake ivice kocke i centralne tačke koja se ponavlja više puta (slika 1.8) (Myers i Montgomery, 2008).



**Slika 1.8.** Grafički prikaz Box-Behnken dizajna sa tri ulazna faktora

Kada su faktori kvantitativne veličine, često se minimalne, srednje i maksimalne vrednosti transformišu u vrednosti -1, 0, +1, respektivno, tj. vrednosti promenljivih se standardizuju. U slučaju  $k=3$  dobija se sledeći Box-Behnken dizajn predstavljen u Tabeli 1.5 u kojem ima 13 ponavljanja eksperimenata, umesto 27 u Full-factorial dizajnu. Poslednji red u

dizajn matrici predstavlja centralnu vrednost. Još jedna bitna karakteristika Box-Behnken dizajna je njegova sferičnost, tj. da ne sadrži kombinacije parametara u kojima su svi oni na svojim najnižim ili najvišim nivoima (Ferreira i sar., 2007). Na taj način izbegnuti su eksperimenti koji podržavaju ekstremne uslove rada. Eksperimentalno dobijeni podaci u Box-Behnken dizajnu na 3 nivoa koriste se za dobijanje kvadratne veze među ulaznim faktorima i izlaznim faktorom, upotrebom nelinearne regresione analize. Na taj način dobija se matematički model koji može da predvidi ponašanje ispitivanog odziva u granicama eksperimentalnog domena. U okviru Box-Behnken dizajna je primenom metode analize varijanse (ANOVA) određena statistička značajnost parametara za svaki ispitivani odziv, određujući odgovarajuće sume kvadrata, srednje kvadratne greške, te F i p vrednosti.

**Tabela 1.5.** Box – Behnken dizajn za k=3

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
-1	-1	0
-1	1	0
1	-1	0
1	1	0
-1	0	-1
-1	0	1
1	0	-1
1	0	1
0	-1	-1
0	-1	1
0	1	-1
0	1	1
0	0	0

Provera adekvatnosti primenjenog matematičkog modela, slaganja vrednosti dobijenih njim i eksperimentalnih rezultata izvodi se određivanjem koeficijenta determinacije,  $R^2$  i vrednosti Lack of Fit. Dobijeni model se smatra adekvatnim ukoliko je vrednost  $R^2$  bliska 1. Lack of Fit test poredi rezidualnu grešku (grešku ostataka) koja potiče usled neadekvatnosti modela sa „čistom“ eksperimentalnom greškom izračunatom iz ponavljanja u centralnoj tački.



Ukoliko je vrednost Lack of Fit značajna ( $p < 0,05$ ), odabrani model nije adekvatan. Takođe, za proveru uslova neophodnih za primenu navedenih metoda provereni su grafici normalne raspodele reziduala (vrednosti raspoređene oko prave linije, impliciraju da su reziduali raspoređeni po pravilima normalne raspodele), kao i grafici izmerenih u odnosu na fitovane (procenjene) vrednosti.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo doktorske disertacije podeljen je u dve faze: preliminarna ispitivanja (prva faza) i ispitivanje uticaja ekstrudata sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije na kvalitet čajnog peciva (druga faza).

U toku preliminarnih ispitivanja (prva faza eksperimentalnog rada) ispitan je uticaj dodatka obezmašćene pšenične klice (dalje u tekstu pšenična klica) na kvalitet testa i čajnog peciva u cilju definisanja optimalnog nivoa zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije i optimalnog sadržaja vlage testa. Za dobijanje proizvoda željenog kvaliteta definisanje ovih parametara je neophodno kako bi se na najoptimalniji način isplanirali eksperimenti definisani ciljem i zadatkom ove doktorske disertacije. Pšenično brašno je u količini od 5, 10 i 15 % zamenjeno obezmašćenom pšeničnom klicom. Pored uticaja nivoa zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom, ispitan je i uticaj veličine čestica pšenične klice ( $<150 \mu\text{m}$ ,  $150-1000 \mu\text{m}$  i  $800-2000 \mu\text{m}$ ), kao i vlage testa pri zamesu (20, 22 i 24 %). Za procenu uticaja ova 3 ulazna faktora na reološke i teksturalne karakteristike testa, kao i na hemijske, fizičke i senzorske karakteristike čajnog peciva korišćen je Box-Behnken eksperimentalni dizajn.

U toku druge faze eksperimentalnog rada ove doktorske disertacije, pripremljeni su ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije i to: pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke u udelima 15, 30 i 45 % (odnos kukuruzna krupica:sporedni proizvod bio je 85:15, 70:30 i 55:45). Dobijeni ekstrudati su samleveni i prosejani na sitima u cilju dobijanja 3 frakcije sa različitim veličinama čestica ( $< 250 \mu\text{m}$ ,  $250 - 1000 \mu\text{m}$  i  $1000 - 2000 \mu\text{m}$ ). Izvršena je karakterizacija samlevenih frakcija ekstrudata u smislu određivanja hemijskog sastava, raspodele veličine čestica, boje i mikrobiološke analize. Ovako dobijeni ekstrudati su zatim korišćeni u proizvodnji čajnog peciva uz zamenu pšeničnog brašna u količinama od 5, 10 i 15 % računato na masu brašna. Za procenu uticaja veličine čestica ekstrudata, udela sporednog proizvoda u ekstrudatu i udela ekstrudata u čajnom pecivu na osobine testa i čajnog peciva takođe je korišćen Box-Behnken eksperimentalni dizajn.

## 2.1. MATERIJAL

Materijal korišćen u obe faze eksperimentalnog rada za izradu čajnog peciva:

- ❖ Namensko pšenično brašno za brašeno-konditorske proizvode, (T-500 "Ratar", Pančevo),
- ❖ Šećer u prahu (komercijalni proizvod, proizvođač „Centroproizvod“, Beograd),
- ❖ Biljna mast („Vitalina“, proizvođač „Dijamant“, Zrenjanin),
- ❖ Sredstva za narastanje,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  i  $\text{NaHCO}_3$  (proizvođač “Centrohém”, Stara Pazova),
- ❖ Kuhinjska so, NaCl (Proizvođač “Centrohém”, Stara Pazova),
- ❖ Voda za piće.

U prvoj fazi eksperimentalnog rada korišćena je obezmašćena pšenična klica - Hochdorf Nutrifood AG, (Hochdorf, Švajcarska): VIOGERM®1055 (granulacija <150  $\mu\text{m}$ ) - frakcija 1, VIOGERM®1080 (granulacija 150-1000  $\mu\text{m}$ ) - frakcija 2 i VIOGERM®1115 (granulacija 800-2000  $\mu\text{m}$ ) - frakcija 3. Osnovni hemijski sastav pšeničnog brašna i pšenične klice, određene standardnim AOAC metodama (AOAC, 2000), prikazane su u Tabeli 2.1.

**Tabela 2.1.** Osnovni hemijski sastav pšeničnog brašna i obezmašćene pšenične klice (frakcije 1, 2 i 3) korišćenih u izradi uzoraka čajnog peciva

	Vlaga (%)	Proteini (%)	Mast (%)	Pepeo (%)	UH* (%)	Ukupna vlakna (%)
<b>Pšenično brasno</b>	10,83	10,04	0,95	0,54	77,64	4,57
<b>Frakcija 1</b>	4,02	28,99	8,57	4,23	54,19	17,89
<b>Frakcija 2</b>	5,13	28,16	4,92	4,75	57,04	23,31
<b>Frakcija 3</b>	4,65	31,99	5,44	4,97	52,95	19,98

\*UH-ukupni ugljeni hidrati

U drugoj fazi rada korišćene sirovine za proizvodnju ekstrudata su: kukuruzna krupica za proizvodnju snack proizvoda, mlin Đakovo (Žito d.o.o. Osijek); pšenična klica frakcija 2 (K); pivski trop iz Osječke pivare (Pivovara Osijek d.o.o.) (P); trop jabuke proizveden na ručnoj presi (J). Osnovni hemijski sastav sirovina za dobijanje ekstrudata korišćenih u drugoj fazi eksperimentalnog rada, određene standardnim AOAC metodama dat je u Tabeli 2.2.

**Tabela 2.2.** Osnovni hemijski sastav sirovina korišćenih za proizvodnju ekstrudata

Uzorak	Vlaga (%)	Proteini (%)	Mast (%)	Pepeo (%)	UH* (%)	Ulakna vlakna (%)
<b>Kukuruzna krupica</b>	14,75	7,91	1,33	0,41	90,35	3,39
<b>Pšenična klica (K)</b>	5,13	28,16	4,92	4,75	57,04	23,31
<b>Pivski trop (P)</b>	8,90	31,07	5,54	5,53	59,86	60,56
<b>Trop jabuke (J)</b>	11,93	2,48	0,00	1,86	95,88	40,47

\*UH-ukupni ugljeni hidrati

## 2.2. METODE

### 2.2.1. PRVA FAZA EKSPERIMENTALNOG RADA – UTICAJ VELIČINE ČESTICA I UDELA OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA

#### 2.1.2.1. Plan eksperimenta

U prvoj fazi eksperimentalnog rada ispitan je uticaj veličine čestica i udela obezmašćene pšenične klice na kvalitet testa i čajnog peciva u cilju definisanja optimalnog nivoa zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda prehrambene industrije, koji bi bio primenjen u drugoj fazi eksperimentalnog rada kao i optimalnog sadržaja vlage testa. Box-Behnken eksperimentalni dizajn (Montgomeri, 2001) je korišćen za procenu uticaja 3 ulazna faktora (faktor A – frakcija pšenične klice (frakcija 1 - granulacija <150 μm, frakcija 2 - granulacija 150-1000 μm i frakcija 3 - granulacija 800-2000 μm); faktor B – procenat zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom (5, 10 i 15 %) i faktor C – sadržaj vlage u testu (20, 22 i 24 %)) na reološke (odgovori R1 - R5) i teksturalne (odgovori R6 - R8) karakteristike testa za čajno pecivo, kao i na hemijski sastav (odgovori Y1-Y6), fizičke (odgovori X1-X4) i senzorske (odgovori S1-S6) karakteristike čajnog peciva. Svi faktori raspoređeni na tri nivoa i merene veličine prikazani su u Tabeli 2.3.

Kvadratni model primenjen u Box Behnken eksperimentalnom dizajnu je dat u formuli 2.1:

$$R = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_{12} AB + \beta_{13} AC + \beta_{23} BC + \beta_{11} A^2 + \beta_{22} B^2 + \beta_{33} C^2 \quad (2.1.)$$

gde je R izmerena vrednost;  $\beta_0$  je slobodan član;  $\beta_1$  do  $\beta_{33}$  su koeficijenti regresije; A, B i C su kodirani nivoi ulaznih faktora. Članovi AB, AC i BC predstavljaju interakcije

ulaznih faktora, dok  $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$  predstavljaju kvadrate ulaznih faktora. Analiza je izvedena korišćenjem programa Statistica 12 i Dizajn-Expert 7 (Trial Version) (Anderson i Whitcomb, 2007). Prikaz svih 15 eksperimenata preporučenih Box - Behnken dizajnom dat je u Tabeli 2.4.

**Tabela 2.3.** Ulazni faktori i nivoi u Box-Behnken eksperimentalnom dizajnu

Ulazni faktor	Nivo		
	nizak (-1)	srednji (0)	visok (1)
A: frakcija	1	2	3
B: klica (%)	5	10	15
C: sadržaj vlage (%)	20	22	24
Merene veličine:			
Reološke karakteristike testa: R1: Viskozitet, $\eta_0$ (Pa s) R2: Maksimalna viskoelastična komplijansa, $J_{\max}$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) R3: Elastični moduo $G'$ (Pa) R4: Viskozni moduo $G''$ (Pa) R5: Odnos viskoznog i elastičnog modula, $\tan\delta = G''/G'$ Teksturalne karakteristike testa: R6: Otpor na istezanje (N) R7: Rastegljivost (mm) R8: Tvrdoća (N) Osobine čajnog peciva: Hemijski sastav: Y1: Vlaga (%) Y2: Proteini (%) Y3: Mast (%) Y4: Pepeo (%) Y5: Ukupna vlakna (%) Y6: Ugljeni hidrati (%) Fizičke karakteristike: X1: Tvrdoća čajnog peciva (N) Boja: X2: $L^*$ (Svetloća) X3: $a^*$ (Udeo crvenog/zelenog tona) X4: $b^*$ (Udeo žutog/plavog tona) Senzorske karakteristike: S1: Boja S2: Izgled površine S3: Tvrdoća S4: Zrnastost S5: Zbijenost S6: Ukus			

**Tabela 2.4.** Plan eksperimenata preporučenih Box - Behnken dizajnom

Uzorak	Br. eksperimenata	Faktor A	Faktor B (%)	Faktor C (%)
2.5.24	1	2	5	24
2.5.20	2	2	5	20
3.10.24	3	3	10	24
2.15.24	4	2	15	24
3.10.20	5	3	10	20
1.10.24	6	1	10	24
2.15.20	7	2	15	20
1.5.22	8	1	5	22
2.10.22	9	2	10	22
1.10.20	10	1	10	20
3.15.22	11	3	15	22
1.15.22	12	1	15	22
3.5.22	13	3	5	22
2.10.22	14	2	10	22
2.10.22	15	2	10	22

Faktor A: frakcija pšenične klice; Faktor B: udeo pšenične klice u čajnom pecivu; Faktor C: vlaga testa

Koristeći kvadratni model dat u jednačini 2.1, izvršena je analiza odzivne površine za svaku izlaznu veličinu. Značaj ulaznih faktora i njihovih interakcija određen je statističkom metodom analize varijanse (ANOVA). Koristeći nivo značajnosti od 5% smatra se da faktor utiče na izlaznu veličinu ukoliko je p-vrednost manja od 0,05.

Suma kvadrata dobijenih analizom varijanse korišćena je za izračunavanje uticaja glavnih (ulaznih) faktora i njihovih interakcija na određene odzivne (izlazne) veličine. Pozitivan (negativan) znak koeficijenta regresione jednačine znači da se izlazna veličina povećava (opada) sa povećanjem faktora. Provera adekvatnosti modela je urađena crtanjem grafika normalne raspodele ostataka, kao i grafika odnosa stvarnih i predviđenih vrednosti (nisu prikazivani u tezi zbog velikog broja analiziranih odziva). Ukoliko su tačke na oba grafika distribuirane blizu pravoj liniji, zaključujemo da raspodela izmerenih vrednosti odgovara zakonima normalne raspodele (Montgomeri, 2001) i da je dobijeni model adekvatan.

### ***2.1.2.2. Određivanje sposobnosti zadržavanja vode (AWRC) suspenzije smeša pšeničnog brašna i obezmaščene pšenične klice***

AWRC vrednosti određene su prema metodi opisanoj u Pajin (2009). U prethodno izmerenu kivetu izmeri se 10 g brašna (smeše) na bazi 14 % vode brašna i doda se 50 ml rastvora NaHCO<sub>3</sub>. Kiveta se ostavi da stoji 20 min, uz mešanje svakih 5 minuta. Nakon toga

se uzorci centrifugiraju 15 min. pri 1800 o/min. Supernatant se odlije, a talog u kiveti ostavi da se ocedi i izmeri na preciznoj vagi. AWRC vrednost se izračunava prema formuli 2.2:

$$AWRC = \frac{c_2 - c_1}{c_1} \cdot 100 \quad (2.2)$$

gde je:

$c_1$  – masa brašna pre hidratacije, (g);

$c_2$  – masa brašna nakon hidratacije (g).

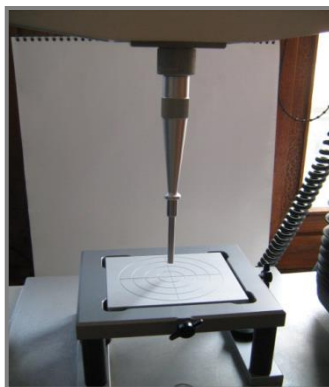
### **2.1.2.3. Probno pečenje čajnog peciva**

Na osnovu sirovinskog sastava (200g brašno; 70g šećer u prahu; 42g biljna mast; 1,1g NaCl; 0,6g NaHCO<sub>3</sub>; 0,4g NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>) zamesi se 350g testa. Količina destilovane vode koriguje se prema sadržaju vode u upotrebljenom brašnu/smeši, a izračunata količina destilovane vode poveća se za 1 % da bi se pokrio rastur vode pri doziranju). U mesilicu se najpre dozira celokupna količina brašna/smeše koja se meša 0,5 minuta, a zatim se doda celokupna količina masti i šećera u prahu. Mešenje se nastavlja još 5 minuta, a zatim se dodaju rastvori svih ostalih sirovina i destilovana voda, mesilica se poklopi i testo se mesi još 15 minuta. Sitno grudvasto testo ručno se oblikuje i stavlja u polietilensku kesu. Nakon odmaranja od 30 min, testo se propušta kroz valjke laminatora (Marchand LA4-500, Materiel modern marchand, Rueil – Malmaison, France) pri razmacima od 14, 10 i 5 mm. Nakon sečenja, testo se peče na temperaturi od 220 °C 15 min (Pajin, 2009). Dobijeno čajno pecivo se pakuje u polietilenske vreće, stabilizuje 24 sata i nakon toga ispituje.

### **2.1.2.4. Tvrdoća testa**

Tvrdoća ispitivanih uzoraka testa za čajno pecivo određena je na Teksturometru TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) primenom mernog pribora P/6 (cilindar prečnika 6 mm) i dubine prodiranja 2 mm u testo (Slika 2.1). Maksimalna sila na dubini od 2 mm predstavlja tvrdoću testa.



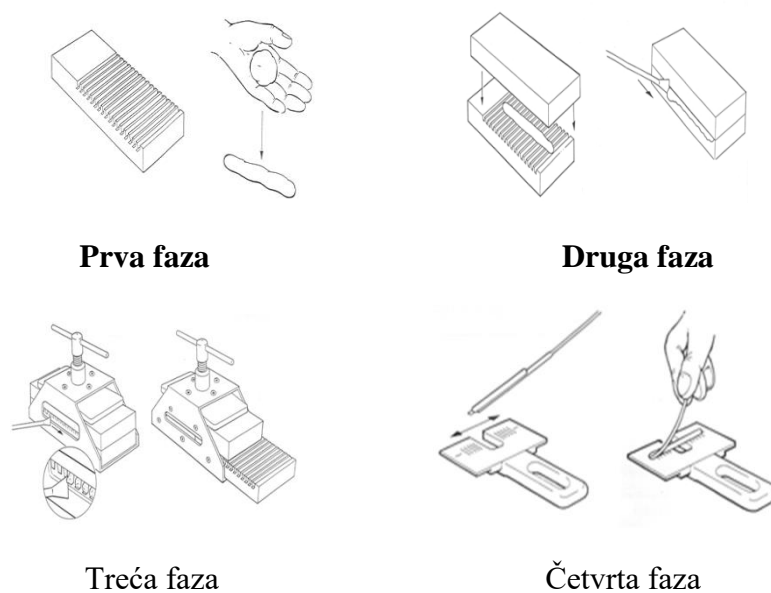


**Slika 2.1.** Merni pribor za određivanje tvrdoće testa

Merenja se izvode u pet ponavljanja na temperaturi od 25 °C pri sledećim radnim parametrima: merna ćelija: 5 kg; brzina kretanja mernog dela pre analize: 2,0 mm/s; brzina kretanja mernog dela u toku analize: 1,0 mm/s; brzina kretanja mernog dela nakon analize: 10,0 mm/s; odstojanje: 2 mm.

#### **2.1.2.5. Rastegljivost i otpor pri rastezanju testa**

U cilju definisanja rastegljivosti i otpora pri rastezanju testa koristi se mikro-metoda „Kieffer dough & gluten extensibility“. Nakon zamesa i odmaranja od 3 sata u testu su uklonjeni unutrašnji naponi, što omogućava lako oblikovanje i pripremu uzoraka za analizu. Postupak pripreme testa za analizu odvija se u četiri faze koje su prikazane na Slici 2.2



**Slika 2.2.** Priprema uzoraka testa za analizu: metoda „Kieffer dough & gluten extensibility“

Nakon pripreme uzorka, testo se isteže do postizanja granice elastičnosti, odnosno kidanja testa. Analiza se izvodi pri sledećim radnim parametrima: merna ćelija: 5 kg; brzina kretanja mernog dela pre analize: 2,0 mm/s; brzina kretanja mernog dela u toku analize: 3,3 mm/s; brzina kretanja mernog dela nakon analize: 10,0 mm/s; odstojanje: 75 mm.

#### **2.1.2.6. Dinamička oscilatorna merenja**

Za reološka merenja korišćen je rotacioni viskozimetar HAAKE RheoStress RS600 (Thermo Electron Corporation, Karlsruhe, Nemačka) (Slika 2.3) i pribor ploča-ploča PP60 Ti (dijametar 60 mm). Sva merenja se izvode na temperaturi od 25 °C.

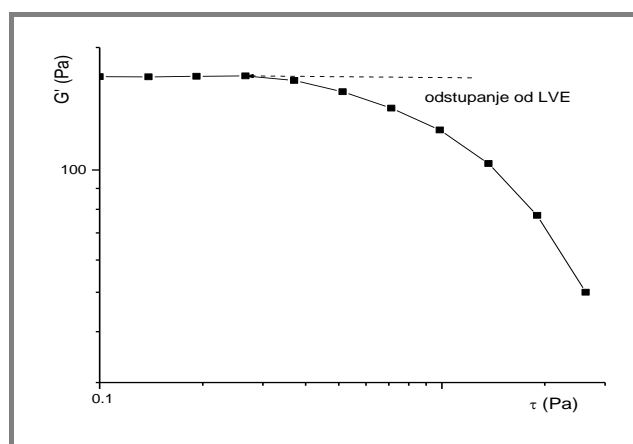


**Slika 2.3.** Rotacioni viskozimetar Haake Rheo Stress 600 i pribor PP60 Ti

Uzorci testa smeštaju su između ploča i razmak se podesi na 1 mm. Krajevi testa koji se nakon pritiska nađu izvan ploča odseku se nožem i na ivice testa nanosi se vazelinsko ulje da se spreči isušivanje. Nakon pritiska testa na 1 mm, testo se odmara 15 min, tako da popuste svi naponi. Merenja se izvode u tri ponavljanja.

Viskoelastične osobine testa definisane su određivanjem vrednosti modula elastičnosti ( $G'$ ), modula viskoznosti ( $G''$ ) i njihovog odnosa ( $\tan \delta = G''/ G'$ ) u linearnom viskoelastičnom režimu (LVE).

Za određivanje LVE režima primenjuju se ciklično povećavajući iznosi napona pri konstantnoj frekvenciji. Napon smicanja se povećava od 1 do 30 Pa, pri čemu se prate promene vrednosti  $G'$  i  $G''$  pri konstantnoj frekvenciji od 1 Hz ( $\omega = 6,28$  rad/s). Tačka pri kojoj se elastični moduo menja za više od 10% od svoje konstantne vrednosti ukazuje na odstupanje od linearnog viskoelastičnog ponašanja (Slika 2.4).



**Slika 2.4.** Primer određivanja linearnog viskoelastičnog režima

Na osnovu određenog LVE režima, definišu su uslovi merenja. Dinamička oscilatorna merenja su izvedena variranjem vrednosti  $\omega$  (ugaona brzina) od 6.28-628 rad/s (frekvencija 1-10 Hz), pri konstantnoj vrednosti napona smicanja od 30 Pa, a praćene su vrednosti modula elastičnosti ( $G'$ ) i modula viskoznosti ( $G''$ ).

#### 2.1.2.7. Krive puzanja testa (creep & recovery test)

Krivama puzanja definisane su reološke osobine testa merenjem deformacije testa u funkciji vremena pri konstantnom naponu smicanja od  $\sigma = 30$  Pa. Nakon faze delovanja napona koja traje 150 s, posmatra se period oporavka sistema (300 s) kada uzorak pokušava da povрати deo svoje prvobitne strukture. Krive puzanja testa pokazuju tipično viskoelastično ponašanje definisano kombinacijom viskozne i elastične komponente. Rezultati krivih puzanja se predstavljaju iznosima deformacije ( $\gamma$ ) u funkciji vremena po jedinici napona ( $\sigma$ ), što predstavlja vrednost puzavosti (creep compliance –  $J$ ) u jednačini 2.3.

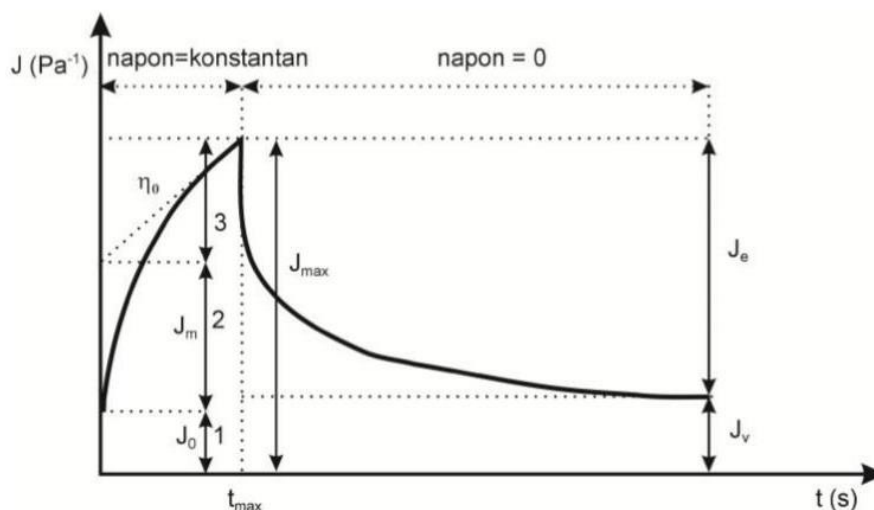
$$J = f(t) = \gamma / \sigma \quad (2.3)$$

Tipičan dijagram puzavosti (Slika 2.5) predstavljen je Bardžersovim modelom koji obuhvataju sledeće jednačine (Gallagher, 2009):

$$J(t) = J_0 + J_1 \cdot (1 - e^{-t/\lambda}) + t/\eta_0 \text{ - za fazu delovanja napona} \quad (2.4)$$

$$J(t) = J_{\max} - J_0 - J_1 \cdot (1 - e^{-t/\lambda}) \text{ - za fazu oporavka} \quad (2.5)$$

gde su:  $J_0$  – početna vrednost  $J$ ,  $J_1$  – viskoelastični iznos  $J$ ,  $J_{\max}$  – maksimalna vrednost  $J$  u creep fazi,  $\lambda$  – srednja vrednost vremena oporavka sistema,  $\eta_0$  – Njutnovski viskozitet. Takođe su izračunati i sledeći parametri:  $J_e$  – udeo elastične komponente u  $J_{\max}$ ,  $J_v$  – udeo viskozne komponente u  $J_{\max}$ .



**Slika 2.5.** Tipičan izgled krive puzanja i oporavka

#### 2.1.2.8. Određivanje osnovnog hemijskog sastava sirovina i čajnog peciva

Sadržaj vlage, proteina, masti i pepela pšeničnog brašna, pšenične klice i uzoraka čajnog peciva, određeni su u primenom standardnih AOAC metoda (AOAC, 2000). Sadržaj sirovih proteina određen je metodom po Kjeldahlu (AOAC 979.09), sadržaj masti po Soxlet-u (AOAC 4.5.01), sadržaj vlage metodom AOAC 925.09 i sadržaj pepela metodom AOAC 923.03. Faktor  $n = 6.25$  korišćen je za konverziju određenog udela azota u uzorku u udeo proteina. Sadržaj ugljenih hidrata određen je računski na osnovu izraza  $100\% - (\% \text{ vlage} + \% \text{ proteina} + \% \text{ masti} + \% \text{ pepela} + \% \text{ vlakana})$  (Charrondiere i sar., 2004; FAO 2003).

Udeo ukupnih i nerastvorljivih vlakana određen je metodom AOAC 991.43. Po 1 g obezmašćenog i osušenog uzorka izmeri se na analitičkoj vagi ( $1\text{g} \pm 0,005$ ) u četiri visoke čaše od 400 ml (dve paralele za ukupna i dve za nerastvorljiva vlakna). Doda se 40 ml MES-TRIS pufera,  $\text{pH}=8$  i 40  $\mu\text{l}$  rastvora termostabilne  $\alpha$  amilaze. Čaše se poklope aluminijumskom folijom i postave u vodeno kupatilo sa magnetnom mešalicom na  $100^\circ\text{C}$  35 min. Nakon toga, uzorci se ohlade na  $60^\circ\text{C}$ , doda se 100  $\mu\text{l}$  proteaze i posle inkubiranja na  $60^\circ\text{C}$  30 min doda se 5 mL rastvora 0,561 M HCl-a i dodavanjem rastvora 5 %-tnog HCl ili 5 %-tnog NaOH podesi  $\text{pH}$  na 4,1 – 4,8. Nakon toga, doda se 200  $\mu\text{l}$  amiloglukozidaze i uzorak se inkubira na  $60^\circ\text{C}$  u trajanju od 30 min.

Sadržaj iz dve čaše se odmah filtrira na vakuum filtru (Slika 2.6) kroz prethodno oprane, osušene i izarene sinterovane nučeve sa celitom koji su prethodno izmereni na analitičkoj vagi. Talog nakon filtriranja se ispiri vodom zagrejanom na  $70^\circ\text{C}$ , 95 %-tnim etanolom i acetonom. Talog dobijen ovim postupkom predstavlja nerastvorljiva vlakna.

Nučevi se suše preko noći na 105° C, ohlade u eksikatoru i izmere. Talog iz jedne paralele se koristi za određivanje proteina po Kjeldalu, a talog iz druge za određivanje pepela, spaljivanjem na 525° C, 5 h.



**Slika 2.6.** Aparatura za određivanje sadržaja vlakana u uzorku

U sadržaj druge dve čaše od 400 ml doda se 225 mL 95 %-tnog etanola zagrejanog na 60 °C i ostavi 60 min na sobnoj temperaturi u cilju taloženja rastvorljivih vlakana. Nakon filtriranja ovog sadržaja kroz nuč sa celitom, u talogu ostaju i nerastvorljiva i rastvorljiva vlakna, tj. ukupna vlakna. Nakon filtriranja, talog se ispira 78 %-tnim etanolom, 95 %-tnim etanolom i acetonom. Dalje se primenjuje isti postupak kao i u slučaju određivanja udela nerastvorljivih vlakana.

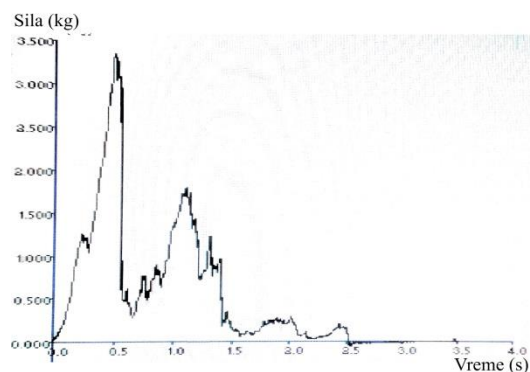
#### **2.1.2.9. Tvrdoća čajnog peciva**

Tvrdoća čajnog peciva je merena na Teksturometru TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, UK) primenom metode „Hardness measurement of biscuits by cutting“ koja je od strane proizvođača predložena za merenje tvrdoće keksa. Tokom merenja je registrovana maksimalna sila presecanja uzorka postavljenog na metalnu platformu HDP/90 pomoću noža HDP/BS (Slika 2.7).

Analiza je sprovedena u tri ponavljanja za svaki uzorak pri sledećim radnim parametrima: brzina kretanja poluge do momenta sečenja: 1.5 mm/s; brzina analize: 2 mm/s; vraćanja poluge nakon sečenja: 10 mm/s; kapacitet merne ćelije: 250 kg; rastojanje: 5 mm. Dobijena kriva zavisnosti deformacije od primenjene sile u toku vremena (Slika 2.8) analizira se za tvrdoću.



**Slika 2.7.** Pribor za merenje tvrdoće čajnog peciva



**Slika 2.8.** Primer krive zavisnosti deformacije od primenjene sile u toku vremena

Maksimalna vrednost sile koja je očitana na grafiku (najviši pik krive) predstavlja tvrdoću. U ovoj tački se uzorak prelama na dva dela.

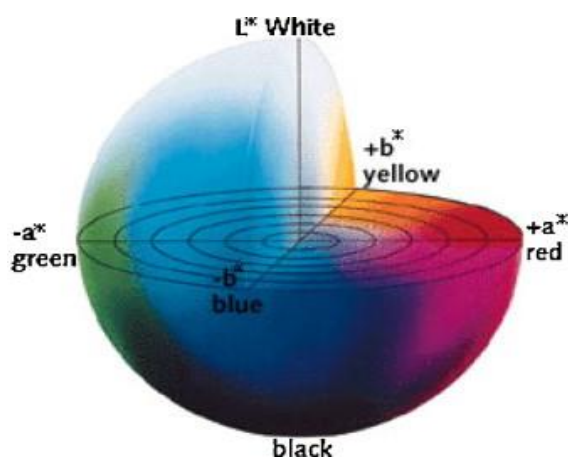
#### **2.1.2.10. Instrumentalno određivanje boje**

Za određivanje parametara boje korišćen je kolorimetar Minolta Chroma Meter CR-400 (Slika 2.9) sa otvorom 8 mm na mernoj glavi i standardnim nastavkom za merenje CR-A33b (Konica Minolta Inc., Osaka, Japan). Uređaj radi na principu tristimulusne kolorimetrije koji se zasniva se na trikomponentnoj teoriji vizuelne percepcije boje, odnosno na činjenici da ljudsko oko ima receptore za tri osnovne boje (crvena, zelena i plava) i da sve ostale boje vidi kao kombinaciju ove tri osnovne boje (Škaljac, 2014).



**Slika 2.9.** Kolorimetar Minolta Chroma Meter CR-400

Merenja su ostvarena u D-65 osvetljenju (prosečna podnevna svetlost) sa standardnim uglom zaklona od 2°. Instrument je pre svake serije merenja kalibrisan korišćenjem bele kalibracione ploče CR-A43. Parametri boje iskazani su u *CIE L\*a\*b\** sistemu (CIE, 1976). Ovaj sistem je zasnovan na tri koordinate preko kojih se definiše boja uzorka:  $L^*$  (svetloća boje),  $a^*$  (udeo crvene boje ( $+a^*$ ) ili zelene boje ( $-a^*$ )) i  $b^*$  (udeo žute boje ( $+b^*$ ) ili plave boje ( $-b^*$ )) (Slika 2.10).



**Slika 2.10.** *CIE L\*a\*b\** bojeni prostor

Ukupna promena boje računata je prema formuli (2.6):

$$\Delta E = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{1/2} \quad (2.6)$$

Parametri sa indeksom „0“ označavaju vrednosti boje za kontrolni uzorak čajnog peciva, koji je napravljen od pšeničnog brašna bez dodatka pšenične klice. Razlika u boji nije



vidljiva ljudskim okom ukoliko je vrednost  $\Delta E$  manja od 0,2; vrlo mala vidljivost rziike postoji ukoliko je vrednost  $\Delta E$  između 0,2 i 1; vrednost između 1 i 3 ukazuje na postojanje malo vidljive razlike; vrednosti između 3 i 6 na prosečno vidljivu razliku u boji; vrednosti  $\Delta E$  ukazuju na veliku vidljivost razlike između uzoraka (Bucić – Kojić, 2008).

#### **2.1.2.11. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva**

Ekstrakcija je sprovedena u skladu sa metodom predloženom od strane Rufian-Henares i saradnika (2006), uz neke modifikacije (Petisca i sar., 2014). Deset grama uzorka rastvori se u 5 ml smeše voda:metanol (70:30, v/v). Smeša se meša 1 min, a zatim se doda 2,0 ml rastvora Carrez I i Carrez II i smeša se centrifugira na 5000 o/min (4 °C) tokom 15 min i supernatant odvoji u odmerni sud zapremine 15 ml. Postupak ekstrakcije se ponavlja još dva puta sa 2 ml smeše voda:metanol (70:30) dok se ne sakupi 10 ml supernatanta. Dva mililitra supernatanta se centrifugira na 8000 o/min 15 min pre analize.

Hromatografska separacija i kvantifikacija HMF se izvode korišćenjem HPLC metode opisane u radu Ariffin i saradnika (2014) i Tomasini i saradnika (2012), uz neke modifikacije. Tečni hromatograf (Agilent 1200 series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) sa DAD detektorom i kolonom Eclipse XDB-C18, 1,8  $\mu\text{m}$ , 4,6 x 50 mm (Agilent), koristi se za kvantifikaciju hidrosimetilfurfurala u dobijenim ekstraktima. Kolona se termostatira na 30 °C, a injekciona zapremina uzorka iznosi 2  $\mu\text{l}$ . Mobilna faza sastoji se od dva eluenta, H<sub>2</sub>O (0,1 % HCOOH ) (A) i metanola (B), sa protokom od 0,75 ml/min. Koristi se izokratska elucija , sa odnosom A:B (90:10, v/v). Talasna dužina DAD detektora podešava se na 284 nm. Ukupno vreme trajanja analize je 5 min.

#### **2.1.2.12. Senzorska analiza**

Uzorci čajnog peciva ocenjeni su od strane panela koji je činilo 10 obučениh članova, prehrambenih tehnologa. Članovi panela su obučeni prema standardu ISO 8586 (2012). Svaka trening sekcija trajala je 2 h. Na početku, ocenjivačima su predstavljeni termini koji se mogu koristiti za ocenu čajnog peciva (ISO 5492, 1992), a zatim su upoznati sa izuzetno nepovoljnim senzorskim atributima. Na poslednjoj sekciji, ocenjivači su razvili i usvojili konačnu listu od 6 značajnih senzorskih atributa koje treba koristiti u ispitivanju. Intenzitet svakog atributa je naveden na skali intenziteta koja se sastoji od 7 tačaka (1 = najmanji intenzitet – 7 = najveći intenzitet) (ISO 4121, 2002). Ocenjivani atributi su: boja (intenzitet

boje na površini: od 1 – ekstremno svetlo do 7 – ekstremno tamno); izgled površine (broj pukotina na površini čajnog peciva: od 1 – ne postoje do 7 – mnogo); tvrdoća (lakoća s kojom se uzorci mogu slomiti na dva dela: od 1 – ekstremno tvrdo do 7 – ekstremno meko); zrnavost (udeo malih čvrstih čestica između zuba tokom žvakanja: od 1 – ne postoje do 7 – mnogo); veličina i raspored vazdušnih ćelija na preseku čajnog peciva (od 1 – zbijeno, male, gusto pakovane ćelije do 7 – vazdušaste, velike, uniformne ćelije) i ukus (od 1 – loš, stran do 7 – svojstven).

Ocena čajnog peciva obavljena je 24 h nakon pečenja u senzorskoj laboratoriji Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Novom Sadu koja je dizajnirana prema standardu ISO 8589 (2007). Uzorci čajnog peciva postavljeni su ocenjivačima na belim plastičnim tanjirima, šifrirani su trocifrenim kodovima iz tabele slučajnih brojeva i svaki ocenjivač je ocenjivao pet uzoraka po sesiji. Ocenjivači su nakon ocenjivanja svakog uzorka ispirali usta vodom. Izgled listića za senzorsku ocenu uzoraka čajnog peciva dat je na Slici 2.11.

## Čajno pecivo

DATUM \_\_\_\_\_

ŠIFRA UZORKA \_\_\_\_\_

ŠIFRA OCENJIVAČA \_\_\_\_\_

Boja- intenzitet braon boje na površini čajnog peciva						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno svetla			Optimalna			Ekstremno tamna

POVRŠINSKE PUKOTINE –broj vidljivih pukotina na površini čajnog peciva						
1	2	3	4	5	6	7
Ne postoje						Mnogo

TVRDOĆA (sila potrebna da se u ustima prelomi čajno pecivo na dva dela)						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno tvrdo			Optimalno			Ekstremno meko

ZRNAVOST - udeo malih čestica u ustima nakon žvakanja						
1	2	3	4	5	6	7
Glatko						Zrnasto

Veličina pora na preseku						
1	2	3	4	5	6	7
Male, gusto pakovane ćelije						Velike ćelije

UKUS						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno loš, stran						Svojtven

**Slika 2.11.** Izgled listića za senzorsku ocenu uzoraka čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

## **2.2.2. DRUGA FAZA EKSPERIMENTALNOG RADA – UTICAJ EKSTRUDATA KUKURUZNE KRUPICE OBOGAĆENIH SPOREDNIM PROIZVODIMA PREHRAMBENE INDUSTRIJE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA**

### **2.2.2.1. Proizvodnja ekstrudata**

Ulazne smeše za ekstrudiranje pripremljene su mešanjem kukuruzne krupice i sporednih proizvoda prehrambene industrije (pšenične klice, osušenog pivskog tropa i tropa jabuke) u laboratorijskom mikseru u udelima 15, 30 i 45 % računato na masu kukuruzne krupice (Tabela 2.5). Dodatkom vode, sadržaj vlage zamesa je podešen na 15 %. Zamesi su ekstrudirani na jednopužnom laboratorijskom ekstruderu 19/20 DN, Brabender GmbH, Duisburg, Nemačka (Slika 2.12), pri temperaturnom profilu: 135/170/170 °C; konfiguracija puža: 4:1; i otvor: 4 mm.



**Slika 2.12.** Laboratorijski jednopužni ekstruder Brabender 19/20 DN

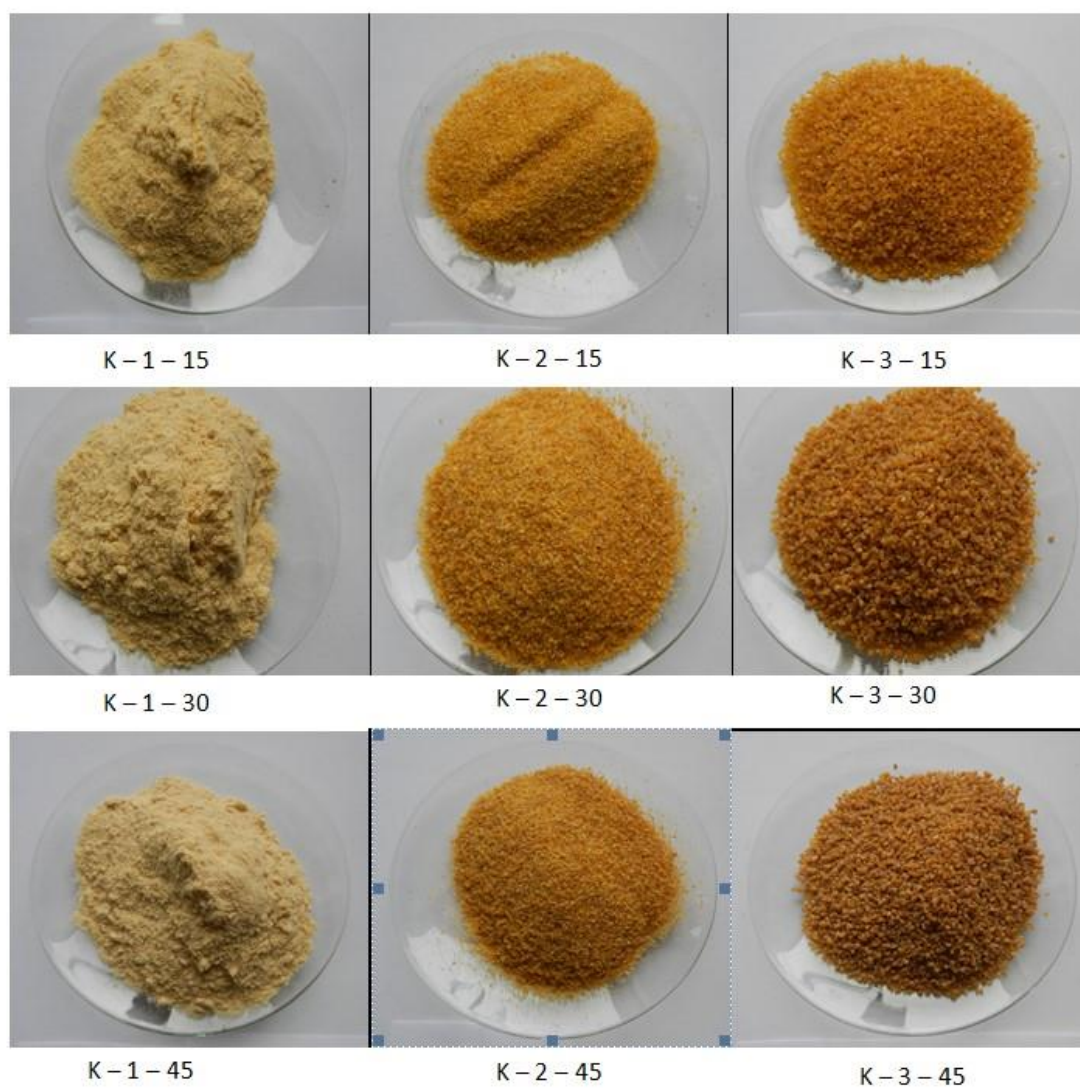
Dobijeni ekstrudati su samleveni na laboratorijskom mlinu IKA MF10 i prosejani kroz slog laboratorijskih sita (BÜHLER, MLU300) kako bi se dobile tri frakcije: frakcija 1, čestice < 250 µm; frakcija 2, čestice od 250 do 1000 µm; frakcija 3, čestice od 1000 do 2000 µm. Oznake uzoraka koji su korišćeni u daljem eksperimentalnom radu, u zavisnosti od vrste i udela sporednog proizvoda u ekstrudatu, kao i veličine čestica ekstrudata, prikazani su u Tabeli 2.6, a njihov izgled na Slikama 2.13, 2.14 i 2.15. Uzorci samlevenih ekstrudata spakovani su u polietilenske vrećice i čuvani na temperaturi do 4°C za dalje analize.

**Tabela 2.5.** Udeo kukuruzne krupice i sporednih proizvoda u ulaznoj smeši za ekstrudiranje

<b>Ekstrudat</b>	<b>Udeo sporednog proizvoda (%)</b>	<b>Udeo kukuruzne krupice (%)</b>
<b>Pšenična klica</b>		
<b>K15</b>	15	85
<b>K30</b>	30	70
<b>K45</b>	45	55
<b>Pivski trop</b>		
<b>P15</b>	15	85
<b>P30</b>	30	70
<b>P45</b>	45	55
<b>Trop jabuke</b>		
<b>J15</b>	15	85
<b>J30</b>	30	70
<b>J45</b>	45	55

**Tabela 2.6.** Samleveni ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom sporednih proizvoda

<b>Ekstrudati pšenične klice</b>	<b>Ekstrudati pivskog tropa</b>	<b>Ekstrudati tropa jabuke</b>	<b>Udeo sporednog proizvoda (%)</b>	<b>Udeo kukuruzne krupice (%)</b>	<b>Veličina čestica (µm)</b>
<b>K -1- 15</b>	<b>P -1- 15</b>	<b>J -1- 15</b>	15	85	< 250
<b>K -2- 15</b>	<b>P -2- 15</b>	<b>J -2- 15</b>	15	85	250-1000
<b>K -3- 15</b>	<b>P -3- 15</b>	<b>J -3- 15</b>	15	85	1000-2000
<b>K -1- 30</b>	<b>P -1- 30</b>	<b>J -1- 30</b>	30	70	< 250
<b>K -2- 30</b>	<b>P -2- 30</b>	<b>J -2- 30</b>	30	70	250-1000
<b>K -3- 30</b>	<b>P -3- 30</b>	<b>J -3- 30</b>	30	70	1000-2000
<b>K -1- 45</b>	<b>P -1- 45</b>	<b>J -1- 45</b>	45	55	< 250
<b>K -2- 45</b>	<b>P -2- 45</b>	<b>J -2- 45</b>	45	55	250-1000
<b>K -3- 45</b>	<b>P -3- 45</b>	<b>J -3- 45</b>	45	55	1000-2000



**Slika 2.13.** Samleveni ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klince koji su korišćeni u proizvodnji čajnog peciva





**Slika 2.14.** Samleveni ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom pivskog tropa koji su korišćeni u proizvodnji čajnog peciva





**Slika 2.15.** Samleveni ekstrudati kukuruzne krupice sa dodatkom tropa jabuke koji su korišćeni u proizvodnji čajnog peciva

#### **2.2.2.2. Određivanje hemijskih karakteristika ekstrudata**

Analiza osnovnog hemijskog sastava svih frakcija samlevenih ekstrudata, urađena je prema metodama opisanim u odeljku 2.1.2.8.

#### **2.2.2.3. Određivanje raspodele veličine čestica ekstrudata**

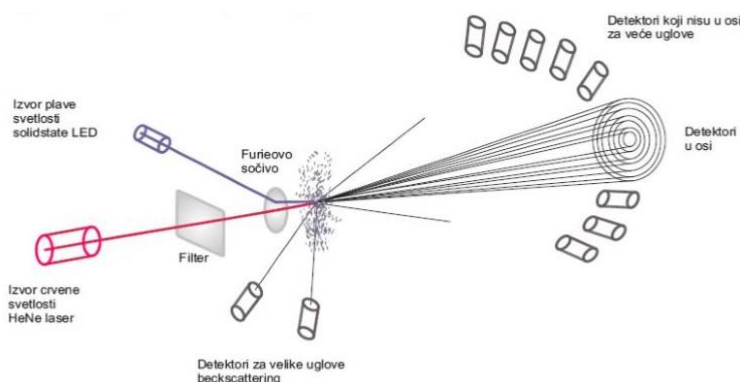
Raspodela veličina čestica frakcija samlevenih ekstrudata određena je metodom difrakcije laserske svetlosti. Laserska difraktometrija se bazira na činjenici da je prostorni raspored difraktovane svetlosti funkcija veličine čestica uzorka koji se analizira. U suštini, laserska difraktometrija meri intenzitete i rastojanja difrakcionih prstenova (prostorne uglove

i pravac upadne svetlosti). Merenja su realizovana pomoću uređaja Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK i jedinice za dispergovanje praškastih uzorka Scirocco (Slika 2.16).



**Slika 2.16.** Uređaj Mastersizer 2000 i jedinica Scirocco

Uređaj čine optički instrument i računar sa odgovarajućim programskim paketom. Uzorak čestica, dispergovanih u odgovarajućem medijumu (u ovom slučaju vazduh), prolazi kroz fokusirani snop svetlosti i rasejava svetlost pod karakterističnim prostornim uglovima. Mastersizer 2000 koristi dva izvora svetlosti, HeNe laser je izvor crvene svetlosti talasne dužine 633 nm, i smešten je u osu instrumenta. Drugi izvor svetlosti, koji nije u osi, je LED koji emituje plavu svetlost talasne dužine 455 nm (Slika 2.17). Opseg veličina čestica koje se mogu izmeriti instrumentom je od 0,02 do 2000  $\mu\text{m}$  (Stojanović i sar., 2010).



**Slika 2.17.** Princip rada uređaja Mastersizer 2000

#### 2.2.2.4. Instrumentalno određivanje boje ekstrudata

Boja svih frakcija samlevenih ekstrudata nakon mlevenja određena je prema metodi opisanoj u odeljku 2.1.2.10.

### 2.2.2.5. Mikrobiološka analiza ekstrudata

Za mikrobiološku analizu pšeničnog brašna, kukuruzne krupice i dobijenih ekstrudata, po dvadeset grama uzorka je homogenizovano 10 minuta na 200 obrtaja (Unimax 1010, Heidolph, Nemačka) u 180 mL 1 g/L puferovane peptonske vode (Merck, Darmstadt), a zatim su pripremljene serije decimalnih razređenja (do 10<sup>-5</sup>). U pripremljenim uzorcima određivan je ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija (ISO 4833), ukupan broj aerobnih mezofilnih sporogenih bakterija (Downes i Ito, 2001), ukupan broj kvasaca i plesni (ISO 21527-2), ukupan broj enterobakterija (ISO 21528-2), *Escherichia coli* (ISO 16649-2), sulfitoredukujuće klostridije (*Clostridium perfringens*) (ISO 15213) i ukupan broj lipolitičkih bakterija (Downes i Ito, 2001).

Po jedan mililitar pripremljenih razblaženja plasiran je u sterilne Petri ploče i naliven odgovarajućom mikrobiološkom podlogom u zavisnosti od vrste testiranog mikroorganizma. Za određivanje ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija korišćen je agar za ukupan broj (PCA) (Merck, Darmstadt, Nemačka). Ukupan broj kvasaca i plesni određivan je na Dichloran 18% glicerol agaru (DG18) (Merck, Darmstadt, Nemačka). Za određivanje *Escherichia coli* primenjivan je tripton-žuč glukorinid agar (TBX agar) (Merck, Darmstadt). Sulfitoredukujuće klostridije (*C. perfringens*) određivane su na sulfit-cikloserin agaru (TSC) (Merck, Darmstadt). Za određivanje enterobakterija primenjivan je ljubičasto crveni žuč glukoza agar (VRBGA) (Merck, Darmstadt, Nemačka). Lipolitičke bakterije su određivane na Tributirin agaru (TA) (Merck, Darmstadt). Nakon nalivanja odgovarajuće podloge, pripremljene Petri ploče su inkubirane (u zavisnosti od vrste ispitivanog mikroorganizma): na 30 °C tokom 72 h za određivanje ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija, aerobnih mezofilnih sporogenih bakterija i lipolitičkih bakterija; na 37 °C tokom 24-48 h za određivanje ukupnog broja enterobakterija, i sulfitoredukujućih klostridija (anaerobno inkubiranje); na 44°C tokom 24-48 h za *E. coli*; na 25 °C tokom 5 dana za određivanje ukupnog broja kvasaca i plesni. Nakon inkubiranja, tipične i atipične kolonije izrasle na selektivnim podlogama su identifikovane na osnovu makromorfoloških i mikromorfoloških karakteristika, kao i biohemijskih testova. Rezultati su izraženi kao broj formiranih kolonija po gramu (cfu/g).

### 2.2.2.6. Plan eksperimenta

U drugoj fazi eksperimentalnog rada ispitan je uticaj veličine čestica i udela ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke na osobine testa i kvalitet čajnog peciva. Za procenu uticaja ovih parametara takođe je korišćen Box-Behnken eksperimentalni dizajn. U ovom slučaju ulazni faktori su bili: faktor F – veličina čestica ekstrudata (< 250 μm – granulacija 1; 250-1000 μm – granulacija 2; 1000-2000 μm – granulacija 3), faktor T – udeo sporednog proizvoda u ekstrudatu (15, 30 i 45 % računato na masu kukuruzne krupice) i Faktor E – procenat zamene pšeničnog brašna ekstrudatom (5, 10 i 15% računato na masu brašna). Svi ulazni faktori raspoređeni na tri nivoa, kao i merene veličine, prikazani su u Tabeli 2.7.

Kvadratni model dobijen u Box – Behnken eksperimentalnom dizajnu je dat kao:

$$R = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 T + \beta_3 E + \beta_{12} FT + \beta_{13} FE + \beta_{23} TE + \beta_{11} F^2 + \beta_{22} T^2 + \beta_{33} E^2 \quad (2.7)$$

gde je R izmerena vrednost;  $\beta_1$  do  $\beta_{33}$  su koeficijenti regresije; F, T i E su kodirani nivoi ulaznih faktora. Članovi FT, FE i TE predstavljaju interakcije ulaznih faktora, dok  $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$  predstavljaju kvadrate ulaznih faktora. Prikaz svih 15 eksperimenata preporučenih Box - Behnken dizajnom dati je u Tabeli 2.8.

Koristeći kvadratni model dat u jednačini 2.7, dalje je izvršena analiza kako je opisano u odeljku 2.1.2.1.

**Tabela 2.7.** Ulazni faktori i merene veličine

Ulazni faktor	Nivo		
	nizak (-1)	srednji (0)	visok (1)
F: granulacija ekstrudata	1	2	3
T: udeo sporednog proizvoda u ekstrudatu (%)	15	30	45
E: udeo ekstrudata (%)	5	10	15
Merene veličine:			
Reološke karakteristike testa:			
KR1; PR1; JR1: Viskozitet, $\eta_0$ (Pa s)			
KR2; PR2; JR2: Maksimalna viskoelastična komplijansa, $J_{\max}$ (Pa <sup>-1</sup> )			
KR3; PR3; JR3: Elastični moduo $G'$ (Pa)			
KR4; PR4; JR4: Viskozni moduo $G''$ (Pa)			
KR5; PR5; JR5: Odnos viskoznog i elastičnog modula, $\tan \delta = G''/G'$			
Teksturalne karakteristike testa:			
KT1; PT1; JT1: Otpor na istezanje (N)			
KT2; PT2; JT2: Rastegljivost (mm)			
KT3; PT3; JT3: Tvrdoća (N)			
Osobine čajnog peciva:			
Hemijski sastav:			
KH1; PH1; JH1: Vlaga (%)			
KH2; PH2; JH2: Proteini (%)			
KH3; PH3; JH3: Mast (%)			
KH4; PH4; JH4: Pepeo (%)			
KH5; PH5; JH5: Ukupna vlakna (%)			
KH6; PH6; JH6: Nerastvorljiva vlakna (%)			
Fizičke karakteristike:			
KF1; PF1; JF1: Tvrdoća čajnog peciva (N)			
Boja:			
KF2; PF2; JF2: $L^*$ (Svetloća)			
KF3; PF3; JF3: $a^*$ (Udeo crvenog/zelenog tona)			
KF4; PF4; JF4: $b^*$ (Udeo žutog/plavog tona)			
Senzorske karakteristike:			
KS1; PS1; JS1: Boja			
KS2; PS2; JS2: Izgled površine			
KS3; PS3; JS3: Oblik			
KS4; PS4; JS4: Tvrdoća			
KS5; PS5; JS5: Zrnastost			
KS6; PS6; JS6: Ukus			

KR(1-5); KT(1-3); KH (1-6); KF (1-4); KS (1-6): karakteristike testa/čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice; PR(1-5); PT(1-3); PH (1-6); PF (1-4); PS (1-6): karakteristike testa/čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa; JR(1-5); JT(1-3); JH (1-6); JF (1-4); JS (1-6): karakteristike testa/čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke

**Tabela 2.8.** Eksperimenti preporučeni Box - Behnken eksperimentalnim dizajnom

Uzorak	Br. eksperimenta	Faktor F	Faktor T (%)	Faktor E (%)
<b>K/P/J – 3.45.10</b>	1	3	45	10
<b>K/P/J – 1.30.5</b>	2	1	30	5
<b>K/P/J – 1.30.15</b>	3	1	30	15
<b>K/P/J – 2.45.15</b>	4	2	45	15
<b>K/P/J – 2.15.15</b>	5	2	15	15
<b>K/P/J – 2.30.10</b>	6	2	30	10
<b>K/P/J – 2.45.5</b>	7	2	45	5
<b>K/P/J – 3.15.10</b>	8	3	15	10
<b>K/P/J – 3.30.15</b>	9	3	30	15
<b>K/P/J – 2.30.10</b>	10	2	30	10
<b>K/P/J – 1.45.10</b>	11	1	45	10
<b>K/P/J – 1.15.10</b>	12	1	15	10
<b>K/P/J – 3.30.5</b>	13	3	30	5
<b>K/P/J – 2.15.5</b>	14	2	15	5
<b>K/P/J – 5.30.10</b>	15	2	30	10

\*Uzorci sa dodatkom ekstrudata pšenične klice imaju predznak K; Uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa imaju predznak P; Uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke imaju predznak J;

\* Faktor F: veličina čestica ekstrudata; Faktor T: udeo sporednog proizvoda u ekstrudatu; Faktor E: udeo ekstrudata u čajnom pecivu

#### 2.2.2.5. Probno pečenje čajnog peciva

Probno pečenje čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata u udelima od 5, 10 i 15 % računato na bazi zamene pšeničnog brašna, rađeno je po metodi opisanoj u odeljku 2.1.2.3. Sadržaj vlage testa pri zamesu je 22 %.

#### 2.2.2.6. Reološke i teksturalne karakteristike testa

Tvrdoća testa definisana je po metodi opisanoj u odeljku 2.1.2.4., rastegljivost i otpor pri rastezanju testa definisani su po metodama opisanim u odeljku 2.1.2.5. Dinamička oscilatorna merenja rađena su po metodi u odeljku 2.1.2.6., a krive puzanja testa (creep & recovery test) dobijene su prema metodi definisanoj u odeljku 2.1.2.7.

### **2.2.2.7. Karakteristike čajnog peciva**

Metode korišćene za određivanje osnovnog hemijskog sastava čajnog peciva opisane su u odeljku 2.1.2.8. Metoda za određivanje tvrdoće čajnog peciva data je u odeljku 2.1.2.9., a metoda za određivanje parametara boje čajnog peciva u odeljku 2.1.2.10.

### **2.2.2.8. Senzorska analiza čajnog peciva**

Senzorska analiza uzoraka čajnog peciva rađena je prema metodi opisanoj u odeljku 2.1.2.12, uz neke izmene. Ocenjivani atributi su: boja (intenzitet boje na površini: od 1 – ekstremno svetlo do 7 – ekstremno tamno); izgled površine (broj pukotina na površini čajnog peciva: od 1 – mnogo do 7 - ne postoje); tvrdoća (lakoća s kojom se uzorci mogu slomiti na dva dela: od 1 – ekstremno meko do 7 – ekstremno tvrdo); zrnavost (udeo malih čvrstih čestica između zuba tokom žvakanja: od 1 – mnogo do 7 – ne postoje); izgled pora (od 1 – neuniformne do 7 – sitne, ujednačene) ukus (od 1 – loš, stran do 7 – svojstven). Izgled listića za senzorsku ocenu uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata dat je na Slici 2.18.



## Čajno pecivo

DATUM \_\_\_\_\_

ŠIFRA UZORKA \_\_\_\_\_

ŠIFRA OCENJIVAČA \_\_\_\_\_

Boja- intenzitet braon boje na površini čajnog peciva						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno svetla			Optimalna			Ekstremno tamna

IZGLED POVRŠINE - vidljive pukotine na površini čajnog peciva						
1	2	3	4	5	6	7
Mnogo						Ne postoje

IZGLED PORA na preseku čajnog peciva						
1	2	3	4	5	6	7
Neuniformne						Sitne, ujednačene

TVRDOĆA (sila potrebna da se u ustima prelomi čajno pecivo na dva dela)						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno meko			Optimalno			Ekstremno tvrdo

ZRNAVOST - udeo malih čestica u ustima nakon žvakanja						
1	2	3	4	5	6	7
Mnogo						Ne postoje

UKUS						
1	2	3	4	5	6	7
Ekstremno loš, stran						Svojtven

Slika 2.18. Izgled listića za senzorsku ocenu uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata

#### ***2.2.2.9. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva***

Određivanje hidrosimetilfurfurala u uzorcima čajnog peciva opisan je u odeljku 2.1.2.11.

#### ***2.2.2.10. Mikrobiološka analiza čajnog peciva***

Uzorci čajnog peciva analizirani su 24 h nakon pečenja i svakog meseca u periodu od 6 meseci, u cilju ispitivanja uticaja dodatka ekstrudata sporednih proizvoda na trajnost čajnog peciva, a prema metodama opisanim u odeljku 2.2.2.5.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

### 3.1. PRVA FAZA - UTICAJ OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA

#### 3.1.1. AWRC VREDNOST SMEŠA PŠENIČNOG BRAŠNA I OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE

Vrednosti sposobnosti zadržavanja vode suspenzije brašna u alkalnoj sredini (AWRC) za uzorke pšeničnog brašna i smeša pšeničnog brašna i različitih frakcija pšenične klice (frakcija 1 – frakcija 3) u različitim udelima (5 – 15 %) prikazane su u Tabeli 3.1.

**Tabela 3.1.** AWRC vrednosti za pšenično brašno i smeše brašna i pšenične klice

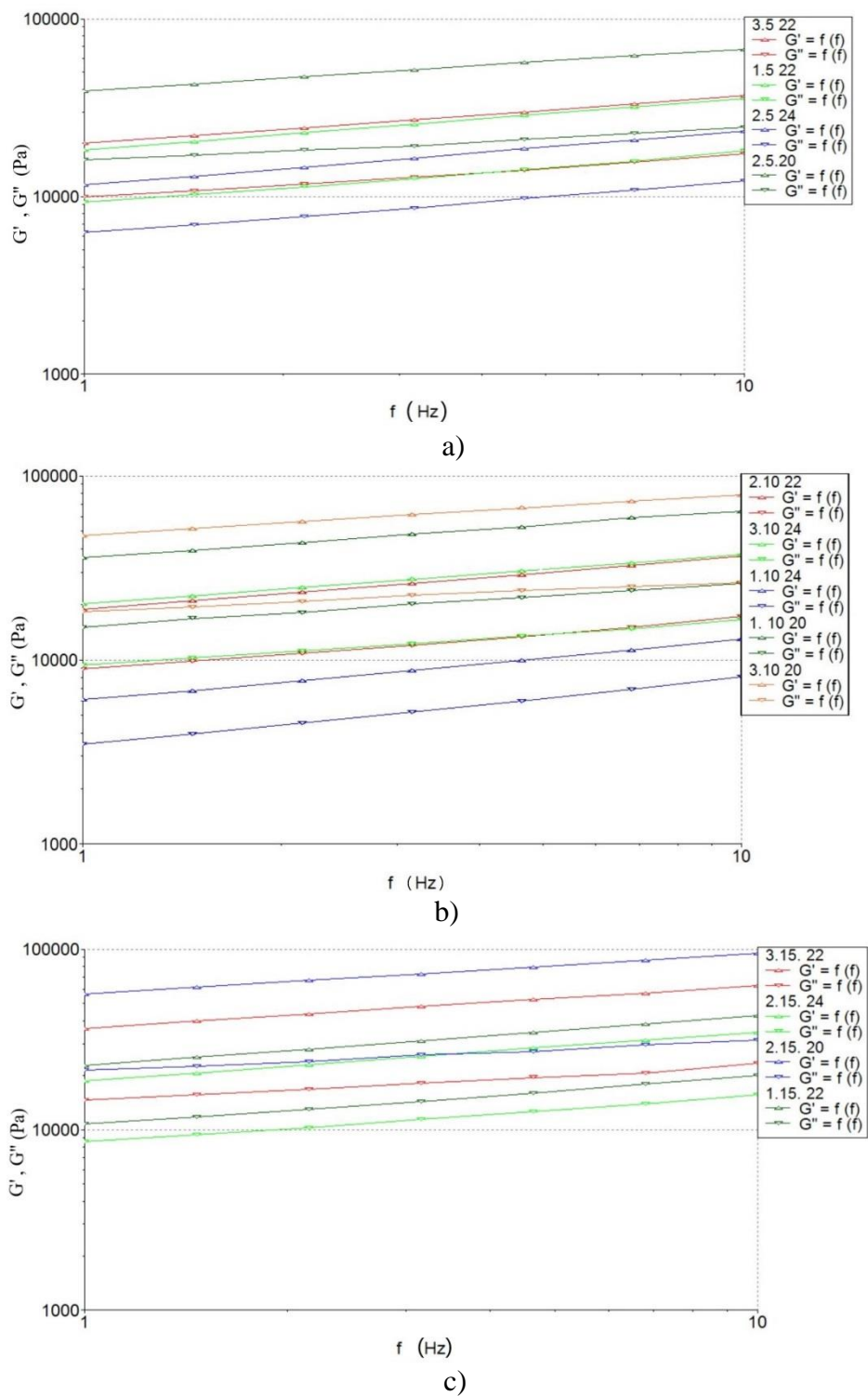
	Brašno		Brašno + frakcija 1			Brašno + frakcija 2			Brašno + frakcija 3		
Udeo klice u brašnu (%)	0	5	10	15	5	10	15	5	10	15	
AWRC (%)	71,38	73,35	75,31	78,2	72,64	74,15	78,28	75,18	78,86	80,65	

Pšenična klica sadrži veći udeo proteina i vlakana od pšeničnog brašna koji vezuju vodu, tako da su rezultati određivanja AWRC vrednosti smeša pšeničnog brašna i obezmašćene pšenične klice čekivano pokazali veću sposobnost zadržavanja vode. Rezultati su pokazali da se sa povećanjem veličine čestica pšenične klice u smeši sposobnost zadržavanja vode povećava. Do istog zaključka došli su i Zhang i saradnici (1997) kada su ispitivali fizičke karakteristike pšeničnih mekinja, tj. krupnije čestice su upijale značajno više vode od sitnijih.

#### 3.1.2. OSOBINE TESTA

##### 3.1.2.1. Dinamička oscilatorna merenja

Moduli elastičnosti i viskoznosti su prikazani na Slici 3.1. Svih 15 eksperimenata preporučenih Box-Behnken dizajnom i dobijeni rezultati za reološke karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice prikazani su u Tabeli 3.2.



**Slika 3.1.** Promena modula elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ), u zavisnosti od frekvencije ( $f$ ), uzoraka testa sa: a) 5% zamene pšeničnog brašna, b) 10% zamene pšeničnog brašna, c) 15% zamene pšeničnog brašna obezmašćenom pšeničnom klicom

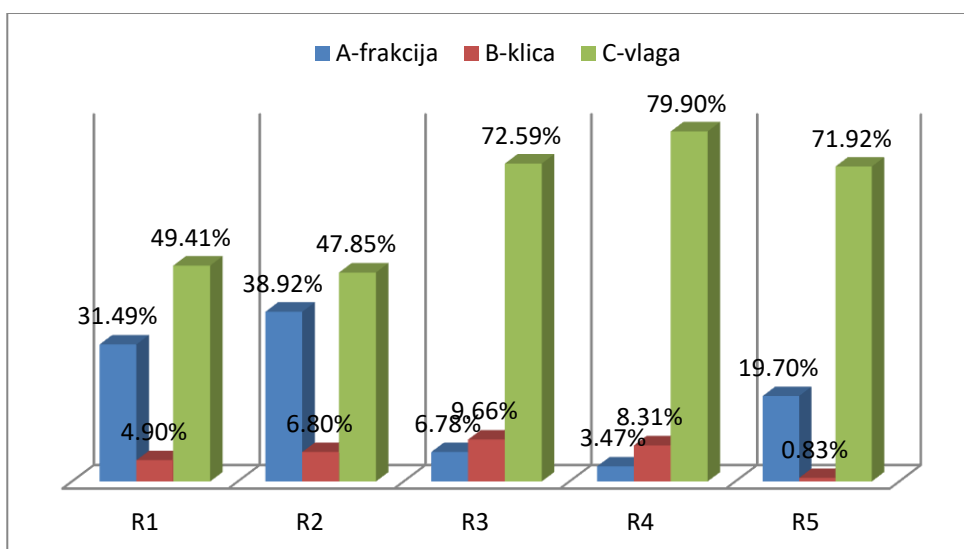
**Tabela 3.2.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i reološke karakteristike testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovor					
	A	B	C	R1 ( $\times 10^{-5}$ )	R2 ( $\times 10^4$ )	R3	R4	R5	$J_e/J_{max}$
2.5.24	2	5	24	3,94	11,43	23400	12270	0,52	43,88
2.5.20	2	5	20	11,56	3,9	67400	24550	0,36	34,62
3.10.24	3	10	24	5,58	8,05	37370	16500	0,47	43,34
2.15.24	2	15	24	5,98	7,53	34660	15560	0,49	41,90
3.10.20	3	10	20	18,47	2,44	78910	26390	0,36	50,63
1.10.24	1	10	24	3,28	13,75	12960	8118	0,59	44,04
2.15.20	2	15	20	15,21	2,96	94980	31340	0,45	53,68
1.5.22	1	5	22	4,28	10,51	35770	18070	0,49	42,49
2.10.22	2	10	22	7,09	6,35	36830	17260	0,46	42,01
1.10.20	1	10	20	5,41	8,32	64270	25890	0,41	54,13
3.15.22	3	15	22	11,48	3,92	62920	23380	0,39	54,81
1.15.22	1	15	22	5,62	8,01	42890	19970	0,46	38,48
3.5.22	3	5	22	8,48	5,31	36960	17390	0,47	54,81
2.10.22	2	10	22	7,50	6,00	38890	18210	0,45	41,29
2.10.22	2	10	22	6,28	7,17	39070	18160	0,45	41,99
Kontrolni	/	/	22	4,25	10,60	24500	14270	0,48	60,62

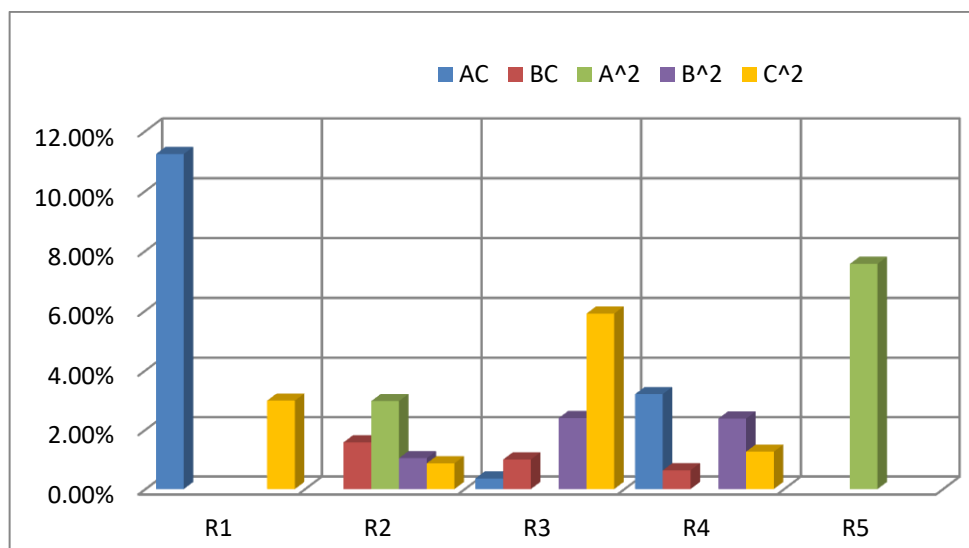
R1 –  $\eta_0$ ; R2 –  $J_{max}$ ; R3 – G'; R4 - G''; R5 –  $\tan \delta$ **Tabela 3.3.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore R1-R5

	R1	R2	R3	R4	R5
$\beta_0$	725285,7	0,00065107	38152.31	17913.69	0,459133
$\beta_1$ (A)	317775***	-0,00026078***	7533.75***	1451.5**	-0,03225**
$\beta_2$ (B)	125325	-0,00010898***	8990***	2246.25***	-0,00663
$\beta_3$ (C)	-398050***	0,00028915***	-24646.3***	-6965.25***	0,061625***
$\beta_{12}$ (AB)			4710*		
$\beta_{13}$ (AC)	-268400***			1970.5**	
$\beta_{23}$ (BC)		0,00007410*	-4080*		-0,02825
$\beta_{11}$ (A <sup>2</sup> )		0,00010592**			
$\beta_{22}$ (B <sup>2</sup> )		-0,00006300	10308.46**	1283.04*	
$\beta_{33}$ (C <sup>2</sup> )	143064,3*	0,00005730	38152.31***	17913.69*	
$R^2$	0,9673	0,9863	0,9905	0,9879	0,8521
Lack of Fit	0,2774	0,6810	0,0951	0,1834	

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; R1 –  $\eta_0$ ; R2 –  $J_{max}$ ; R3 – G'; R4 - G''; R5 –  $\tan \delta$



**Slika 3.2.** Uticaji ulaznih faktora A, B i C na reološke karakteristike testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (R1 –  $\eta_0$ ; R2 –  $J_{max}$ ; R3 –  $G'$ ; R4 –  $G''$ ; R5 –  $\tan \delta$ )



**Slika 3.3.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (AB, AC i BC) i njihovih kvadrata ( $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$ ) na reološke karakteristike testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (R1 –  $\eta_0$ ; R2 –  $J_{max}$ ; R3 –  $G'$ ; R4 –  $G''$ ; R5 –  $\tan \delta$ )

Kao što se može videti na Slici 3.2. i Slici 3.3 na kojima je prikazan uticaj faktora A, B i C, njihovih kvadrata ( $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$ ) i interakcija (AB, AC i BC) na reološke karakteristike testa, najveći uticaj na viskoelastična svojstva testa imaju sadržaj vlage u testu i frakcija, odnosno veličina čestica pšenične klice. Na promenu modula uzoraka čajnog peciva sa promenom frekvencije u okviru primenjenog napona (30 Pa), uticaj sva tri faktora (A, B i C) je statistički značajan ( $p < 0,05$ ), kao što se može videti u Tabeli 3.3. Vrednosti oba modula ( $G'$  i  $G''$ ) povećavaju se sa povećanjem veličine čestica pšenične klice (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  za odgovore R3 i R4 u Tabeli 3.3), sa smanjenjem sadržaja vlage u testu

(negativna vrednost koeficijenta  $\beta_3$ ) i sa povećanjem procenta zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_2$ ) i takva testa su suva, imaju neadekvatnu strukturu i potrebno je povećati sadržaj vode u formulaciji. Uticaj vlage testa (faktor C) na vrednosti oba modula ima značajan uticaj (72,59 % za  $G'$  i 79,90% za  $G''$ ). Kao što se može videti, kod uzoraka testa sa 5 % zamene pšeničnog brašna (Slika 3.1a) najveće vrednosti modula elastičnosti ( $G'$ ) ima uzorak sa najmanjim sadržajem vlage (uzorak 2.5.20). Generalno, što je veći sadržaj vode u testu i elastični i viskozni moduli se smanjuju (Amemiya i Menjivar, 1992; Milašinović-Šereemešić i sar., 2013). Uticaj veličine čestica klice na  $G'$  i  $G''$  najbolje se može videti na Slici 3.1b na kojoj su prikazane promene modula u zavisnosti od frekvencije uzoraka testa sa 10 % zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom, a na osnovu rezultata u Tabeli 3.2, može se videti da uzorak testa sa najkrupnijim česticama pšenične klice i najmanjeg sadržaja vlage (uzorak 3.10.20), ima veće vrednosti oba modula ( $G' = 78910$  Pa i  $G'' = 26390$  Pa) od uzorka sa istim sadržajem vlage, ali sa sitnijim česticama pšenične klice (uzorak 1.10.20, čije su vrednosti modula:  $G' = 64270$  Pa i  $G'' = 25890$  Pa). Moreira i saradnici (2010) su takođe zaključili da se oba modula uzoraka testa sa dodatkom pšenične klice povećavaju sa povećanjem prosečne veličine čestica. Uticaj veličine čestica pšenične klice može se objasniti razlikom u apsorpciji vode smeša pšeničnog brašna i pšenične klice koji su korišćeni za zames testa. Rezultati AWRC (Tabela 3.1) pokazuju da kako se veličina čestica klice u smešama povećava, povećava se kapacitet zadržavanja vode. Usled toga, voda koja se dodaje u testo pri zamesu postaje delimično nedostupna za hidrataciju komponenta testa i razvoj glutenske mreže.

Na Slici 3.1c, koja predstavlja uzorke testa sa 15 % zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom primećen je isti trend promene vrednosti modula kao i kod uzoraka sa 10% zamene pšeničnog brašna. Uzorak sa sadržajem vlage od 20 % (uzorak 2.15.20) ima najviše vrednosti modula elastičnosti i modula viskoznosti i ove vrednosti se smanjuju sa povećanjem sadržaja vode u testu i sa smanjenjem veličine čestica pšenične klice.

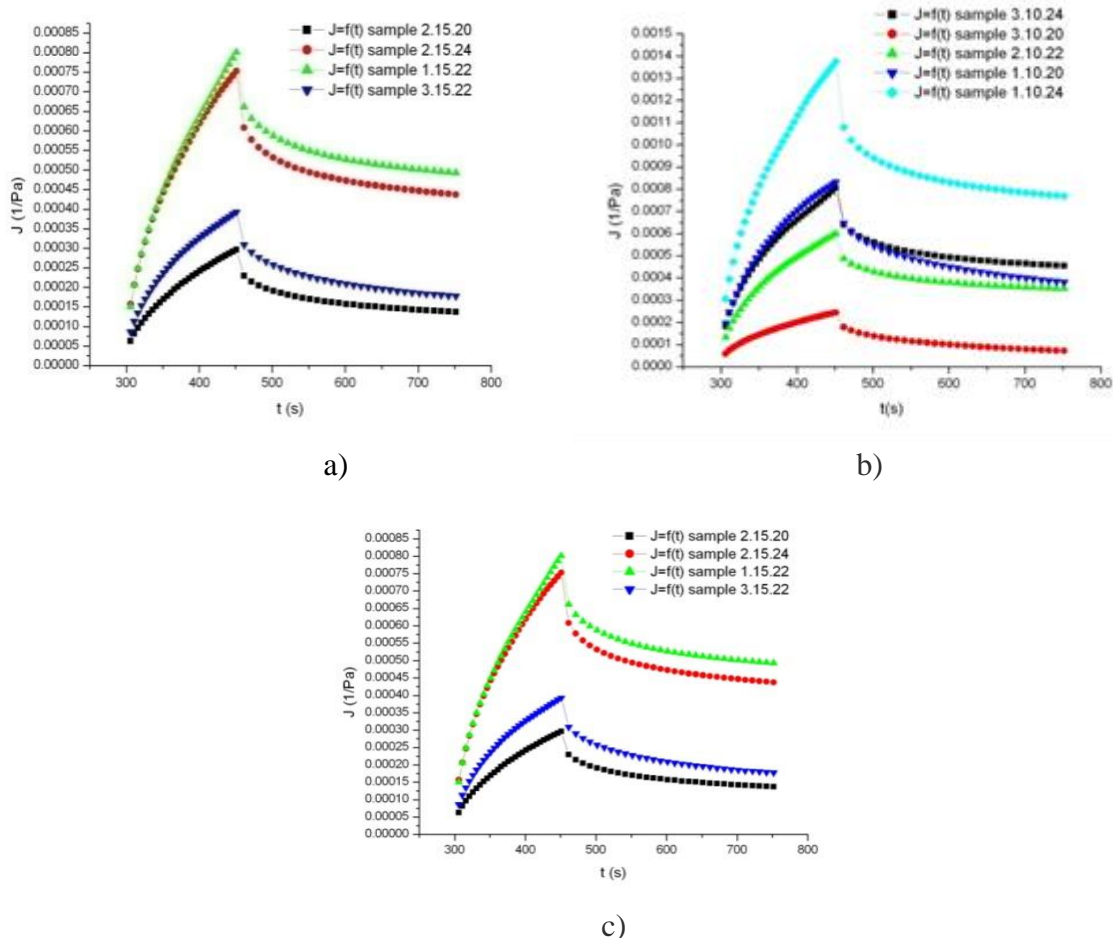
Za sve uzorake testa sa dodatkom pšenične klice, kao što se i očekivalo, moduo elastičnosti ( $G'$ ) dominira nad viskoznim ( $G''$ ), vrednosti  $\tan \delta$  su manje od 1 (vrednosti R5 u Tabeli 3.2), što je karakteristično za testo kao viskoelastični sistem, a veće su od 0,1, što je tipično za slabe gelove (Dapčević-Hadnadjev, 2013; Dobraszczyk i Morgenstern, 2003; Weipert, 1990). Slika 3.2 na kojoj je prikazan uticaj faktora A, B i C, na reološke karakteristike testa pokazuje da frakcija klice (veličina čestica) i sadržaj vlage imaju značajan uticaj na vrednosti  $\tan \delta$ , dok uticaj procenta zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom (faktor B) nije statistički značajan ( $p > 0,05$ ), kao što se može videti u Tabeli 3.3.  $\tan \delta$



vrednosti se smanjuju sa povećanjem veličine čestica klice (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor R5 u Tabeli 3.3) i sa smanjenjem sadržaja vode u testu (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_3$ ).

### 3.1.2.2. Krive puzanja testa (creep & recovery test)

Krive puzanja ispitivanih uzoraka testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice prikazane su na Slici 3.4. Parametri Bardžersovog modela su prikazani u Tabeli 3.2 (odgovori R1 i R2).



**Slika 3.4.** Krive puzanja uzoraka testa sa: a) 5% zamene pšeničnog brašna, b) 10% zamene pšeničnog brašna, c) 15% zamene pšeničnog brašna obezmašćenom pšeničnom klicom

Krive proticanja uzoraka testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice pokazuju karakteristično viskoelastično ponašanje testa, uz mogućnost delimičnog oporavka i povratka u prvobitno stanje nakon izlaganja naponu. Kod svih uzoraka sa povećanjem veličine čestica pšenične klice smanjuju se vrednosti popustljivosti sistema (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor R2 ( $J_{\max}$ ) u Tabeli 3.3), što znači da ovi uzorci imaju manje fleksibilnu strukturu pri

delovanju napona. Krupnije čestice pšenične klice imaju veću moć upijanja vode od sitnijih, te je njena dostupnost za razvoj glutena ograničena, usled čega ovi uzorci imaju niže vrednosti  $J_{\max}$ . Na Slikama 3.2 i 3.4 može se videti da najveći uticaj na  $J_{\max}$  vrednosti ima sadržaj vode u testu (47,85 %). Vrednosti  $J_{\max}$  (R2) smanjuju se i sa smanjenjem sadržaja vode u testu. Najmanju vrednost  $J_{\max}$ , kao što se može videti u Tabeli 3.2, od  $2,44 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}^{-1}$ , ima uzorak sa najkrupnijim česticama pšenične klice i sa najmanjim sadržajem vlage (uzorak 3.10.20), dok maksimalnu vrednost  $J_{\max}$  od  $13,75 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}^{-1}$  ima uzorak testa sa najsitnijim česticama i sa najvećim sadržajem vlage (uzorak 1.10.24). Testa sa većim vrednostima  $J_{\max}$  su mekša, pružaju manji otpor pri delovanju napona i imaju veću mogućnost istezanja (Dapčević Hadnadjev, 2013).

Vrednosti njutnovskog viskoziteta testa (R1), kao što se može videti na Slikama 3.2 i 3.3 i u Tabeli 3.3, takođe značajno zavise od frakcije pšenične klice (uticaj faktora A je 31,49 %) i sadržaja vlage u testu (uticaj faktora C je 49,41 %), kao i od međusobne interakcije ova dva faktora (AC). Ove vrednosti smanjuju se sa smanjenjem veličine čestica pšenične klice (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor R1 u Tabeli 3.3) i sa povećanjem sadržaja vode u testu (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_3$ ). Minimalne vrednosti  $\eta_0$  imaju uzorci testa sa najsitnijim česticama pšenične klice (frakcija 1) i sa najvećim sadržajem vlage (24 %), a maksimalne uzorci sa najvećim česticama pšenične klice (frakcija 3) i sa najnižim sadržajem vlage (20 %), kao što se može videti u Tabeli 3.2, što je u skladu sa ostalim parametrima krivih puzanja usled činjenice da povećanje  $\eta_0$  vrednosti ukazuje na porast snage testa i zavisi od stepena umreženosti strukture testa (Edwards i sar., 2010).

Relativne vrednosti elastične deformacije tokom faze oporavka uzoraka testa,  $J_e/J_{\max}$ , kreću se od 34,62 do 54,81 %, i kod svih uzoraka su manje od vrednosti za kontrolni uzorak testa (60,62 %), a smanjuju se sa povećanjem veličine čestica pšenične klice i sa smanjenjem vlage testa (Tabela 3.2). Mali  $J_e/J_{\max}$  odnos ukazuje na prisustvo malih struktura u testu između kojih nisu razvijene veze (Moreira i sar., 2011). Uzorci koji imaju veći sadržaj vlage imaju veće vrednosti  $J_e/J_{\max}$  i ti uzorci imaju veću sposobnost oporavka nakon delovanja napona.

### 3.1.2.3. Teksturalne karakteristike testa

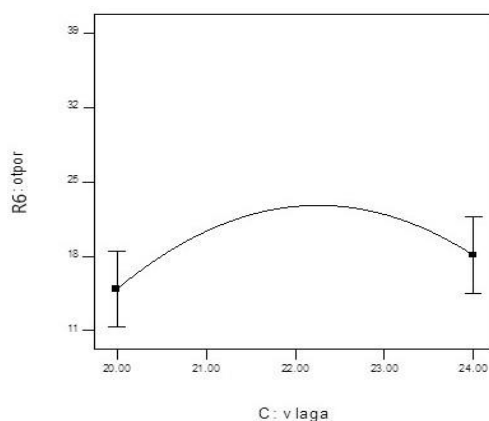
Rezultati otpora pri rastezanju, rastegljivosti i tvrdoće testa svih 15 ispitivanih uzoraka testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice dati su u Tabeli 3.4. Dobijeni koeficijenti u odgovarajućim regresionim jednačinama prikazani su u Tabeli 3.5.

**Tabela 3.4.** Box - Behnken eksperimentalni dizajn i dobijene izlazne veličine za teksturalne karakteristike testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

Uzorak	Nivo faktora			Odgovor		
	A	B	C	R6	R7	R8
2.5.24	2	5	24	0,192	16,92	0,59
2.5.20	2	5	20	0,170	7,56	1,65
3.10.24	3	10	24	0,130	10,32	0,81
2.15.24	2	15	24	0,188	14,43	0,73
3.10.20	3	10	20	0,141	6,033	1,48
1.10.24	1	10	24	0,199	17,29	0,63
2.15.20	2	15	20	0,111	5,912	1,80
1.5.22	1	5	22	0,252	12,37	0,98
2.10.22	2	10	22	0,181	11,02	1,16
1.10.20	1	10	20	0,163	7,83	1,42
3.15.22	3	15	22	0,176	10,75	1,17
1.15.22	1	15	22	0,382	15,66	1,13
3.5.22	3	5	22	0,198	10,14	1,16
2.10.22	2	10	22	0,184	11,04	0,99
2.10.22	2	10	22	0,184	11,93	0,89
<b>Kontrolni</b>	/	/	22	0,181	12,41	0,94

R6 - otpor pri rastezanju; R7 – rastegljivost; R8 – tvrdoća;

U Tabeli 3.5 može se videti da statistički značajan uticaj na otpor pri rastezanju uzoraka testa imaju frakcija pšenične klice (faktor A) i sadržaj vlage u testu (faktor C<sup>2</sup>). Sa povećanjem veličine čestica pšenične klice vrednosti otpora pri rastezanju testa se smanjuju (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  u Tabeli 3.5), dok se sa povećanjem vlage testa do jedne vrednosti (pri vrednostima A=2, B=10 tačka maksimuma parabole je C=22,26) otpor na istežanje povećava, a daljim povećanjem vlage, otpor pri rastezanju se smanjuje, kao što se može videti na Slici 3.5.



Slika 3.5. Uticaj sadržaja vlage testa na otpor pri rastezanju

Voda je neophodna u testu za hidrataciju glutena i formiranje jake glutenske mreže. Ukoliko je u testu prisutna dovoljna količina vode, omogućen je optimalan razvoj testa i formiranje jakih interakcija između komponenata glutena. Međutim, voda deluje kao lubrikant i kada se nađe u višku, dovodi do omekšanja testa, što može za posledicu imati smanjenje otpora takvog testa.

**Tabela 3.5.** Koeficijenti regresionih jednačina za R6-R7

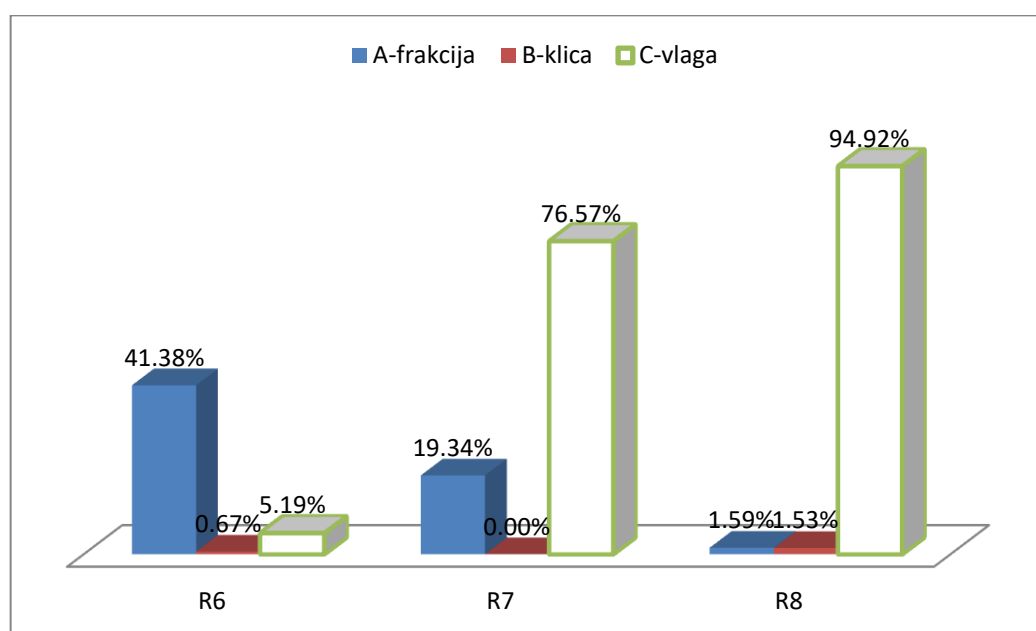
	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>
$\beta_0$	22,68723	11,28493	107,6941
$\beta_1$ (A)	-4,47598*	-1,98702**	5,92225
$\beta_2$ (B)	0,571031	-0,03014	5,801125
$\beta_3$ (C)	1,585052	3,953948***	-45,7451***
$\beta_{12}$ (AB)	-3,90267		
$\beta_{13}$ (AC)		-1,2916	
$\beta_{23}$ (BC)			
$\beta_{11}$ (A <sup>2</sup> )			
$\beta_{22}$ (B <sup>2</sup> )			9,640982
$\beta_{33}$ (C <sup>2</sup> )	-6,19834*		
<b>R<sup>2</sup></b>	0,6801	0,8906	0,9301
<b>Lack of Fit</b>	0,0013	0,1040	0,7287

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; R6 - otpor pri rastezanju; R7 -rastegljivost; R8-tvrdoća;

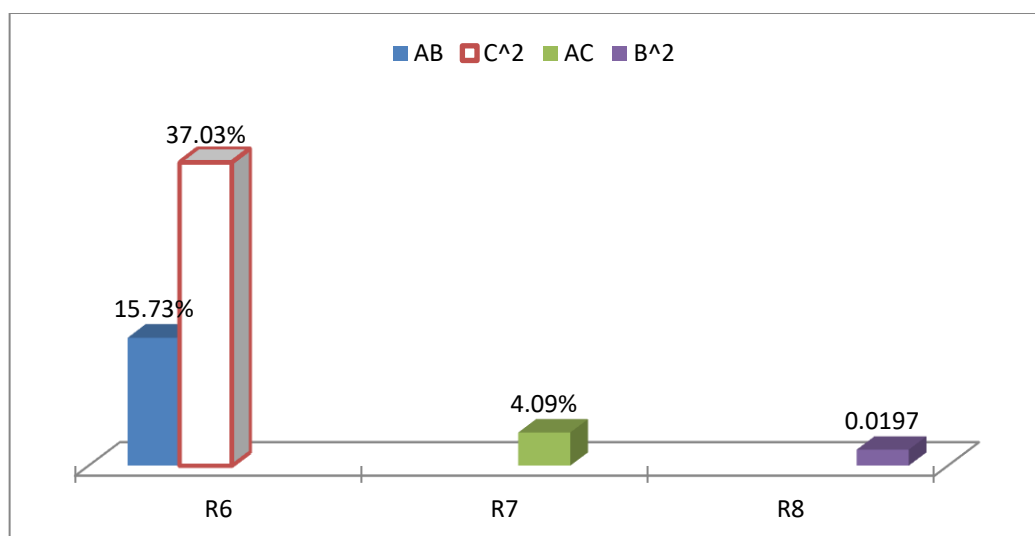
Moć upijanja vode pri svakom nivou zamene brašna klicom je najveća kod uzoraka sa najvećom veličinom čestica (Tabela 3.1), što utiče na iznos raspoložive vode za hidrataciju sastojaka brašna i za formiranje jake strukture testa. Pored toga, krupnije čestice mogu fizički da ometaju formiranje kontinualne mreže glutena usled čega se sa povećanjem veličine čestica pšenične klice otpor pri rastezanju testa smanjuje. Zucco i saradnici (2011) su

zaključili da razlike u veličini čestica imaju efekat na hemijske veze između proteina i skroba. Takođe, mehurići vazduha koji su uključeni u strukturu testa tokom mešanja su veći što su veće čestice brašna (Majzoobi i sar., 2012), što takođe može uticati na formiranje hemijskih veza između sastojaka testa.

Uticiji glavnih faktora, njihovih kvadrata i interakcija na teksturalne karakteristike testa prikazani su na Slikama 3.6 i 3.7. Veličina čestica pšenične klice i sadržaj vlage testa imaju statistički značajan uticaj na rastegljivost testa (udeo uticaja faktora A je 19,34 %, a faktora C 76,57 %, Slika 3.6). Uzorci sa sadržajem vlage od 24 % imaju znatno veće vrednosti rastegljivosti u odnosu na uzorke sa 20 % vlage testa (Tabela 3.4). Povećanje sadržaja vode u testu doprinosi povećanju njegove rastegljivosti (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor R7 u Tabeli 3.5). Formirana glutenska mreža u testu je od ključnog značaja za rastegljivost testa, a voda omogućava hidrataciju čestica brašna i formiranje proteinskih lanaca u testu. Ako ima dovoljno vode, proteinski lanci brzo reaguju međusobno i formiraju unakrsne veze između čestica brašna i formiraju kvalitetnu glutensku strukturu.



**Slika 3.6.** Uticaji glavnih efekata (A, B i C) na teksturalne karakteristike testa za čajno pecivo sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (R6 - otpor pri rastezanju; R7 – rastegljivost; R8 – tvrdoća)



**Slika 3.7.** Uticaj interakcija faktora (AB, AC i BC) i njihovih kvadrata ( $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$ ) na teksturalne karakteristike testa sa dodatkom obezmašćene pšenične klice R6 - otpor pri rastezanju; R7 – rastegljivost; R8 – tvrdoća)

Veći sadržaj vode u uzorcima testa uzrokuje smanjenje tvrdoće testa (udeo uticaja sadržaja vlage na tvrdoću testa je 94,92 %). Voda iznad određene granične vrednosti deluje i kao lubrikant, te se sa povećanjem sadržaja vode smanjuje tvrdoća testa. Veličina čestica pšenične klice (faktor A) i procenat supstitucije pšeničnog brašna (faktor B) nemaju statistički značajan uticaj na tvrdoću testa, kao što se može videti na Slici 3.6 i u Tabeli 3.5.

Rezultati teksturalnih karakteristika ispitivanih uzoraka testa su u skladu sa rezultatima reoloških merenja. Wang i Sun (2002) su zaključili da maksimalne vrednosti popustljivosti sistema,  $J_{max}$ , ukazuju na tvrdoću testa, odnosno jača testa sa većom otpornošću na deformacije imaju manje  $J_{max}$  vrednosti nego meka testa. Takođe, testa sa višim vrednostima modula elastičnosti  $G'$  smatraju se jačim. Kao što se vidi, uzorci sa manjim sadržajem vlage (20 %) imaju najveće vrednosti  $G'$  i najveće vrednosti za tvrdoću, a vrednosti za rastegljivost su najmanje.

### 3.1.3. OSOBINE ČAJNOG PECIVA SA DODATKOM OBEZMAŠĆENE PŠENIČNE KLICE

#### 3.1.3.1. Osnovni hemijski sastav čajnog peciva

Rezultati hemijske analize čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (odgovori Y1-Y6) dobijene u okviru Box-Behnken eksperimentalnog dizajna prikazani su u Tabeli 3.6. Koeficijenti odgovarajućih regresionih jednačina dati su u Tabeli 3.7. Uticaj glavnih faktora, njihovih kvadrata i interakcija prikazani su na Slikama 3.8 i 3.9.

**Tabela 3.6** Vrednosti za hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (Box-behnken eksperimentalni dizajn)

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovor					
	A	B	C	Y1 (%)	Y2 (%)	Y3 (%)	Y4 (%)	Y5 (%)	Y6 (%)
<b>3.10.20</b>	3	10	20	4,21	7,95	13,73	0,90	4,18	69,03
<b>1.10.20</b>	1	10	20	4,34	7,86	13,64	0,79	4,11	69,26
<b>3.15.22</b>	3	15	22	4,33	8,49	13,80	0,98	4,39	68,03
<b>2.10.22</b>	2	10	22	4,58	8,17	13,59	0,89	3,91	68,86
<b>1.10.24</b>	1	10	24	5,30	7,94	13,63	0,82	3,46	68,85
<b>2.10.22</b>	2	10	22	4,50	8,22	13,55	0,85	3,87	69,01
<b>1.5.22</b>	1	5	22	5,51	7,07	13,15	0,67	2,91	70,69
<b>2.15.24</b>	2	15	24	4,97	8,77	13,79	1,01	4,55	66,91
<b>2.10.22</b>	2	10	22	4,55	8,07	13,57	0,90	3,88	69,03
<b>3.10.24</b>	3	10	24	4,73	8,02	13,92	0,84	4,28	68,21
<b>2.5.24</b>	2	5	24	4,87	7,24	13,12	0,80	2,59	71,38
<b>1.15.22</b>	1	15	22	4,79	8,22	13,68	0,92	4,11	68,28
<b>2.5.20</b>	2	5	20	4,53	7,36	13,13	0,71	2,23	72,04
<b>2.15.20</b>	2	15	20	4,46	8,43	13,76	1,00	4,37	67,98
<b>3.5.22</b>	3	5	22	3,76	7,45	13,18	0,75	3,56	71,30
<b>Kontrolni</b>	/	/	22	5,11	5,49	13,56	0,48	2,06	73,30

Y1:Vlaga; Y2:Proteini; Y3:Mast; Y4:Pepeo; Y5:Ukupna vlakna; Y6:Ugljeni hidrati (osim vlakana)

Dodatak obezmašćene pšenične klice, kao što se i očekivalo, utiče na povećanje udela proteina, masti, mineralnih materija i ukupnih vlakana u uzorcima čajnog peciva (faktor B ima statistički značajan efekat na odgovore Y2, Y3, Y4, Y5 i Y6, kao što se može videti na Slici 3.8). U Tabeli 3.7 može se videti da vrednost koeficijent  $\beta_2$  ima pozitivan znak za odgovore Y2, Y3, Y4, i Y5, što znači da sa povećanjem udela pšenične klice u čajnom pecivu dolazi do povećanja udela svih ovih hemijskih komponenti, jedino se udeo ukupnih ugljenih hidrata smanjuje (vrednost koeficijenta  $\beta_2$  ima negativan predznak za odgovor Y6). Sadržaj proteina, ukupnih vlakana i pepela povećava se od 5,49 %, 2,06 % i 0,45 %, respektivno, u kontrolnom uzorku do 8,77 %, 4,55 %, odnosno 1,01 % u uzorku 2.15.24. U prethodnim

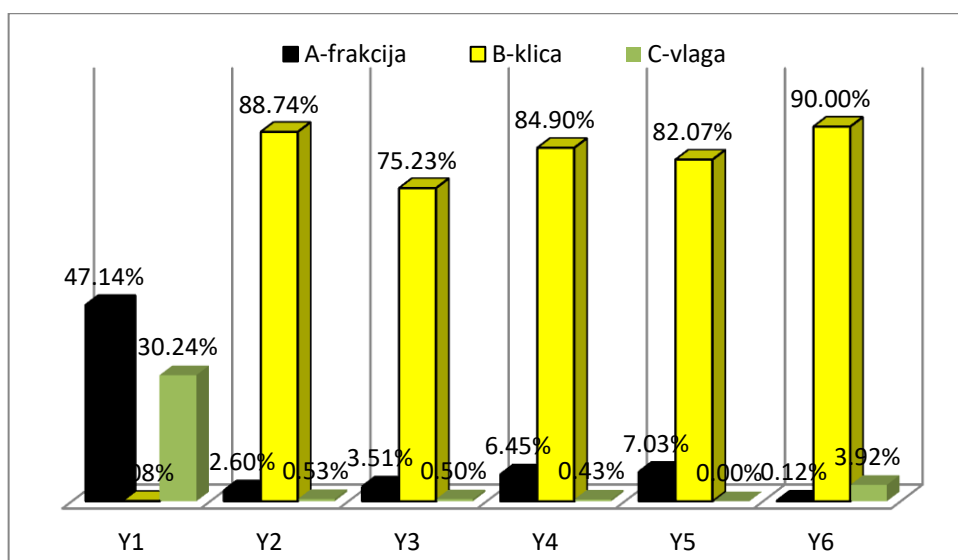


istraživanjima Arshad i saradnici (2007) takođe su došli do istog zaključka, ali su primetili i značajno povećanje udela kalcijuma, gvožđa i kalijuma u keksu sa dodatkom pšenične klice.

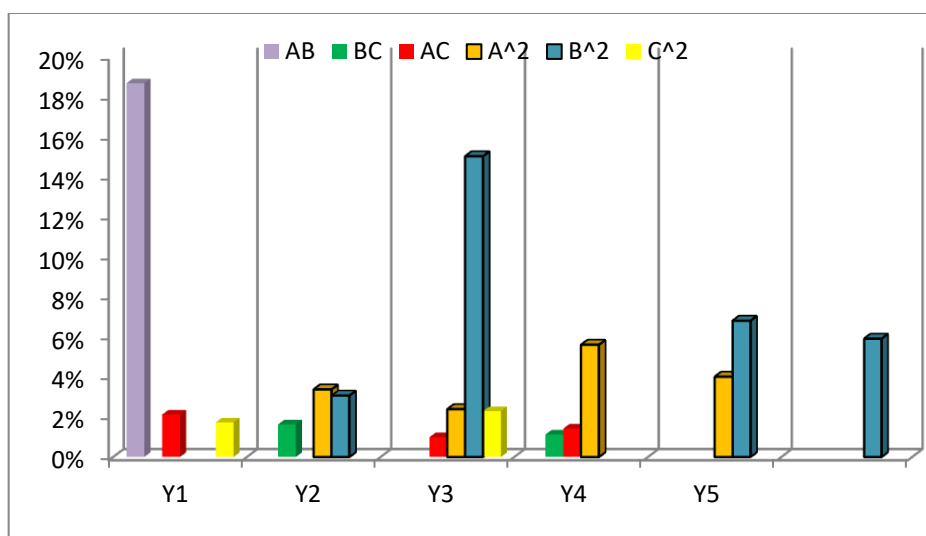
**Tabela 3.7.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore Y1-Y6

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
$\beta_0$	4,543	8,152	13,57	0,88	3,78	68,91
$\beta_1$ (A)	-0,364**	0,103*	0,066**	0,034**	0,225	-0,064
$\beta_2$ (B)	-0,015	0,599***	0,306***	0,123***	0,764***	-1,776***
$\beta_3$ (C)	0,291**	0,046	0,025	0,009	-0,001	-0,370*
$\beta_{12}$ (AB)	0,323*					
$\beta_{13}$ (AC)						
$\beta_{23}$ (BC)		0,115*				
$\beta_{11}$ (A <sup>2</sup> )		-0,176**	0,081*	-0,046**		
$\beta_{22}$ (B <sup>2</sup> )		-0,169**	-0,199***			0,657**
$\beta_{33}$ (C <sup>2</sup> )			0,079*			
$R^2$	0,8687	0,9810	0,9869	0,9754	0,8912	0,9570
Lack of Fit	0,0232	0,4371	0,1214	0,7495	0,1098	0,0909

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; Y1:Vlaga; Y2:Proteini; Y3:Mast; Y4:Pepeo; Y5:Vlakna; Y6:Ugljeni hidrati (osim vlakana)



**Slika 3.8.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora (A, B i C) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (Y1:Vlaga; Y2:Proteini; Y3:Mast; Y4:Pepeo; Y5:Vlakna; Y6:Ugljeni hidrati (osim vlakana))



**Slika 3.9.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (AB, AC i BC) i njihovih kvadrata ( $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$ ) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (Y1:Vlaga; Y2:Proteini; Y3:Mast; Y4:Pepeo; Y5:Vlakna; Y6:Ugljeni hidrati (osim vlakana))

Veličina čestica pšenične klice (faktor A) ima statistički značajan uticaj na parametre Y1, Y2, Y3 i Y4 (Tabela 3.7), ali kao što se može videti na Slici 3.8 najveći uticaj ima na odgovor Y1 (udeo uticaja faktora A je 47,14 %). Udeo vlage u testu (faktor C) kao što se može videti u Tabeli 3.7 nema statistički značajan uticaj na hemijski sastav ovih uzoraka ( $p > 0,05$ ), osim na sadržaj vlage čajnog peciva (odgovor Y1).

### 3.1.3.2. Fizičke karakteristike čajnog peciva

Eksperimentalno dobijene vrednosti prema Box-Behnken dizajnu za odgovore X1 (tvrdoća čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice) i X2 – X4 (parametri boje) prikazane su u Tabeli 3.8, dok su koeficijenti odgovarajućih regresionih jednačina prikazani u Tabeli 3.9.

Generalno, veći sadržaj vlage utiče na smanjenje tvrdoće čajnog peciva. Međutim, u ovom slučaju doprinos uticaja sadržaja vlage (faktor C) na tvrdoću nije statistički značajan (Tabela 3.9) i iznosi samo 4,85 % (Slika 3.10), dok druga dva ispitivana faktora imaju znatno veći uticaj na tvrdoću čajnog peciva (faktor A i B) od sadržaja vlage u testu (Slike 3.10 i 3.11).

Chuang i Yeh (2006) takođe su u svom istraživanju pokazali da tekstura krajnjeg proizvoda ne zavisi samo od sadržaja vode u testu. Veličina čestica pšenične klice ima značajan uticaj na tvrdoću ispitivanih uzoraka čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice ( $p < 0,05$ , Tabela 3.9). Uticaj ovog faktora na odgovor X1 je 48,55 % (Slika 3.10). Sa povećanjem

veliĉine ĉestica, tvrdoća čajnog peciva se smanjuje (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za faktor X1 u Tabeli 3.9).

**Tabela 3.8.** Box-Behnken eksperimentalni dizajn i dobijene vrednosti za tvrdoću (X1) i boju (X2-X4) čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšeniĉne klice

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovor				$\Delta E^*$
	A	B	C	X1	X2	X3	X4	
<b>2.15.24</b>	2	15	24	198,55	72,98	1,34	26,55	15,22
<b>3.5.22</b>	3	5	22	88,58	74,38	4,32	29,67	11,55
<b>3.10.20</b>	3	10	20	105,65	76,20	0,21	26,40	5,11
<b>1.10.20</b>	1	10	20	145,87	66,90	7,67	32,23	17,57
<b>1.5.22</b>	1	5	22	245,25	73,88	0,38	26,07	8,48
<b>3.15.22</b>	3	15	22	135,77	74,91	0,94	26,29	7,88
<b>2.15.20</b>	2	15	20	105,35	71,29	3,68	29,27	11,18
<b>1.10.24</b>	1	10	24	117,42	75,83	0,44	26,19	12,71
<b>1.15.22</b>	1	15	22	231,31	75,34	1,08	27,89	8,73
<b>2.10.22</b>	2	10	22	108,49	74,92	0,47	27,37	8,55
<b>2.10.22</b>	2	10	22	100,55	75,77	0,55	25,19	7,27
<b>2.10.22</b>	2	10	22	90,54	75,67	0,96	26,21	6,47
<b>2.5.20</b>	2	5	20	118,89	72,85	2,21	28,67	9,28
<b>3.10.24</b>	3	10	24	87,50	75,02	0,39	25,68	12,89
<b>2.5.24</b>	2	5	24	137,92	76,34	0,86	25,59	12,09
<b>Kontrolni</b>	/	/	22	135,21	79,27	0,09	22,31	/

X1:Tvrdoća; X2: L (svetloća); X3:a\* (udeo crvenog/zelenog tona); X4:b\* (udeo žutog/plavog tona);  $\Delta E^*$  - Ukupna promena boje u odnosu na kontrolni uzorak

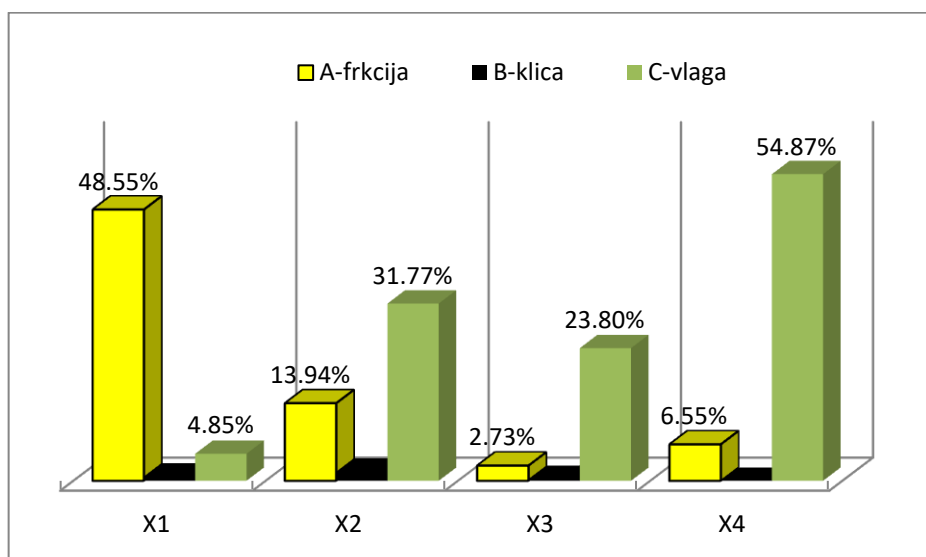
**Tabela 3.9.** Koeficijenti regresione jednaĉine za odgovore X1-X4

	X1	X2	Ln (X3)	X4
$\beta_0$	10,179	75,453	-0,467	26,256
$\beta_1$ (A)	-4,109**	1,070	-0,177	-0,542
$\beta_2$ (B)	-0,523	-0,367	0,060	1,25E-03
$\beta_3$ (C)	1,299	1,615*	-0,522*	-1,569**
$\beta_{12}$ (AB)			-0,643*	-1,301
$\beta_{13}$ (AC)		-2,528**	0,875*	1,330
$\beta_{23}$ (BC)				
$\beta_{11}$ (A <sup>2</sup> )	2,512			
$\beta_{22}$ (B <sup>2</sup> )	5,170*		0,740*	
$\beta_{33}$ (C <sup>2</sup> )		-1,614		
$R^2$	0,7892	0,7815	0,6247	0,6856
<b>Lack of Fit</b>	0,0549	0,0799	0,1165	0,4221

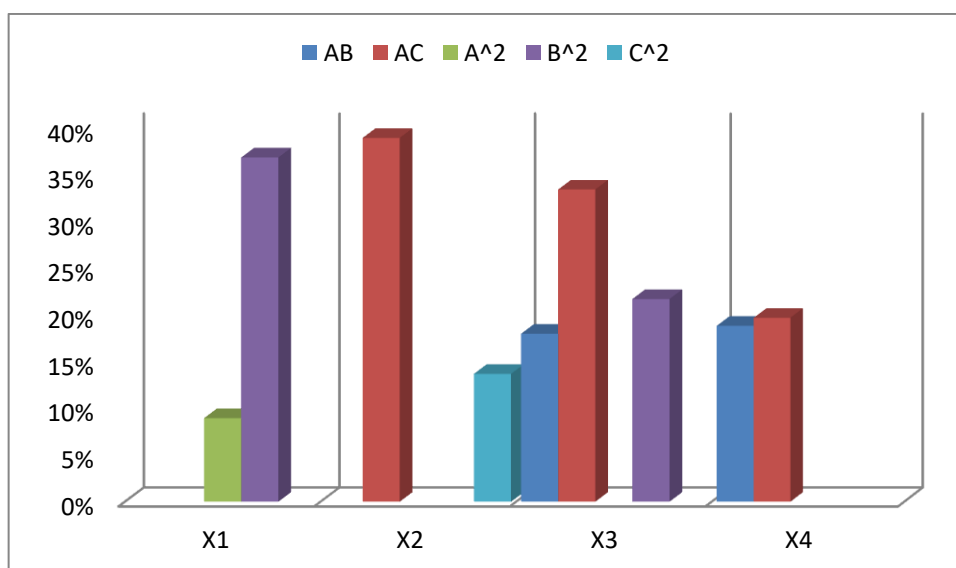
\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; X1:Tvrdoća; X2: L (svetloća); X3:a\* (udeo crvenog/zelenog tona); X4:b\* (udeo žutog/plavog tona)

Veće vrednosti tvrdoće uzoraka čajnog peciva koji sadrže sitnije ĉestice pšeniĉne klice rezultat je gušćeg pakovanja ĉestica. Uzorci čajnog peciva sa krupnijim ĉesticama pšeniĉne

klice (frakcija 3) u svojoj strukturi imaju veće prostore ispunjene vazduhom, što čini strukturu čajnog peciva krtom.



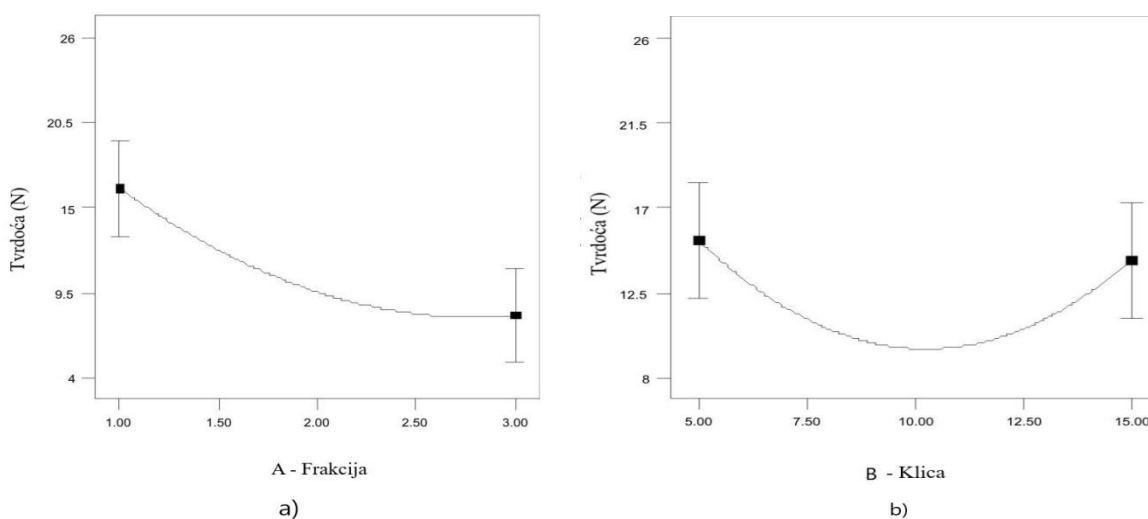
**Slika 3.10.** Doprinosi uticaja glavnih ulaznih faktora (A, B i C) na tvrdoću (X1) i boju (X2-X4) čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice



**Slika 3.11.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (AB, AC i BC) i njihovih kvadrata ( $A^2$ ,  $B^2$  i  $C^2$ ) na tvrdoću (X1) i boju (X2-X4) čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

Procenat zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom takođe ima značajan uticaj na tvrdoću čajnog peciva (Tabela 3.9). Kvadratni član ovog faktora ( $B^2$ ) ima statistički značajan uticaj sa udelom značajnosti od 36,83 %. Pravac uticaja ova dva parametra (A i B) na tvrdoću čajnog peciva prikazan je na Slici 3.12. Sa povećanjem veličine čestica pšenične klice tvrdoća

čajnog peciva se smanjuje (Slika 3.12a). Sa povećanjem udela pšenične klice u čajnom pecivu od 5 do 10 %, tvrdoća čajnog peciva se takođe smanjuje, dok dalje povećanje udela pšenične klice od 10 do 15 % utiče na povećanje vrednosti tvrdoće do vrednosti sličnih vrednostima za uzorke sa 5 % udela pšenične klice, kao što se može videti na Slici 3.12b.



**Slika 3.12.** Uticaj faktora na tvrdoću (X1) čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice: a) veličina čestica pšenične klice; b) udeo pšenične klice

Kao što se može videti u Tabeli 3.8, tvrdoća uzorka 1.5.22 je 245,25 N. Sa povećanjem udela klice iste granulacije (frakcija 1) na 10 %, tvrdoća čajnog peciva se smanjuje na 145,77 N (uzorak 1.10.22), a kod uzorka sa 15 % zamene pšeničnog brašna tvrdoća se povećava na 231,31. Ovi rezultati su u skladu i sa istraživanjima Arshad i saradnika (2007), koji takođe nisu uočili značajnu razliku u tvrdoći čajnog peciva sa dodatkom 5 i 15% obezmašćene pšenične klice. Pšenična klica sadrži visok udeo proteina i vlakana koji mogu vezati slobodnu vodu u testu i uticati na povećanje tvrdoće, dok sa druge strane, veći sadržaj masti u odnosu na pšenično brašno može da kompenzuje to povećanje, što može biti razlog ovakvog uticaja pšenične klice na tvrdoću čajnog peciva.

Boja je parametar koji je striktno povezan sa kvalitetom i bezbednošću termički tretiranih proizvoda. Boja na površini čajnog peciva je veoma važna karakteristika za prihvatljivost proizvoda od strane potrošača. Neenzimsko tamnjenje keksa i srodnih proizvoda uzrokovano je Majlardovim reakcijama zajedno sa reakcijama karamelizacije (Troise i Foglianob, 2013).

Vrednosti parametara boje uzoraka čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice prikazani su u Tabeli 3.8. Kao što se može videti u Tabeli 3.9 i na Slici 3.10, vrednost svetloće boje ( $L^*$  vrednost) za uzorke čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

(odgovor X2) značajno zavisi od sadržaja vlage u testu (uticaj faktora C na odgovor X2 je 31,77 %), ali i od interakcije faktora A i C (uticaj AC je 38,91 %, Slika 3.11), dok sam procenat zamene pšeničnog brašna obezmašćenom pšeničnom klicom (faktor B) nema značajan uticaj na svetloću čajnog peciva. Gökmen i saradnici (2007) takođe su zaključili da stepen tamnjenja zavisi od udela vlage u testu i da parametar  $L^*$  ima veće vrednosti što je veći udeo vlage u testu, odnosno, boja na površini čajnog peciva je svetlija. Vrednosti svetloće se povećavaju i sa povećanjem veličine čestica pšenične klice (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor X2 u Tabeli 3.9). Udeo crvenog tona (vrednosti  $a^*$ ) i žutog tona (vrednosti  $b^*$ ) smanjuju se sa povećanjem udela vlage u testu (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_3$  za odgovore X3 i X4 u Tabeli 3.9). Faktor C ima značajan uticaj na oba ova parametra (Slika 3.10). Sa povećanjem udela pšenične klice (faktor B)  $L^*$  vrednost se smanjuje u manjoj meri, dok se  $a^*$  i  $b^*$  vrednosti povećavaju, usled prisustva žutog tona u pšeničnoj klici, ali ove promene nisu statistički značajne. Najveće vrednosti parametara  $a^*$  (7,67) i  $b^*$  (32,23) ima uzorak sa najmanjom vrednošću parametra  $L^*$  (66,90), odnosno uzorak koji sadrži pšeničnu klicu sa najmanjom veličinom čestica (frakcija 1) i koji ima najmanju udeo vlage u testu (uzorak 1.10.20). U svom istraživanju, Majzoobi i saradnici (2012), takođe su zaključili da su se prilikom merenja boje keksa  $L^*$  vrednosti povećavale, a vrednosti parametara  $a^*$  i  $b^*$  smanjivale sa povećanjem veličine čestica pšenične klice. Vrednosti ukupne razlike u boji između uzoraka čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice i kontrolnog uzorka ( $\Delta E^*$ ) povećavaju se sa smanjenjem veličine čestica pšenične klice i sa povećanjem zamene pšeničnog brašna pšeničnom klicom. Sve vrednosti  $\Delta E^*$  su veće od 3, što znači da su razlike u boji svih uzoraka čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice i uzorka koji ne sadrži pšeničnu klicu primetne ljudskim okom.

### 3.1.3.3. Određivanje hidrosimetilfurfurala (HMF) u uzorcima čajnog peciva

HMF u hrani nastaje Majlardovim reakcijama tokom termičke obrade namirnica bogatih ugljenim hidratima i proteinima pri visokim temperaturama, tako da je prisutnost HMF-a karakteristična za keks i srodne proizvode. Novija istraživanja pokazala su da ima potencijalno karcinogeno delovanje (Capuano i Fogliano, 2011; Teixido i sar., 2011). HMF je gotovo potpuno odsutan u svežim i netretiranim namirnicama, a njegov udeo se povećava tokom zagrevanja, što može poslužiti kao alat za kontrolu termičke obrade i intenziteta reakcija posmeđivanja.

Rezultati analize udela HMF-a u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične prikazani su u Tabeli 3.10. Svi uzorci imaju sadržaj HMF-a manji od 25 mg/kg, što je maksimalna dozvoljena količina preporučena od strane Evropske organizacije za bezbednost hrane (EFSA, 2012). Kontrolni uzorak čajnog peciva koji je proizveden od pšeničnog brašna ima najmanji udeo HMF-a (1,07 mg/kg).

**Tabela 3.10.** Sadržaj HMF-a u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice

Uzorak	Nivoi faktora			HMF (mg/kg)
	A	B	C	
<b>2.5.20</b>	2	5	20	4,10
<b>2.15.24</b>	2	15	24	1,81
<b>3.15.22</b>	3	15	22	1,67
<b>2.10.22</b>	2	10	22	1,36
<b>2.10.22</b>	2	10	22	1,41
<b>1.5.22</b>	1	5	22	1,20
<b>1.10.24</b>	1	10	24	1,41
<b>3.10.24</b>	3	10	24	1,26
<b>2.15.20</b>	2	15	20	6,35
<b>2.5.24</b>	2	5	24	1,15
<b>3.10.20</b>	3	10	20	4,62
<b>1.10.20</b>	1	10	20	4,55
<b>2.10.22</b>	2	10	22	1,39
<b>3.5.22</b>	3	5	22	1,22
<b>1.15.22</b>	1	15	22	1,73
<b>Kontrolni</b>	/	/	22	1,07

Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice udeo HMF-a povećava se sa povećanjem procenta zamene pšeničnog brašna ovim sporedim proizvodom (faktor B) i sa smanjenjem sadržaja vlage u testu (faktor C). Pšenična klica ima znatno veći udeo proteina u poređenju sa pšeničnim brašnom (Tabela 2.1), a kako je primarni mehanizam formiranja HMF-a upravo vezan za Majlardove reakcije između redukujućih šećera i aminokiselina, dobijeni rezultati su i očekivani. Farroni i saradnici (2012) i Purlis (2010), pokazali su da je formiranje HMF-a inhibirano vodom, odnosno da se veće količine HMF-a u uzorcima formiraju ukoliko je sadržaj vode u testu manji. Kao što se može videti u Tabeli 3.10, najveći udeo HMF-a primećen je kod uzoraka čajnog peciva koji imaju udeo vlage 20 % (od 4,10 do 6,35 mg/kg), a najmanji kod uzoraka sa 24 % vlage (od 1,15 do 1,81 mg/kg).

### 3.1.3.4. Senzorske karakteristike čajnog peciva

Vrednosti ocena za senzorske karakteristike uzoraka čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice (odgovori S1-S6) prikazane su u Tabeli 3.11 (srednje vrednosti ocena 7 obučenih ocenjivača) dok su koeficijenti regresionih jednačina prikazani u Tabeli 3.12.

**Tabela 3.11.** Box-behnken eksperimentalni dizajn i dobijeni odgovori za senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmaščene pšenične klice

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovor					
	A	B	C	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2.5.24	2	5	20	5,55	4,65	4,32	4,32	4,72	4,52
2.5.20	2	15	24	4,54	4,12	5,86	5,01	4,86	5,36
3.10.24	3	15	22	4,42	4,36	3,64	6,29	5,63	5,21
2.15.24	2	10	22	5,71	5,05	3,79	5,19	5,26	3,51
3.10.20	2	10	22	5,16	4,42	4,05	5,14	4,84	4,25
1.10.24	1	5	22	5,72	2,78	3,29	1,89	3,95	4,32
2.15.20	1	10	24	4,53	2,85	5,15	4,69	4,52	5,38
1.5.22	3	10	24	4,39	3,84	2,72	6,49	5,66	5,29
2.10.22	2	15	20	5,51	5,99	3,59	5,28	5,14	4,26
1.10.20	2	5	24	3,92	3,46	3,05	4,21	4,89	3,72
3.15.22	3	10	20	3,39	5,25	1,86	5,32	5,25	4,27
1.15.22	1	10	20	4,83	3,30	4,49	3,56	3,77	4,95
3.5.22	2	10	22	4,78	5,01	3,65	4,62	5,37	4,28
2.10.22	3	5	22	5,21	4,69	3,78	4,89	5,26	3,85
2.10.22	1	15	22	5,32	3,46	3,95	4,51	4,46	4,21
Kontrolni	/	/	22	4,65	3,78	3,89	6,54	2,69	5,96

S1: Boja; S2: Izgled površine; S3: Tvrdoća; S4: Zrnastost; S5: Veličina pora; S6: Ukus

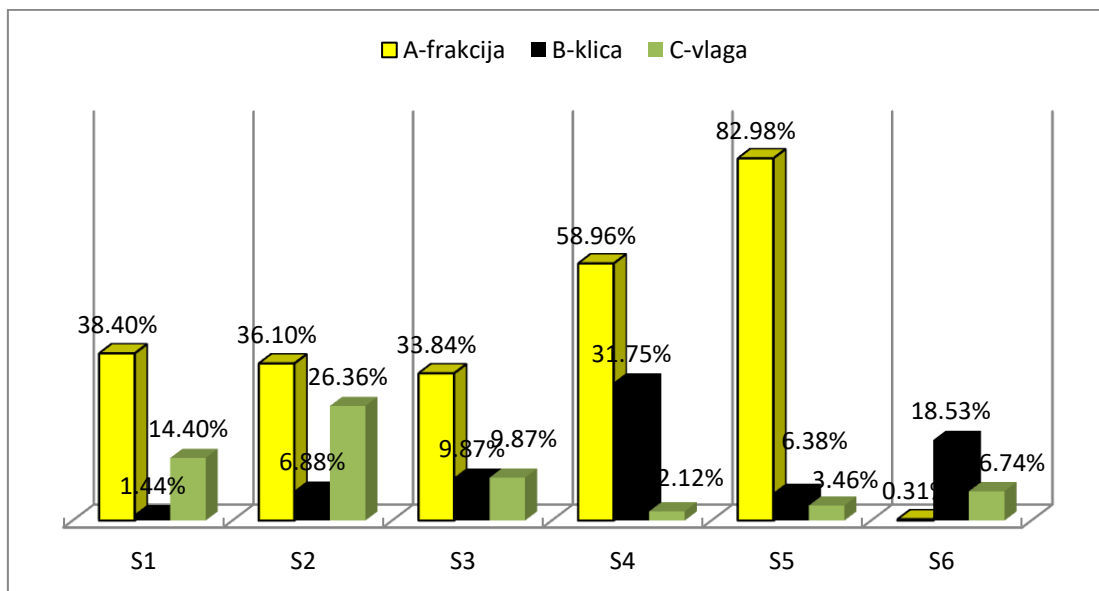
**Tabela 3.12.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore S1-S6

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
$\beta_0$	5,133	4,800	3,767	4,908	5,05	3,967
$\beta_1$	-0,388***	0,688***	-0,600*	0,988***	0,625***	-0,038
$\beta_2$	-0,025	0,300*	0,325	0,725**	0,175	0,288
$\beta_3$	-0,363***	-0,59**	0,325	0,188	0,125	0,175
$\beta_{12}$						
$\beta_{13}$						
$\beta_{23}$			0,900*			
$\beta_{11}$		-0,913***				0,479*
$\beta_{22}$						-0,071*
$\beta_{33}$						
$R^2$	0,9241	0,9018	0,6699	0,8704	0,8623	0,8024
Lack of Fit	0,6105	0,5626	0,0704	0,2055	0,6986	0,6747

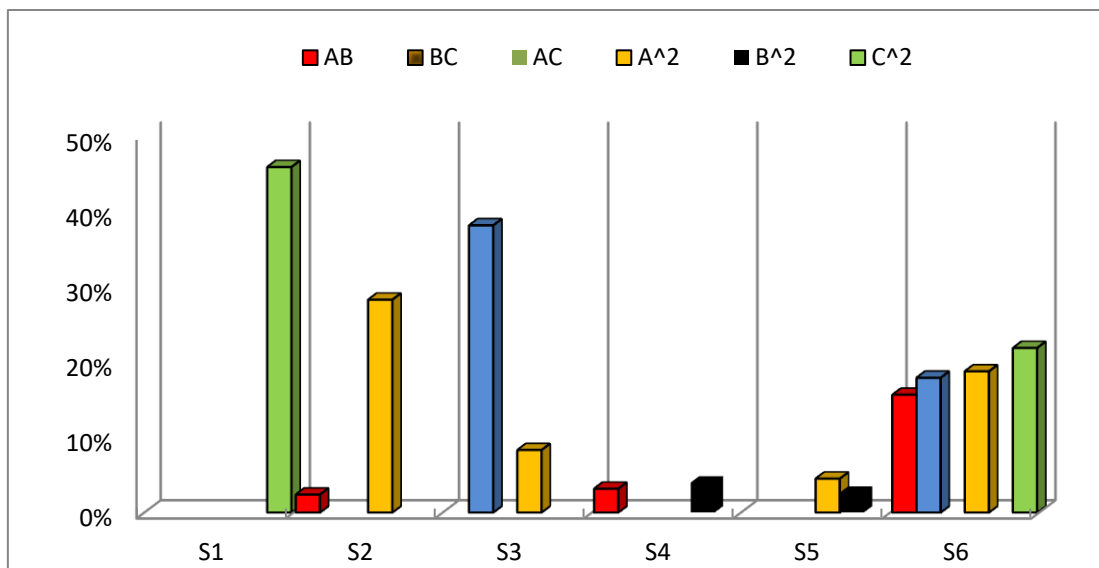
\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; S1: Boja; S2: Izgled površine; S3: Tvrdoća; S4: Zrnastost; S5: Veličina pora; S6: Ukus



Uticaji ulaznih faktora i njihovih interakcija prikazani su na Slikama 3.13 i 3.14. Vrednosti dobijene za boju čajnog peciva (odgovor S1) u skladu su sa instrumentalnim merenjima boje. Na boju čajnog peciva najveći uticaj imaju faktor A (veličina čestica) i faktor C (udeo vlage) kao što se može videti na Slici 3.13.



**Slika 3.13.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora (A, B i C) na na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (S1: Boja; S2: Izgled površine; S3: Tvrdoaća; S4: Zrnastost; S5: Veličina pora; S6: Ukus)



**Slika 3.14.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (AB, AC i BC) i njihovih kvadrata (A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup> i C<sup>2</sup>) na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (S1: Boja; S2: Izgled površine; S3: Tvrdoaća; S4: Zrnastost; S5: Veličina pora; S6: Ukus)

Povećanje veličine čestica pšenične klice i veći udeo vode pri zamesu, uzrokuju manje vrednosti senzorske ocene za boju, tj. čajno pecivo je svetlije (negativan znak koeficijenata regresione jednačine,  $\beta_1$  i  $\beta_3$  za odgovor S1 u Tabeli 3.12). Nivo zamene pšeničnog brašna obezmašćenom pšeničnom klicom do 15% ne utiče značajno na ovu osobinu čajnog peciva (kao što se može videti na Slici 3.13, uticaj faktora B na odgovor S1 je samo 1,44 %).

Veličina čestica pšenične klice i sadržaj vlage imaju značajan uticaj i na izgled površine čajnog peciva. Ocene se povećavaju kako se povećava veličina čestica pšenične klice (pozitivan znak koeficijenta regresione jednačine  $\beta_1$  za odgovor S2 u Tabeli 3.12), odnosno broj pukotina na površini čajnog peciva je veći. Povećanjem udela vlage pri zamesu dolazi do redukovanja broja pukotina na površini čajnog peciva i senzorske ocene su manje. Doesher i Hosney (1985), takođe su u svom istraživanju došli do zaključka da se sa povećanjem vode pri zamesu smanjuje broj pukotina na površini čajnog peciva.

Uzimajući u obzir ocene koje su ocenjivači dali za tvrdoću čajnog peciva, može se zaljučiti da se ove ocene smanjuju sa povećanjem veličine čestica pšenične klice i da se blago povećavaju sa porastom udela vlage, odnosno tvrdoća čajnog peciva je manja (Tabela 3.11). Ovi rezultati su takođe u skladu sa instrumentalnim merenjima tvrdoće dobijenim pomoću Texture Analyzer-a (Tabela 3.8). Interakcija između sadržaja vode i udela pšenične klice (faktor BC) takođe ima značajan uticaj na tvrdoću testa (udeo u uticaju 38,07 %, Slika 3.14).

Zrnavost čajnog peciva takođe zavisi od veličine čestica pšenične klice (udeo u uticaju faktora A na odgovor S4 je 58,96 %) i od udela pšenične klice u čajnom pecivu (uticaj faktora B je 31,75 %) kao što se može videti na Slici 3.13. Zrnavost se povećava sa povećanjem ova dva faktora (pozitivni znaci regresionih koeficijenata  $\beta_1$  i  $\beta_2$  za odgovor S5 u Tabeli 3.12). Uzorci sa većim udelom krupnijih čestica imaju veći udeo tvrdih čestica između zuba tokom žvakanja i zbog toga imaju najviše ocene za zrnavost, što je nepoželjno. Majzoobi i saradnici (2012) takođe su zaključili da uzorci čajnog peciva postaju zrnasti i blago grubi kada su dodate krupnije čestice pšenične klice u zames. Uticaj faktora C takođe je pozitivan, ali nije statistički značajan ( $p > 0,05$ ).

Povećanje veličine čestica, kao što se i očekivalo, ima statistički značajan uticaj na izgled pora na preseku čajnog peciva (uticaj faktora A na odgovor S5 je čak 82,98 %, Slika 3.13). Sa povećanjem veličine čestica pšenične klice, dolazi do formiranja većih prostora ispunjenih vazduhom u strukturi čajnog peciva, usled nemogućnosti grubih čestica krupnijih frakcija pšenične klice da se uniformno rasporede i upakuju sa česticama pšeničnog brašna koje su mnogo sitnije. Povećanje udela pšenične klice utiče na blago povećanje intenziteta ukusa čajnog peciva na sirovo, ali ipak nema značajne razlike u ukusu između uzoraka.

U poređenju sa kontrolnim uzorkom, svi uzorci sa dodatkom pšenične klice imaju manje ocene za ukus (odgovor S6), veću zrnavost, veći broj površinskih pukotina na površini i veće pore na preseku čajnog peciva. Uzorci čajnog peciva sa dodatkom pšenične klice frakcije 1 i sa sadržajem vlage od 22 % nisu se značajno razlikovali od kontrolnog uzorka u boji i tvrdoći.

## 3.2. DRUGA FAZA – UTICAJ DODATKA EKSTRUDATA OBOGAĆENIH PŠENIČNOM KLICOM, PIVSKIM TROPOM I TROPOM JABUKE NA KVALITET TESTA I ČAJNOG PECIVA

### 3.2.1. KARAKTERIZACIJA EKSTRUDATA

#### 3.2.1.1. Određivanje hemijskih karakteristika ekstrudata

Rezultati hemijske analize ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke za sve tri frakcije dati su u Tabeli 3.13.

**Tabela 3.13.** Hemijski sastav samlevenih ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice (K), pivskog tropa (P) i tropa jabuke (J)

	Vlaga	Mast	Proteini	Pepeo	Ukupna vlakna	Nerastvorljiva vlakna
	(%)					
<b>K - 1 - 15</b>	9,1	0,57	10,03	0,93	9,04	6,99
<b>K - 2 - 15</b>	8,77	0,2	10,25	0,92	8,56	6,01
<b>K - 3 - 15</b>	7,61	0,8	10,54	0,95	8,52	6,18
<b>K - 1 - 30</b>	8,49	1,05	13,97	1,51	12,25	8,46
<b>K - 2 - 30</b>	7,94	0,4	13,91	1,60	11,84	8,6
<b>K - 3 - 30</b>	6,68	0,24	13,90	1,53	11,55	8,61
<b>K - 1 - 45</b>	8,27	1,6	17,33	2,13	13,94	11,07
<b>K - 2 - 45</b>	7,57	0,88	16,82	2,06	13,35	10,98
<b>K - 3 - 45</b>	6,49	0,65	17,52	2,11	13,67	11,05
<b>P - 1 - 15</b>	7,34	0,86	9,17	1,11	10,81	10,07
<b>P - 2 - 15</b>	6,84	0,71	9,65	1,08	10,57	9,80
<b>P - 3 - 15</b>	6,87	0,63	9,71	1,02	11,61	11,01
<b>P - 1 - 30</b>	7,24	2,97	13,18	1,25	18,57	15,06
<b>P - 2 - 30</b>	7,00	2,09	13,58	1,27	20,28	16,95
<b>P - 3 - 30</b>	6,87	1,52	13,43	1,16	19,64	15,04
<b>P - 1 - 45</b>	6,80	4,23	16,57	1,56	28,40	26,28
<b>P - 2 - 45</b>	6,64	3,36	15,89	1,90	34,07	31,29
<b>P - 3 - 45</b>	6,5	2,68	16,85	1,52	32,32	29,44
<b>J - 1 - 15</b>	10,39	0,51	5,47	0,61	7,64	5,53
<b>J - 2 - 15</b>	10,22	0,18	6,23	0,62	7,76	5,62
<b>J - 3 - 15</b>	9,50	0,21	6,05	0,51	8,58	5,90
<b>J - 1 - 30</b>	8,98	0,50	5,27	0,89	16,37	9,38
<b>J - 2 - 30</b>	8,89	0,26	5,19	0,93	16,92	9,82
<b>J - 3 - 30</b>	8,44	0,26	5,27	0,93	18,33	11,97
<b>J - 1 - 45</b>	10,46	0,86	4,42	1,15	18,8	12,21
<b>J - 2 - 45</b>	10,61	0,49	4,49	1,02	19,03	12,50
<b>J - 3 - 45</b>	10,62	0,39	4,45	1,36	19,10	12,42

Na osnovu rezultata jasno se može videti da sva tri ekstrudata sadrže značajnu količinu vlakana u čemu prednjači ekstrudat srednje frakcije pivskog tropa sa udelom tropa od 45%, gde je sadržaj ukupnih vlakana čak 34,07 %. Generalno posmatrano, kod svih ekstrudata sa povećanjem udela sporednog proizvoda raste sadržaj ukupnih i nerastvorljivih vlakana.

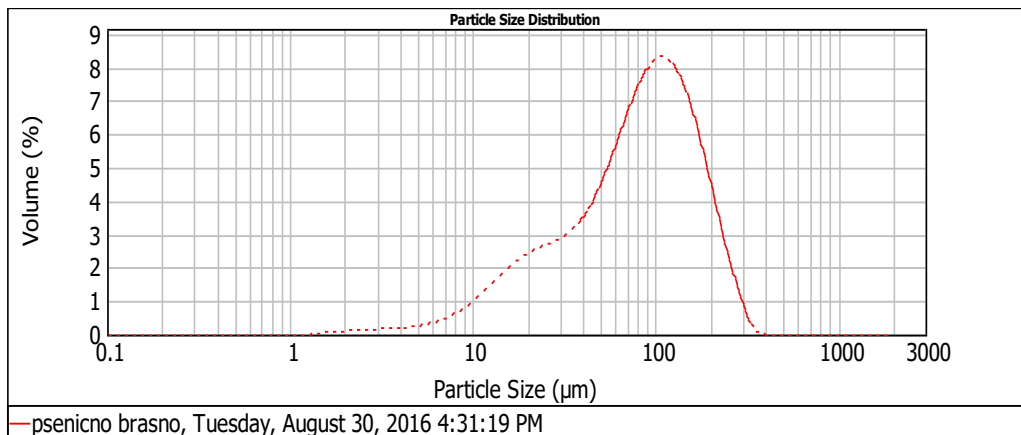
U uzorcima ekstrudata sa dodatkom tropa jabuke (J) udeo nerastvorljivih vlakana u ukupnoj masi vlakana iznosi od 57,29 % do 72,42 %, dok kod ekstrudata pivskog tropa (P) iznosi od 76,58 % do 94,83 % (Tabela 3.13). Ekstrudat tropa jabuke ima najpogodniji odnos rastvorljivih i nerastvorljivih vlakana, što je veoma značajno sa nutritivnog aspekta, jer i rastvorljiva i nerastvorljiva vlakna imaju važne fiziološke funkcije. Unos nerastvorljivih vlakana hranom važan je za apsorpciju vode i pravilan rad creva, dok unos rastvorljivih vlakana utiče na smanjenje nivoa holesterola u krvi i na smanjenje apsorpcije glukoze. U svom uticaju na zdravlje ljudi, ove dve frakcije vlakana dopunjuju jedna drugu i opšte je prihvaćeno da udeo rastvorljivih vlakna treba da bude 30 - 50 %, a nerastvorljivih 50 - 70 % u ukupnoj masi vlakana, odnosno njihov odnos treba da bude približno 1:2 (Schneeman, 1987).

U ekstrudatima pivskog tropa i pšenične klice, značajan je i udeo proteina. Kod ekstrudata tropa jabuke, udeo proteina je najmanji u odnosu na ostale ekstrudate i smanjuje se sa povećanjem udela tropa u ekstrudatu, za razliku od druga dva tipa ekstrudata, jer trop jabuke sadrži manji udeo proteina od same kukuruzne krupice (Jozinović, 2015). Udeo masti je ujednačen kod sva tri tipa ekstrudata (sa dodatkom sva tri sporedna proizvoda), ali je primećeno da je veći kod ekstrudata sa manjom veličinom čestica (sa česticama manjim od 250  $\mu\text{m}$ ) i da se kod ekstrudata pivskog tropa i pšenične klice povećava sa povećanjem udela sporednog proizvoda, dok se kod ekstrudata tropa jabuke smanjuje kako se udeo tropa povećava. Ekstrudat sa dodatkom pšenične klice je najbogatiji mineralnim materijama, a kod svih ekstrudata se količina mineralnih materija značajno povećava sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu.

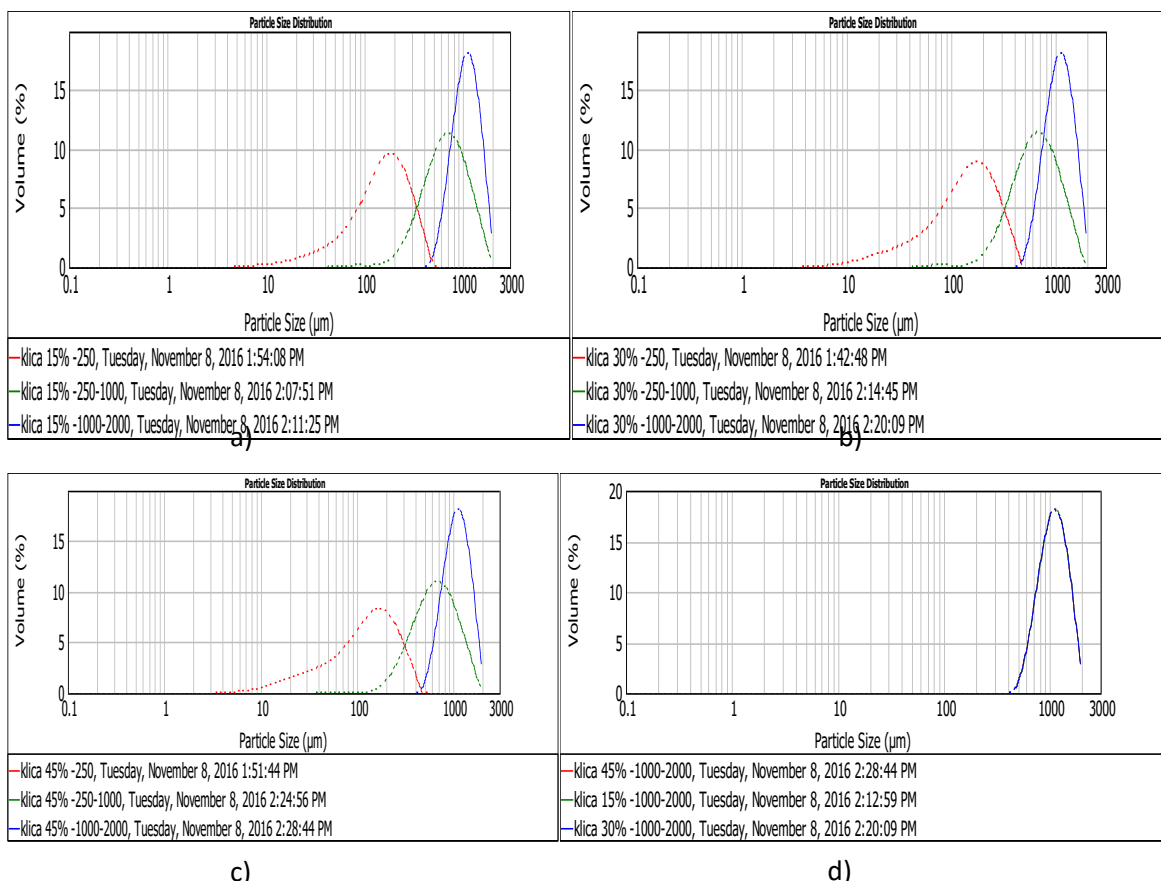
### **3.2.1.2. Raspodela veličine čestica ekstrudata**

Raspodele veličine čestica pšeničnog brašna kao i svih uzoraka ekstrudata korišćenih u eksperimentu, dobijene pomoću uređaja Mastersizer 2000, prikazane su na Slikama 3.15, 3.16, 3.17 i 3.18, a vrednosti parametara  $d(0.1)$ ,  $d(0.5)$ ,  $d(0.9)$  i  $D[4,3]$  prikazane su u Tabeli 3.14. Vrednost  $d(0.5)$  predstavlja srednji maseni prečnik zapreminske raspodele čestica, izražava se u mikronima i ukazuje na to da je 50 % čestica uzorka manje od te vrednosti, a 50 % veće  $d(0.1)$  označava da je 10 % čestica uzorka manje od te vrednosti, dok  $d(0.9)$  označava

da je 90 % čestica manje a 10 % veće od te vrednosti. Vrednost D[4,3] predstavlja zapreminski srednji prečnik i predstavlja srednju vrednost prečnika svih čestica (Stojanović i sar., 2010).



Slika 3.15. Raspodela veličine čestica pšeničnog brašna za proizvodnju čajnog peciva



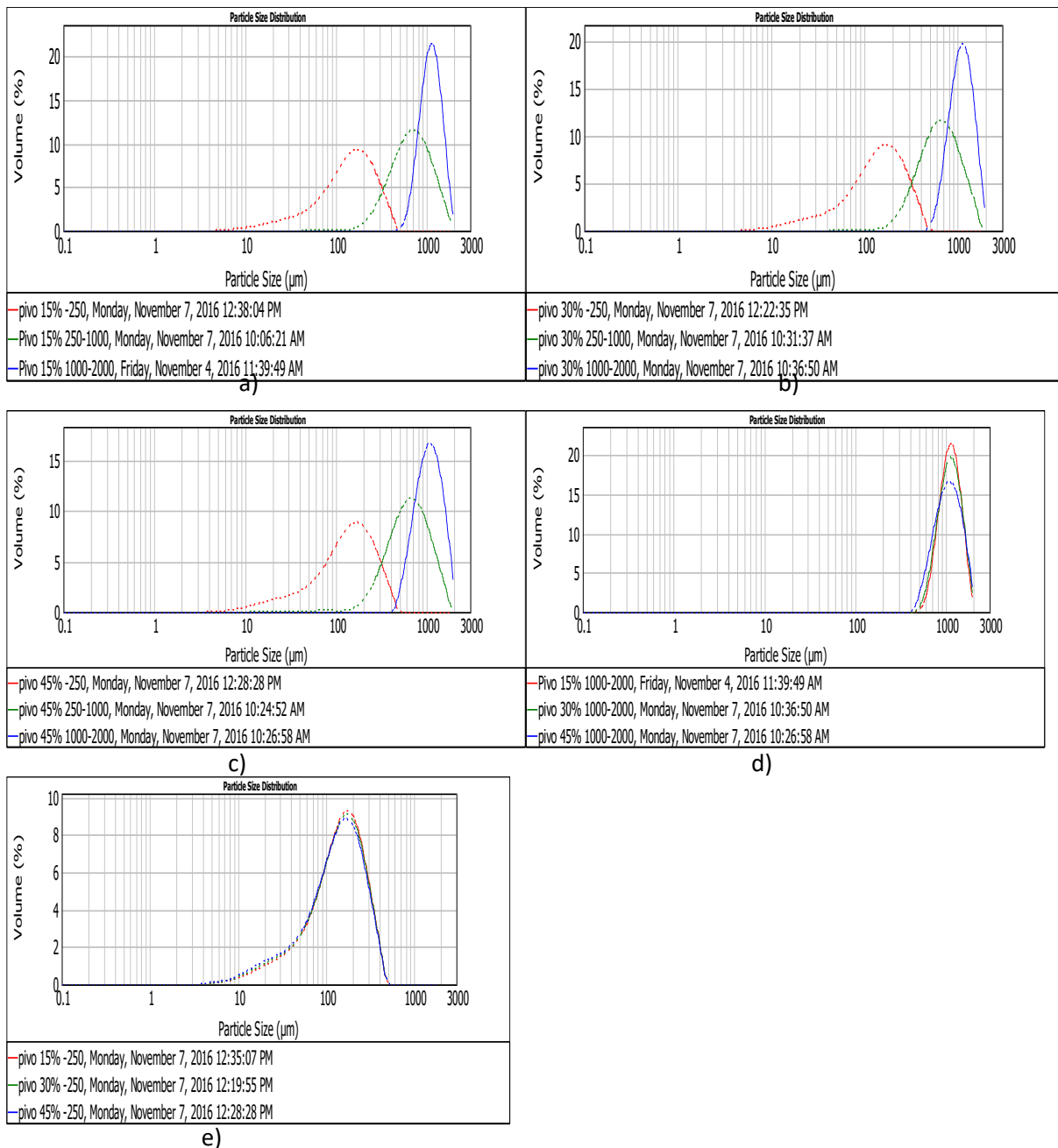
a)

b)

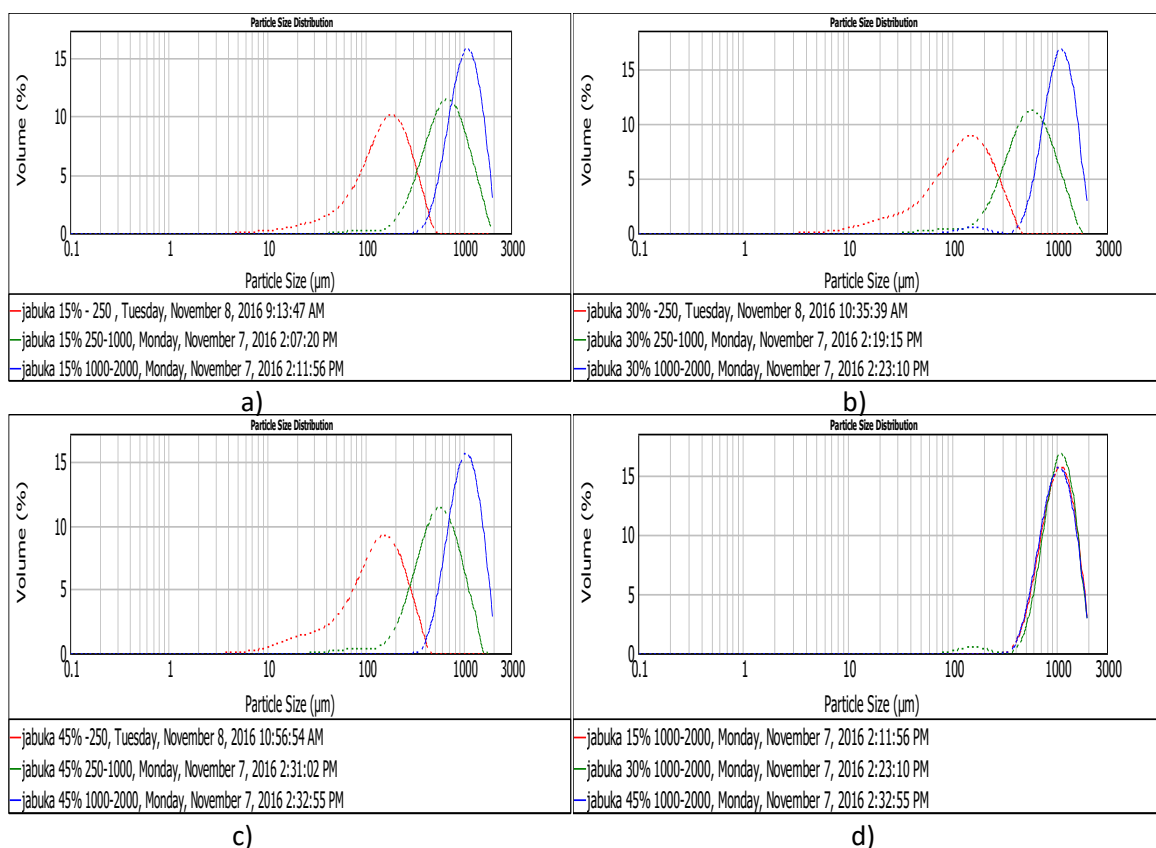
c)

d)

Slika 3.16. Raspodela veličine čestica ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice u udelu od 15% (a); 30% (b) i 45% (c) i uticaj različitih udela pšenične klice na raspodelu veličine čestica (d)



**Slika 3.17.** Raspodela veličine čestica ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pivskog tropa u udelu od 15% (a); 30% (b) i 45% (c) i uticaj različitih udela pivskog tropa na raspodelu veličine čestica (d) i (e)



**Slika 3.18.** Raspodela veličine čestica ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom tropa jabuke u udelu od 15% (a); 30% (b) i 45% (c) i uticaj različitih udela tropa jabuke na raspodelu veličine čestica (d)

Vrednost zapreminskog srednjeg prečnika raspodele veličine čestica pšeničnog brašna ( $D[4,3]$ ) koja iznosi  $92,36 \mu\text{m}$  značajno je manja od  $D[4,3]$  vrednosti raspodele veličine čestica svih uzoraka ekstrudata (Tabela 3.14). Na osnovu rezultata, može se videti da je raspodela veličine čestica u okviru istih frakcija, veoma ujednačena kod svih ekstrudata. Generalno posmatrano, bez obzira na vrstu sporednog proizvoda, sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu (15 - 45 %) primećeno je postepeno smanjenje vrednosti  $D[4,3]$ . Uticaj dodatka sporednog proizvoda na raspodelu veličine čestica ekstrudata je izraženiji kod čestica veličine 1000-2000  $\mu\text{m}$ , što je ilustrovano na primeru dodatka pivskog tropa na Slici 3.17d. Povećanje udela pivskog tropa najsitnije granulacije (frakcija 1) gotovo da nema nikakav uticaj na raspodelu veličine čestica ekstrudata (Slika 3.17e).



**Tabela 3.14.** Raspodela veličine čestica pšeničnog brašna i samlevenih ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke u različitim udelima

Uzorak	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	D [4,3]
(μm)				
K - 1 - 15	47,33	152,24	304,88	166,21
K - 2 - 15	324,41	666,21	1242,87	730,56
K - 3 - 15	700,57	1074,66	1578,06	1110,32
K - 1 - 30	35,08	137,01	288,75	151,53
K - 2 - 30	314,93	638,19	1179,66	697,56
K - 3 - 30	701,31	1074,13	1577,42	1110,16
K - 1 - 45	27,75	126,34	279,44	141,85
K - 2 - 45	305,12	641,1	1217,39	707,09
K - 3 - 45	700,35	1074	1577,51	1109,81
P - 1 - 15	39,68	141,11	291,33	155,49
P - 2 - 15	356,08	649,75	1149,44	706,94
P - 3 - 15	757,19	1091,51	1529,12	1121,01
P - 1 - 30	36,91	1389,9	290,74	153,69
P - 2 - 30	315,65	632,89	1168,38	692,16
P - 3 - 30	737,16	1095,02	1565,13	1126,52
P - 1 - 45	32,48	132,26	282,66	147,26
P - 2 - 45	301,39	630,87	1183,45	690,83
P - 3 - 45	656,19	1045,19	1584,79	1086,98
J - 1 - 15	52,22	154,66	303,81	168,21
J - 2 - 15	350,11	689,23	1231,69	744,45
J - 3 - 15	620,67	1019,64	1572,21	1061,33
J - 1 - 30	33,17	122,65	261,74	137,27
J - 2 - 30	243,61	505,53	951,15	555,01
J - 3 - 30	626,75	1033,53	1558,58	1059,07
J - 1 - 45	33,03	126,98	263,37	139,85
J - 2 - 45	256,74	535,02	995,39	583,74
J - 3 - 45	607,04	1002,45	1559,43	1046,31
Pšenično brašno	18,03	81,19	182,89	92,36

### 3.2.1.3. Vrednosti parametara boje samlevenih ekstrudata

Rezultati instrumentalnog merenja boje samlevenih ekstrudata dati su u Tabeli 3.15. Kod uzoraka ekstrudata sa dodatkom pšenične klice  $L^*$  vrednost, odnosno svetloća ekstrudata, ne menja se značajno sa povećanjem udela sporednog proizvoda, ali značajno opada sa povećanjem veličine čestica. Isti trend smanjenja  $L^*$  vrednosti sa povećanjem veličine čestica primećen je i kod ekstrudata pivskog tropa i tropa jabuke, s tim što je kod ovih ekstrudata primetno i značajnije smanjenje  $L^*$  vrednosti sa povećanjem udela sporednog proizvoda, posebno kod dodatka tropa jabuke.

**Tabela 3.15.** Vrednosti parametara boje ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke u različitim udelima (15, 30 i 45 %)

Uzorak	$L^*$	$a^*$	$b^*$
K - 1 - 15	64,11	0,76	23,71
K - 2 - 15	53,53	3,53	28,64
K - 3 - 15	43,61	6,06	24,07
K - 1 - 30	63,26	0,96	21,03
K - 2 - 30	52,20	3,46	25,29
K - 3 - 30	42,61	5,79	19,51
K - 1 - 45	62,37	1,34	18,99
K - 2 - 45	49,64	4,41	22,30
K - 3 - 45	42,73	5,34	16,65
P - 1 - 15	59,40	2,65	17,39
P - 2 - 15	49,59	4,17	20,20
P - 3 - 15	41,90	6,44	18,84
P - 1 - 30	56,71	3,23	16,68
P - 2 - 30	46,68	4,27	16,24
P - 3 - 30	39,97	4,63	11,88
P - 1 - 45	53,78	4,08	16,68
P - 2 - 45	44,38	4,98	15,85
P - 3 - 45	39,00	4,43	11,16
J - 1 - 15	45,14	9,60	20,73
J - 2 - 15	33,15	8,50	10,27
J - 3 - 15	29,61	4,50	5,31
J - 1 - 30	44,71	9,42	20,40
J - 2 - 30	36,78	8,91	14,17
J - 3 - 30	32,85	5,30	8,28
J - 1 - 45	42,68	9,53	19,16
J - 2 - 45	35,97	8,35	13,29
J - 3 - 45	31,78	5,16	8,70
Pšenično brašno	89,20	-2,54	18,26

Vrednosti parametra  $a^*$ , odnosno udela crvenog tona, kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa značajno se povećavaju sa porastom veličine čestica i sa povećanjem udela sporednog proizvoda. Kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, za razliku od uzoraka ekstrudata sa dodatkom pšenične klice i pivskog tropa, udeo crvenog tona se značajno smanjuje sa porastom veličine čestica. Udeo žutog tona, parametar  $b^*$ , ima najveću vrednost kod ekstrudata pšenične klice i to kod uzoraka sa najmanjim udelom sporednog proizvoda (28,64), dok najmanje  $b^*$  vrednosti imaju ekstrudati tropa jabuke gde se ove vrednosti značajno smanjuju sa povećanjem veličine čestica ekstrudata. Svi uzorci ekstrudata imaju značajno manje  $L^*$  vrednosti i značajno veći udeo crvenog tona u poređenju sa pšeničnim brašnom.

### 3.2.1.4. Mikrobiološka analiza ekstrudata

Rezultati mikrobiološke analize ukazuju da u ispitivanim ekstrudatima nije utvrđeno prisustvo *E. coli*, enterobakterija, sulfitoredukujućih klostridija, lipolitičkih bakterija, kvasaca i plesni. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija kretao se od  $3,0 \times 10^2$  do  $7,1 \times 10^5$  cfu/g. U dva uzorka utvrđeno je prisustvo aerobnih mezofilnih sporogenih bakterija u niskom broju (80 i 90 cfu/g). Ovi rezultati ukazuju da se pripremljeni ekstrudati mogu koristiti za proizvodnju čajnog peciva.

**Tabela 3.16.** Rezultati mikrobiološke analize pšeničnog brašna i ekstrudata kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice (K), pivskog tropa (P) i tropa jabuke (J) u različitim udelima (15, 30 i 45 %)

Uzorak	AMB	UK	UP	EC	SK	EB	SB	LB
	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)	(cfu/g)
<b>Pšenično brašno</b>	$1,9 \times 10^4$	<10	$1,0 \times 10^2$	n.d	n.d	40	<10	<10
<b>Kukuruzna krupica</b>	$6,4 \times 10^5$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>K15</b>	$1,0 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>K30</b>	$2,6 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>K45</b>	$7,1 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>P15</b>	$6,0 \times 10^3$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>P30</b>	$3,0 \times 10^5$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>P45</b>	$2,3 \times 10^5$	<10	<10	n.d	n.d	<10	90	<10
<b>J15</b>	$6,0 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>J30</b>	$3,0 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10
<b>J45</b>	$7,4 \times 10^2$	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10	<10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; UK: Ukupan broj kvasaca; UP: Ukupan broj plesni; EC: E.coli; SK: Sulfitoredukujuće klostridije; EB: Enterobakterije; SB: Sporogene bakterije; LB: Lipolitičke bakterije

### 3.2.2. OSOBINE TESTA

#### 3.2.2.1. Reološke karakteristike

Rezultati reoloških merenja za uzorke testa sa dodatkom ekstrudata obogaćenih pšeničnom klicom prikazani su u Tabeli 3.17. Moduli elastičnosti i viskoznosti su prikazani na Slici 3.19. Dobijeni koeficijenti regresionih jednačina prikazani su u Tabeli 3.18.

**Tabela 3.17.** Parametri reoloških karakteristika testa za proizvodnju čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pšeničnom klicom

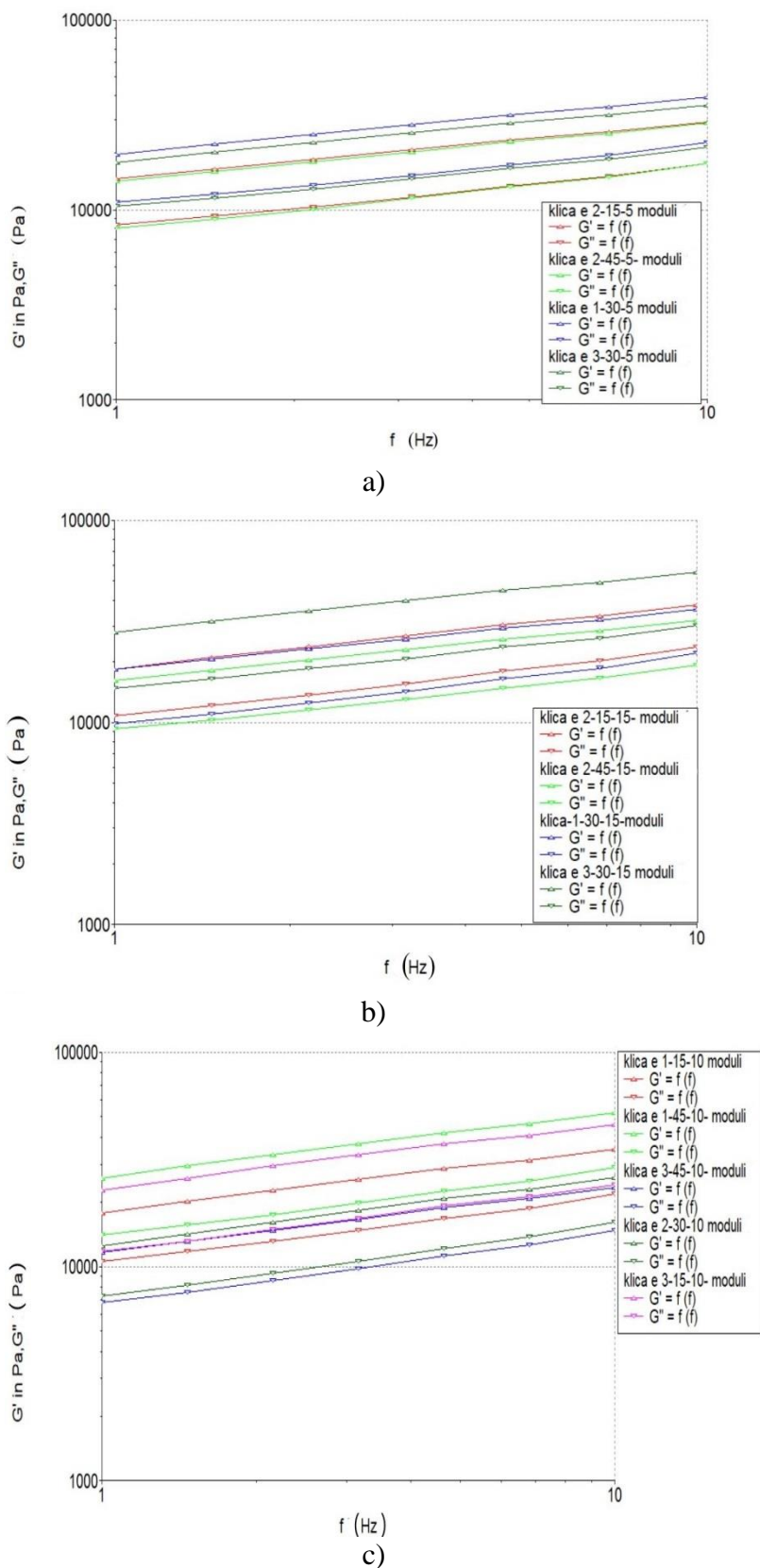
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					$J_e/J_{max}$
	F	T	E	KR1( $\times 10^{-5}$ )	KR2	KR3	KR4	KR5	
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	5,41	0,00093	23460	14770	0,56	65,41
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	5,51	0,00071	39340	22590	0,62	48,48
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	7,77	0,00055	55270	30270	0,52	52,61
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	5,41	0,00078	36370	21910	0,63	46,69
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	5,36	0,00077	38140	23590	0,55	44,31
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	5,80	0,00080	35400	21710	0,58	55,26
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	5,10	0,00077	28620	17510	0,55	44,53
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	3,92	0,00094	26040	16050	0,60	47,69
<b>K-3.30.15</b>	3	30	15	4,29	0,00090	31870	19170	0,58	40,11
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	5,98	0,00078	35380	21650	0,58	58,07
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	6,06	0,00060	45750	24000	0,62	45,45
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	5,99	0,00069	52150	29080	0,60	49,07
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	4,65	0,00090	35730	21470	0,61	48,67
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	5,66	0,00074	29060	17590	0,61	57,62
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	5,79	0,00081	35420	21820	0,62	50,32

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; KR1 –  $\eta_0$ ; KR2 –  $J_{max}$ ; KR3 –  $G'$ ; KR4 –  $G''$ ; KR5 –  $\tan \delta$

**Tabela 3.18.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore KR1-KR5

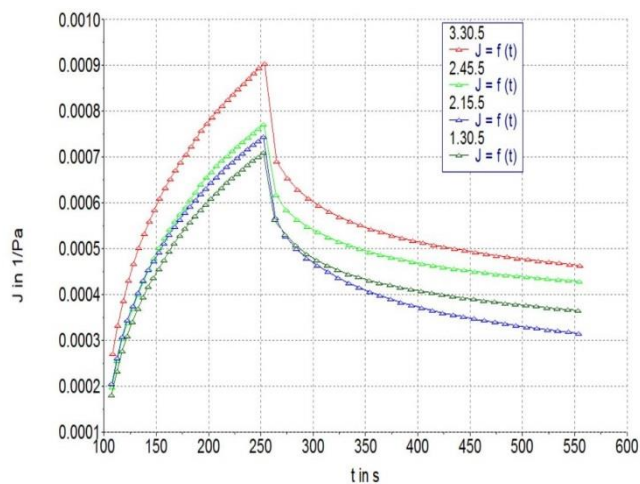
	KR1	KR2	KR3	KR4	KR5
$\beta_0$	5,66E+05	7,96E-04	36507,69	21933,85	0,61
$\beta_1$ (F)	-88150***	1,39E-04***	-9426,25***	-4310***	0,031***
$\beta_2$ (T)	13087,5	-8,60E-06	-1398,75	-1015	-4,33E-03
$\beta_3$ (E)	23912,5	-1,37E-05	3612,5**	1972,5*	0,011*
$\beta_{12}$ (FT)	35275	2,12E-05		950	0,012
$\beta_{13}$ (FE)	-65475*	3,83E-05*	-4947,5*	-2495*	
$\beta_{23}$ (TE)					
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )			3964,04*	1235,77	-0,027**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	-30230,4		-3540,96*	-1989,23	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )		-2,76E-05			-0,016*
$R^2$	0,8563	0,957	0,9354	0,9200	0,8934
Lack of fit	0,1006	0,1727	0,0826	0,1099	0,0831

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$  KR1 –  $\eta_0$ ; KR2 –  $J_{max}$ ; KR3 –  $G'$ ; KR4 –  $G''$ ; KR5 –  $\tan \delta$

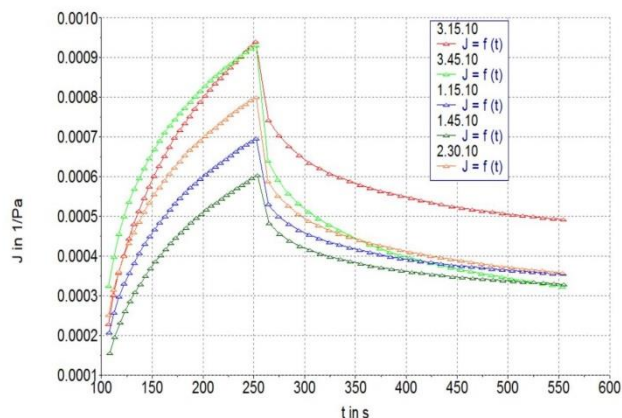


**Slika 3.19.** Promena modula elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ), u zavisnosti od frekvencije ( $f$ ), uzoraka testa sa: 5 % (a), 15 % (b) i 10 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice

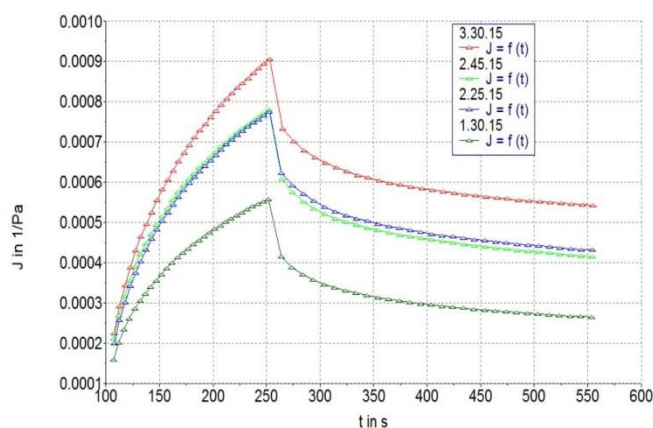
Krive puzanja ispitivanih uzoraka testa prikazane su na Slici 3.20.



a)



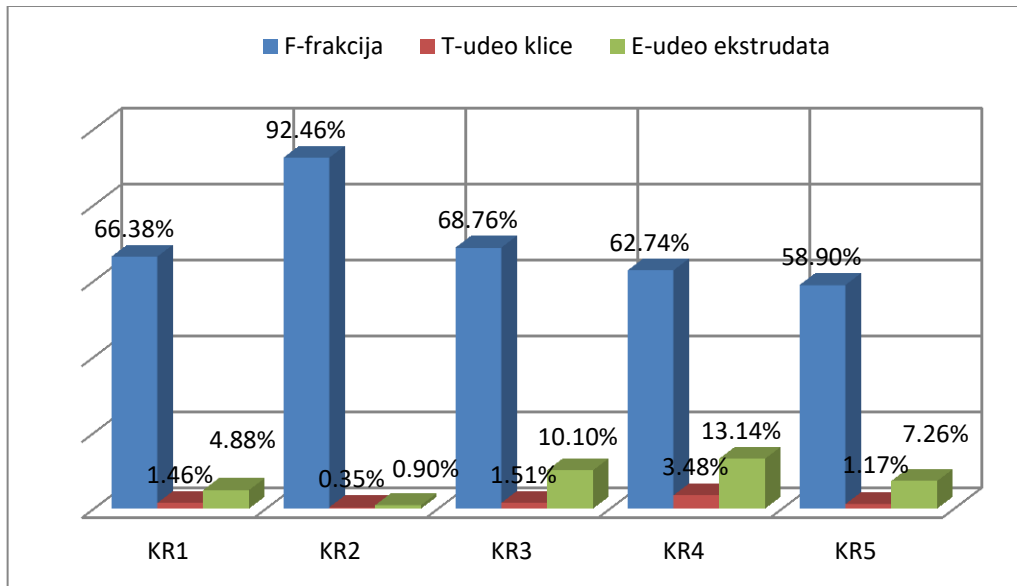
b)



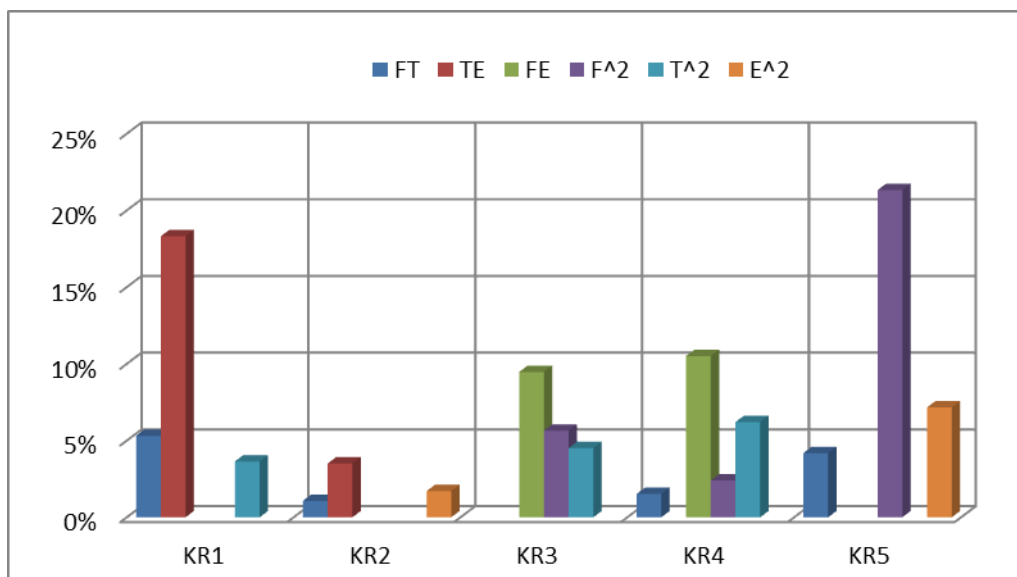
c)

**Slika 3.20.** Krive puzanja uzoraka testa sa: 5 % (a), 10 % (b) i 15 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom pšenične klice

Uticaji ulaznih faktora na reološke karakteristike testa prikazani su na Slici 3.21, a uticaji njihovih interakcija i kvadrata prikazani su na Slici i 3.22.



**Slika 3.21.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pšeničnom klicom (KR1 –  $\eta_0$ ; KR2 -  $J_{max}$ ; KR3 –  $G'$ ; KR4 -  $G''$ ; KR5 -  $\tan \delta$ )



**Slika 3.22.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pšeničnom klicom (KR1 –  $\eta_0$ ; KR2 -  $J_{max}$ ; KR3 –  $G'$ ; KR4 -  $G''$ ; KR5 -  $\tan \delta$ )

Kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice, kao što se može videti u Tabeli 3.18, vrednosti elastičnog i viskoznog modula (KR3 i KR4) statistički značajno ( $p < 0,05$ ) zavise od veličine čestica (faktor F) i udela ekstrudata (faktor E). Vrednosti oba modula povećavaju se sa smanjenjem veličine čestica ekstrudata (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovore KR3 i KR4 u Tabeli 3.18). Faktor E (procenat zamene pšeničnog brašna ekstrudatom) ima pozitivan uticaj na module elastičnosti i viskoznosti (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_3$  za odgovore KR3 i KR4 u Tabeli 3.18), odnosno sa povećanjem udela

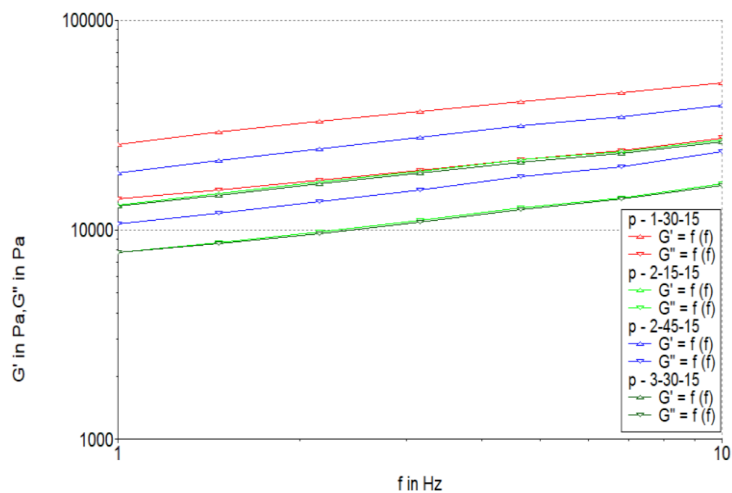
ekstrudata dolazi do povećanja vrednosti oba modula, ali je uticaj tog faktora (10,10 % za KR3 i 13,14 % za KR4) znatno slabiji od uticaja faktora F (veličina čestica) (68,76 % za KR3 i 62,74 % za KR4) (Slika 3.21).

Maksimalne vrednosti popustljivosti sistema pod dejstvom napona ( $J_{\max}$ ) kod uzoraka testa sa dodatkom ovog ekstrudata značajno se povećaju ( $p < 0,05$ ) sa povećanjem veličine čestica ekstrudata (faktor F), dok se vrednosti njutnovskog viskoziteta, ( $\eta_0$ ) smanjuju (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor KR2, a negativan za KR1 u Tabeli 3.18). Najveći uticaj veličine čestica na  $J_{\max}$  primećuje se kod uzoraka testa sa najvećim procentom zamene pšeničnog brašna ovim ekstrudatom (15 %) (Slika 3.20c) u poređenju sa uzorcima testa sa procentom zamene pšeničnog brašna od 5 % (Slika 3.20a) i 10 % (Slika 3.20b). Takođe, kao što se može primetiti u Tabeli 3.17, do smanjenja vrednosti  $J_{\max}$  i povećanja vrednosti  $\eta_0$ , dolazi sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu od 15 do 45 % (faktor T), mada se uticaj ovog parametra na reološke karakteristike testa nije pokazao statistički značajnim ( $p > 0,05$ ), što se može videti u Tabeli 3.18 i na Slikama 3.21 i 3.22, gde su uticaji ovog parametra na sve odgovore veoma mali.

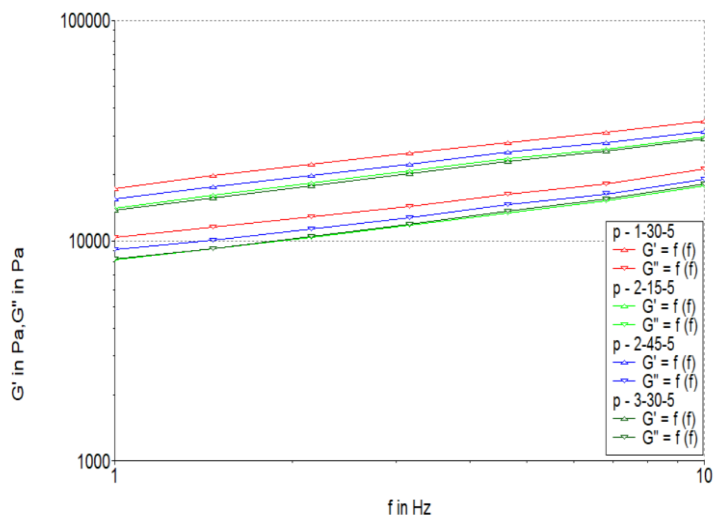
Moduli elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ) i krive puzanja uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa prikazani su na Slikama 3.23 i 3.24. Vrednosti reoloških parametara prikazane su u Tabeli 3.19, a koeficijenti regresionih jednačina u Tabeli 3.20.

Kao i kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice, kod svih uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, moduo elastičnosti ima veće vrednosti od modula viskoznosti, što ukazuje na postojanje stabilnih, umreženih struktura. Oba modula ( $G'$  i  $G''$ ) povećavaju se sa smanjenjem veličine čestica dodatog ekstrudata (udeo uticaja faktora F na Slici 3.25 za odgovore PR3 i PR4 je 55,75 % i 54,77 %, respektivno). Druga dva faktora (T i E) kao što se može videti u Tabeli 3.20 nemaju statistički značajan uticaj ( $p > 0,05$ ) na vrednosti modula  $G'$  i  $G''$  kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa.

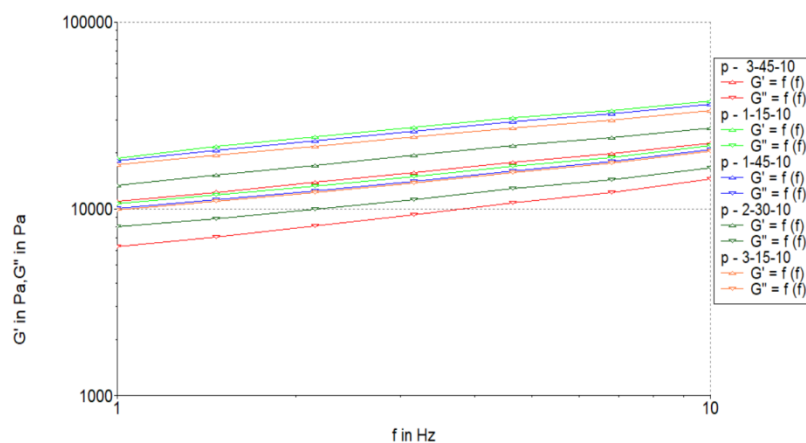




a)

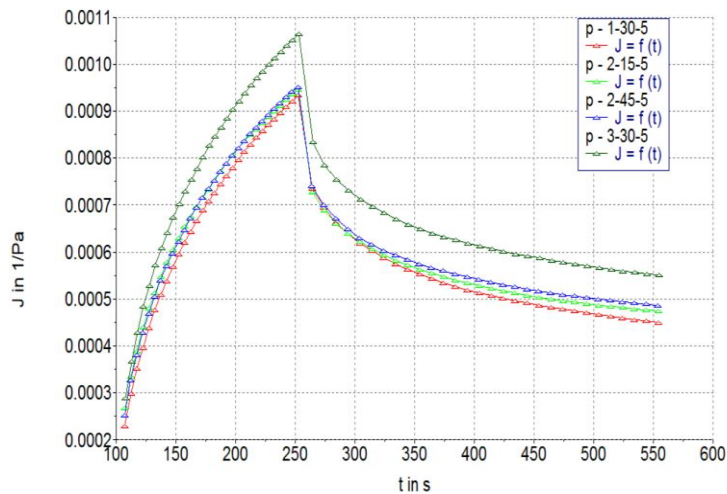


b)

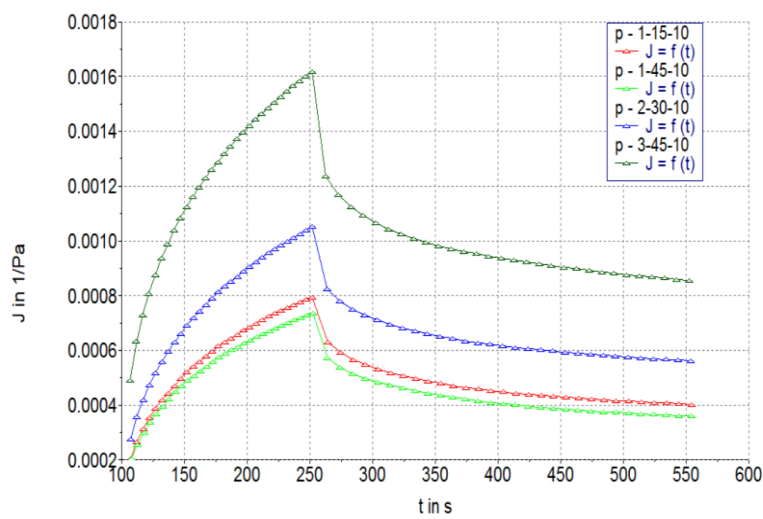


c)

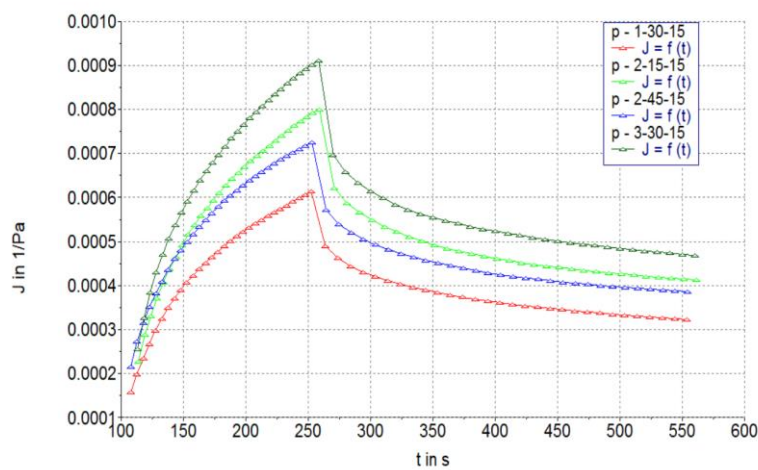
**Slika 3.23.** Promena modula elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ), u zavisnosti od frekvencije ( $f$ ), uzoraka testa sa: 5 % (a), 15 % (b) i 10 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom pivskog tropa



a)



b)



c)

**Slika 3.24** Krive puzanja uzoraka testa sa: 5 % (a), 10 % (b) i 15 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom pivskog tropa

**Tabela 3.19.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	PR1 <sub>x</sub> ( $10^{-5}$ )	PR2	PR3	PR4	PR5	$J_e/J_{max}$
<b>P-3.45.10</b>	3	45	10	2,81	0,00161	22480	14410	0,59	47,09
<b>P-1.30.5</b>	1	30	5	3,95	0,00093	34960	21120	0,58	51,85
<b>P-1.30.15</b>	1	30	15	6,29	0,00061	50140	27450	0,53	47,32
<b>P-2.45.15</b>	2	45	15	6,68	0,00072	39250	23500	0,57	46,66
<b>P-2.15.15</b>	2	15	15	5,35	0,00080	26860	16560	0,59	48,46
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	3,76	0,00105	27160	16560	0,59	46,60
<b>P-2.45.5</b>	2	45	5	4,32	0,00095	31380	18990	0,58	48,88
<b>P-3.15.10</b>	3	15	10	4,65	0,00084	33690	20360	0,57	44,17
<b>P-3.30.15</b>	3	30	15	4,90	0,00091	26220	16270	0,59	48,60
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	3,57	0,00104	26010	16050	0,59	47,75
<b>P-1.45.10</b>	1	45	10	5,72	0,00073	36450	20720	0,54	51,18
<b>P-1.15.10</b>	1	15	10	5,38	0,00079	37870	21860	0,55	49,23
<b>P-3.30.5</b>	3	30	5	3,86	0,00106	28060	17460	0,59	48,28
<b>P-2.15.5</b>	2	15	5	4,29	0,00094	29470	17680	0,57	49,93
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	3,61	0,00102	26115	16215	0,59	45,89

(PR1 –  $\eta_0$ ; PR2 -  $J_{max}$ ; PR3 – G'; PR4 - G''; PR5 -  $\tan \delta$ )

Isti trend porasta vrednosti  $J_{max}$  (PR2) i smanjenja vrednosti  $\eta_0$  (PR1) sa porastom veličine čestica ekstrudata i sa smanjenjem udela ekstrudata u testu, može se primetiti kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Tabela 3.20), kao i kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (Tabela 3.17). Međutim, u ovom slučaju uticaj faktora E (udeo ekstrudata) je veći nego u slučaju dodatka ekstrudata pšenične klice, a veliki uticaj ima i interakcija faktora F i T u  $J_{max}$ , kao što se može videti na Slici 3.26. Pored toga, značajan je i uticaj kvadrata faktora E na odgovore PR1 i PR2 (Slika 3.26).

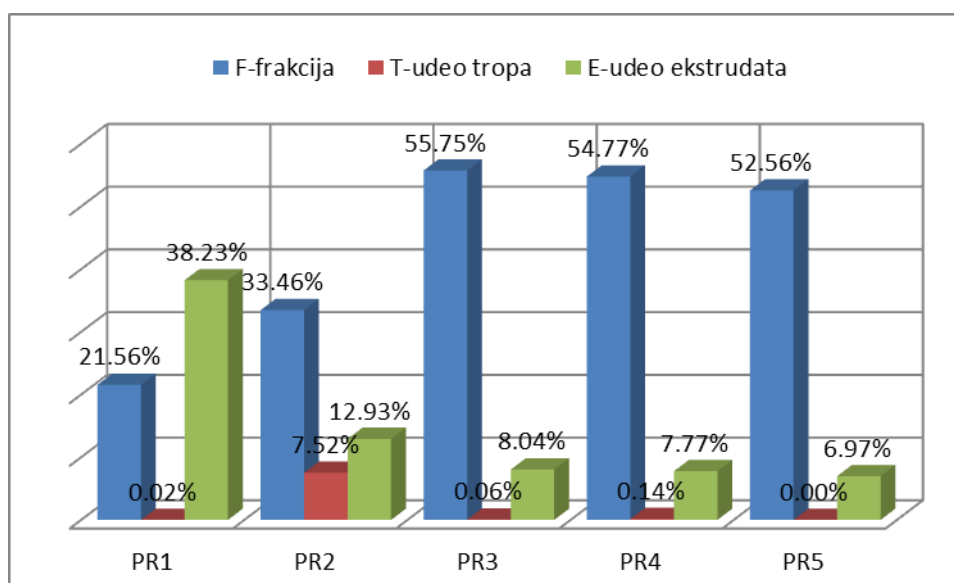
Vrednosti  $\tan \delta$ , koje predstavljaju odnos viskoznog i elastičnog modula ( $G''/G'$ ), kod svih uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i ekstrudata pivskog tropa su manji od 1, odnosno elastični moduo dominira nad viskoznim, kao što se može videti u Tabelama 3.17 i 3.19. Ove vrednosti prvenstveno zavise od veličine čestica ekstrudata (faktor F) i povećavaju se sa porastom veličine čestica (pozitivne vrednosti koeficijenata  $\beta_1$  za odgovor R5 u Tabelama 3.18 i 3.20), što znači da sa povećanjem veličine čestica ekstrudata testo postaje manje umreženo, jer manje vrednosti  $\tan \delta$  karakterišu materijale sa većim stepenom umreženosti (Nikolić, 2015).

**Tabela 3.20.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore PR1-PR5

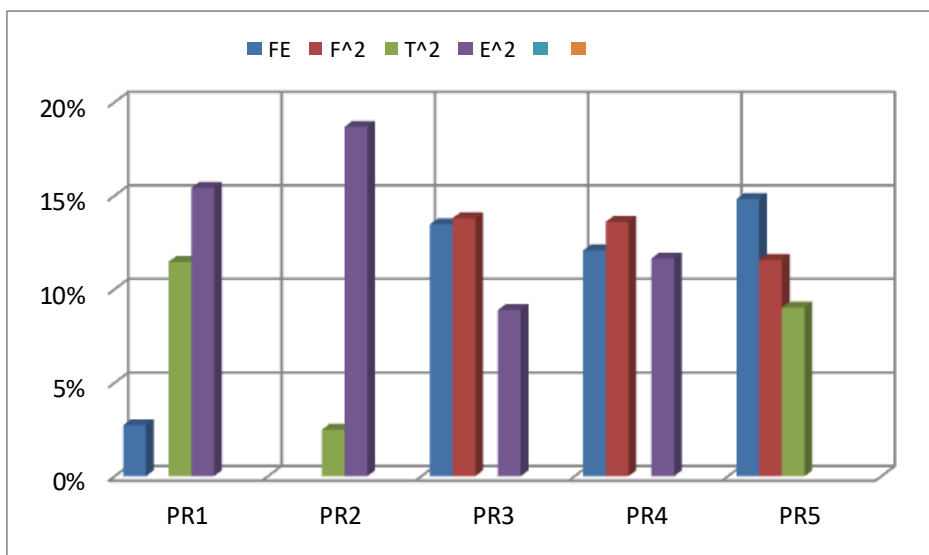
	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5
$\beta_0$	381800	0,001089	27471,15	16927,31	0,59
$\beta_1$ (F)	-63925*	0,00017**	-6121,25**	-2831,25*	0,018**
$\beta_2$ (T)	-1750	8,06E-05	208,75	145	-9,38E-05
$\beta_3$ (E)	85125**	-0,00011	2325	1066,25	-6,47E-03
$\beta_{12}$ (FT)	-54375	0,000208*		-1880	7,81E-03
$\beta_{13}$ (FE)	-32175		-4255		0,013*
$\beta_{23}$ (TE)	32525				
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )			4469,23	2070,96	-0,012
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	68396,15	-6,8E-05			-0,011
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	79346,15*	-0,00019*	3586,73	1915,96	
R <sup>2</sup>	0,8826	0,8168	0,744	0,6851	0,8588
Lack of Fit	0,0579	0,4367	0,0637	0,0684	0,0978

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; PR1 –  $\eta_0$ ; PR2 -  $J_{max}$ ; PR3 – G'; PR4 - G''; PR5 - tan  $\delta$

Čestice ekstrudata frakcije 2 i 3 značajno su veće od čestica pšeničnog brašna, kao što se može videti na osnovu vrednosti parametara raspodele veličine čestica pšeničnog brašna i ekstrudata u Tabeli 3.14, one fizički ometaju stvaranje glutenske mreže testa, usled čega ovakva testa imaju i veće vrednosti tan  $\delta$ .



**Slika 3.25.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PR1 –  $\eta_0$ ; PR2 -  $J_{max}$ ; PR3 – G'; PR4 - G''; PR5 - tan  $\delta$ )



**Slika 3.26.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PR1 –  $\eta_0$ ; PR2 -  $J_{\max}$ ; PR3 –  $G'$ ; PR4 -  $G''$ ; PR5 -  $\tan \delta$ )

I u slučaju uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (Tabela 3.21), veličina čestica ekstrudata ima značajan uticaj na reološke karakteristike testa, tj. module elastičnosti i viskoznosti i krive puzanja (Slike 3.27 i 3.28). Kao što se može videti u Tabeli 3.22 i na Slikama 3.29 i 3.30, faktor F (veličina čestica) ima statistički značajan uticaj na vrednosti  $J_{\max}$  i  $\eta_0$ , kao i na vrednosti elastičnog i viskoznog modula. Regresioni koeficijenti za ovaj faktor ( $\beta_1$ ) imaju pozitivne vrednosti za  $J_{\max}$  i  $\tan \delta$ , a negativne za  $\eta_0$  i vrednosti modula  $G'$  i  $G''$  (Tabela 3.22), odnosno, sa povećanjem veličine čestica ovog ekstrudata, dolazi do povećanja  $J_{\max}$  i  $\tan \delta$  vrednosti i do smanjenja vrednosti  $\eta_0$  i oba modula ( $G'$  i  $G''$ ), što je u skladu sa rezultatima dobijenim za uzorke testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa.

Značajan uticaj faktori T i E imaju na vrednosti  $J_{\max}$ ,  $\tan \delta$  (negativne vrednosti koeficijenata  $\beta_2$  i  $\beta_3$  za odgovore JR2 i JR5 u Tabeli 3.22) i  $\eta_0$  (pozitivne vrednosti koeficijenata  $\beta_2$  i  $\beta_3$  za odgovor JR1), dok na vrednosti modula značajan uticaj ima interakcija faktora F i E.

I kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, kao i kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa, najveći uticaj veličine čestica (faktor F) na reološke karakteristike testa ( $J_{\max}$ ,  $\eta_0$ ,  $G'$  i  $G''$ ) izražen je kod uzoraka sa procentom zamene pšeničnog brašna ekstrudatom tropa jabuke od 15 % (Slika 3.27b i Slika 3.28c), odnosno, najveća promena krivih puzanja i oba modula sa povećanjem veličine čestica ekstrudata se uočava pri udelu ekstrudata od 15 % u odnosu na uzorke sa udelom ekstrudata u količini od 5% (Slika 3.27a i Slika 3.28a) i 10 % (Slika 3.27c i Slika 3.28b), što je u skladu sa

zaključcima izvedenim na osnovu Slike 3.29 i 3.30, gde se može videti da i udeo ekstrudata (faktor E) kao i interakcija faktora F i E imaju značajan uticaj na reološke karakteristike testa.

**Tabela 3.21.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i reološke karakteristike testa sa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke

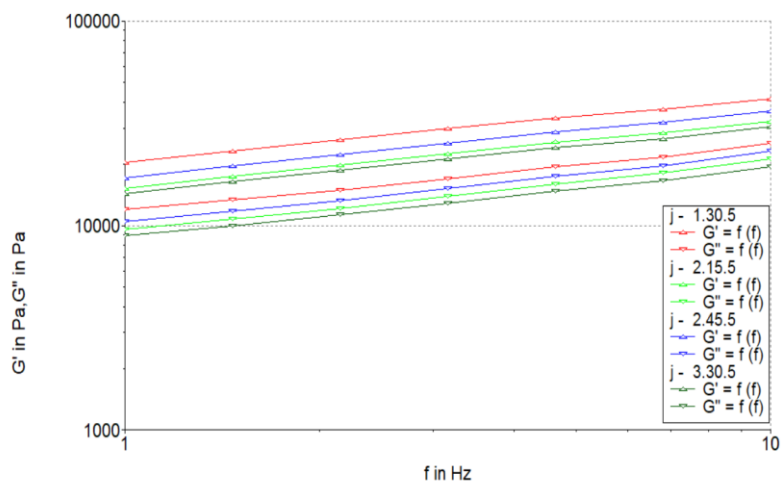
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	JR1x ( $10^{-5}$ )	JR2	JR3	JR4	JR5	$J_e/J_{max}$
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	3,16	0,00116	28890	18400	0,60	44,52
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	3,97	0,00090	41790	25150	0,57	41,83
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	8,06	0,00045	71660	39150	0,52	45,07
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	5,38	0,00069	42640	25330	0,57	45,91
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	4,06	0,00109	28040	17940	0,61	46,71
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,24	0,00087	40540	25430	0,60	46,40
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	3,62	0,00100	36300	23120	0,60	44,92
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	3,34	0,00126	26820	16820	0,59	43,59
<b>J-3.30.15</b>	3	30	15	3,93	0,00100	24680	16410	0,63	44,82
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,24	0,00087	40533	24950	0,60	47,82
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	6,46	0,00055	50250	27850	0,53	46,77
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	4,77	0,00077	46310	28030	0,58	43,65
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	3,24	0,00119	30280	19450	0,61	43,11
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	3,48	0,00114	32400	21250	0,62	47,68
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,25	0,00079	41200	25010	0,61	51,69

(JR1 –  $\eta_0$ ; JR2 -  $J_{max}$ ; JR3 – G'; JR4 - G"; JR5 -  $\tan \delta$ )

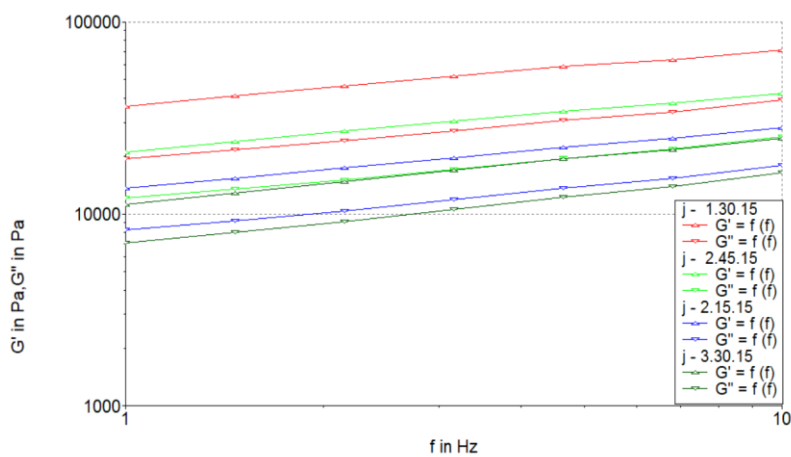
**Tabela 3.22.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore JR1-JR5

	JR1	JR2	JR3	JR4	JR5
$\beta_0$	417600	8,48E-04	41863,29	25107,14	0,6
$\beta_1$ (F)	-119900***	2,43E-04***	-12417,5***	-6137,5***	0,029***
$\beta_2$ (T)	37125*	-1,06E-04**	3063,75	1332,5	-0,013*
$\beta_3$ (E)	88875***	-1,23E-04**	3281,25	1232,5	-0,011*
$\beta_{12}$ (FT)	-46875*				0,011
$\beta_{13}$ (FE)	-85125**	6,40E-05	-8867,5**	-4260**	0,017*
$\beta_{23}$ (TE)	29375	-6,51E-05		1380	
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	43857,14				-0,02**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )		9,26E-05*	-5407,04*	-2764,64*	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )		4,22E-05			
$R^2$	0,9567	0,9596	0,9123	0,9214	0,9253
Lack of Fit	0,0744	0,3009	0,0671	0,1130	0,1366

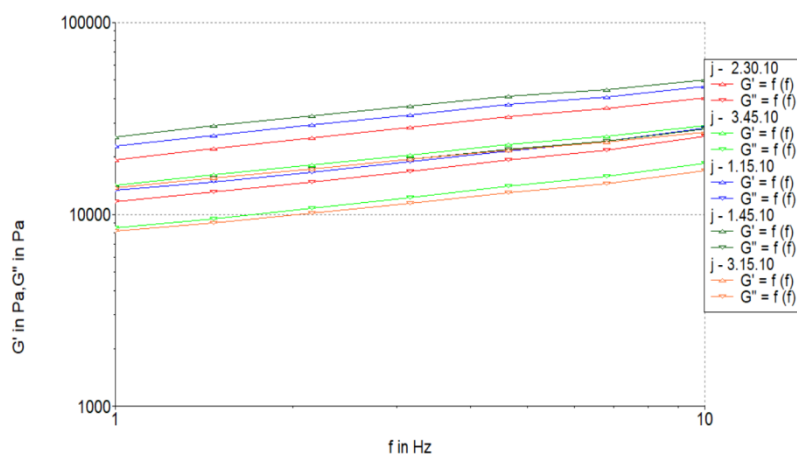
\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; JR1 –  $\eta_0$ ; JR2 –  $J_{max}$ ; JR3 – G'; JR4 – G"; JR5 –  $\tan \delta$



a)

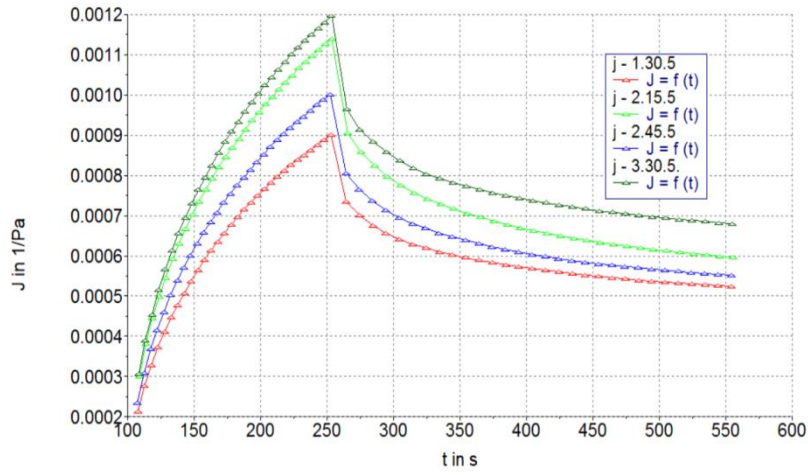


b)

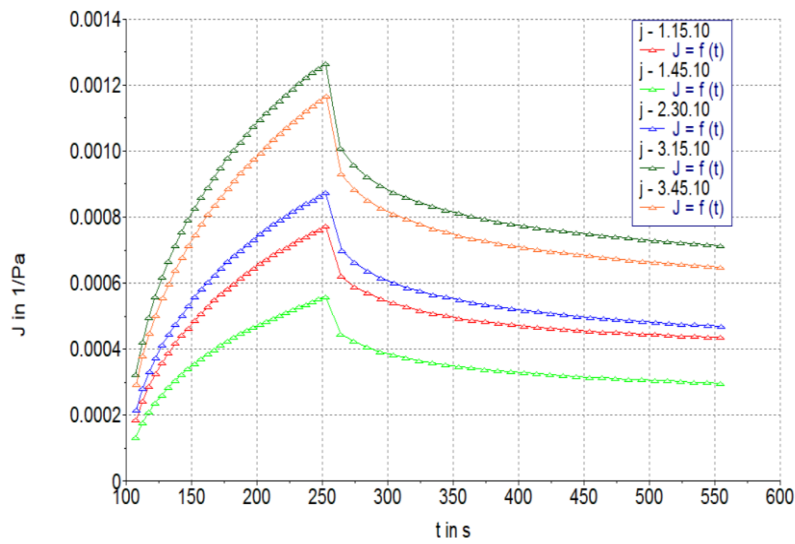


c)

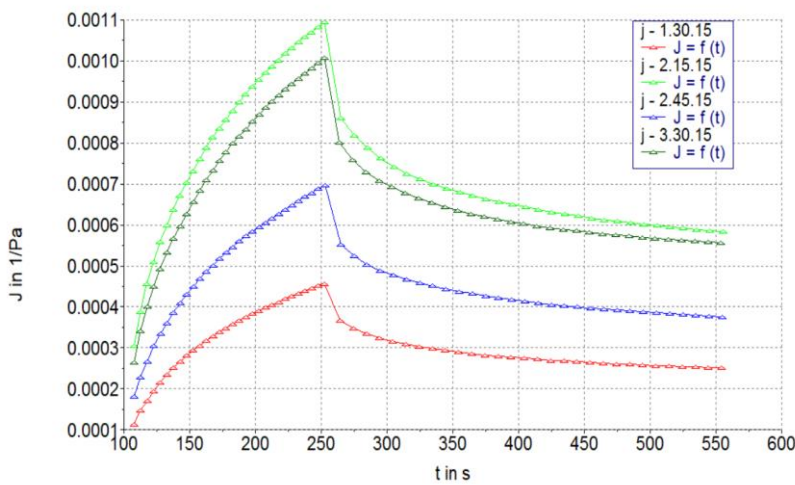
**Slika 3.27.** Promena modula elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ), u zavisnosti od frekvencije ( $f$ ), uzoraka testa sa: 5 % (a), 15 % (b) i 10 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom tropa jabuke



a)



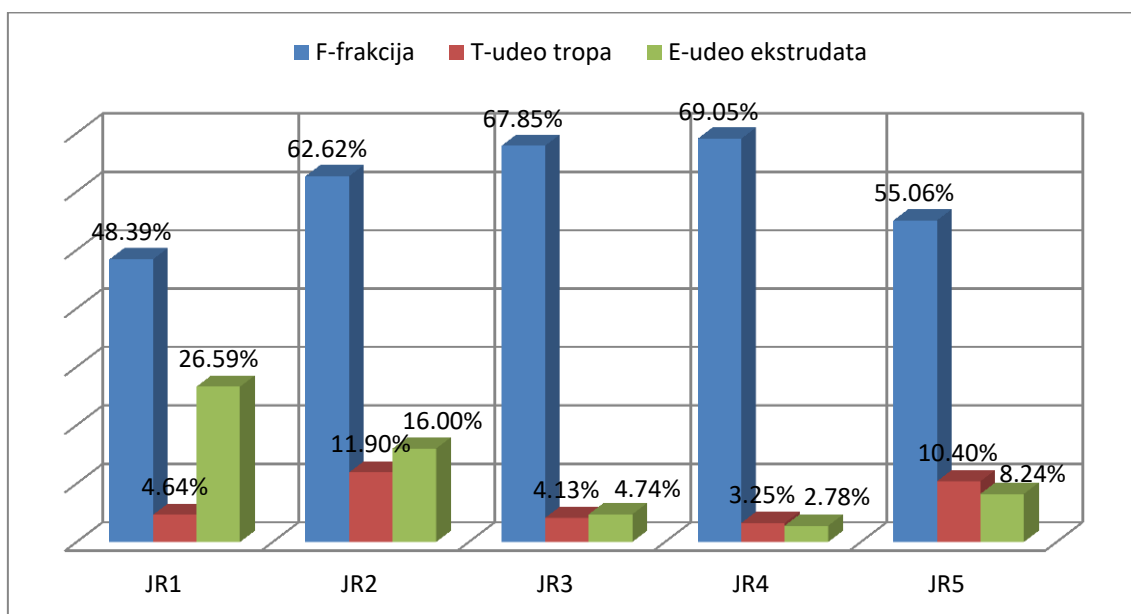
b)



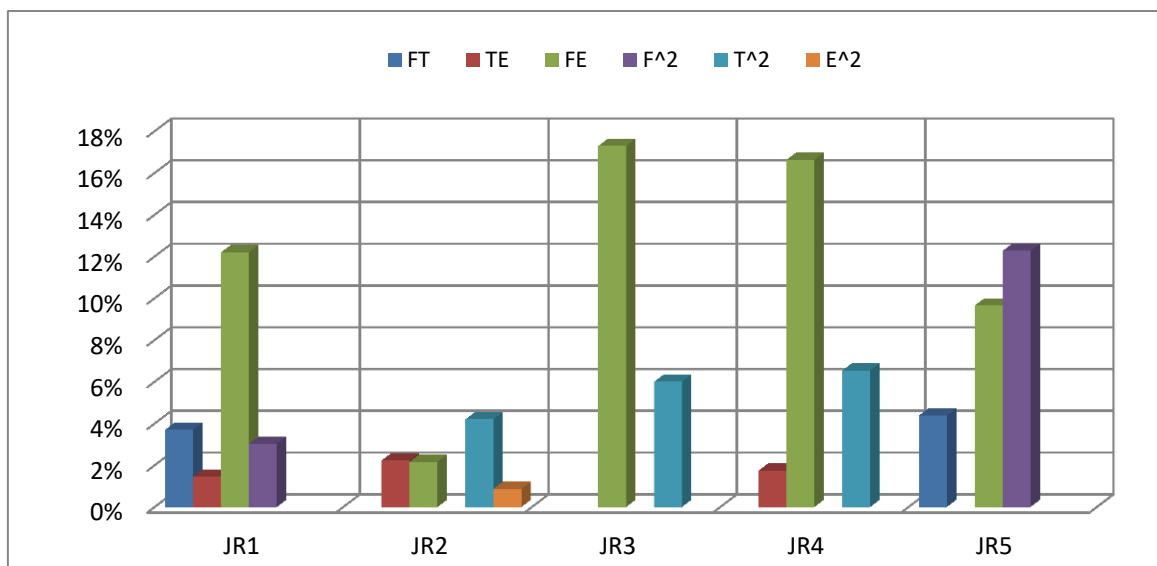
c)

**Slika 3.28.** Krive puzanja uzoraka testa sa: 5 % (a), 10 % (b) i 15 % (c) zamene pšeničnog brašna ekstrudatima kukuruzne krupice sa dodatkom tropa jabuke





**Slika 3.29.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JR1 –  $\eta_0$ ; JR2 –  $J_{max}$ ; JR3 –  $G'$ ; JR4 –  $G''$ ; JR5 –  $\tan \delta$ )



**Slika 3.30.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na reološke karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JR1 –  $\eta_0$ ; JR2 –  $J_{max}$ ; JR3 –  $G'$ ; JR4 –  $G''$ ; JR5 –  $\tan \delta$ )

Generalno, kod svih uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata, nezavisno od vrste sporednog proizvoda u ekstrudatu (pšenična klica, pivski trop ili trop jabuke), veličina čestica

ekstrudata (faktor  $F$ ) ima najveći uticaj na reološke karakteristike testa. Sa smanjenjem veličine čestica i udela ekstrudata dolazi do smanjenja  $J_{\max}$  vrednosti kod svih ispitivanih uzoraka testa što ukazuje na to da su uzorci koji su sadržali sitnije čestice ekstrudata (frakcija 3) imali manje fleksibilnu strukturu pri delovanju napona, tokom faze je bilo teže razrušiti, a isto tako nakon prestanka delovanja napona oporavljaju se sporije, što se može videti po izgledu drugog dela krivih puzanja (Slike 3.20, 3.24 i 3.28).

Viskozitet testa veoma zavisi od količine vode koja je dostupna sistemu i od sposobnosti njegovih komponenata da vezuju vodu. Moć upijanja vode predstavlja jednu od osnovnih karakteristika glutena i značajno utiče na njegovo ponašanje u reološkim testovima malih deformacija. Upotreba optimalne količine vode omogućava formiranje razvijenije glutenske strukture usled povećane mobilnosti molekula glutena (Dhanasekharan i sar., 2001). Blokma (1971) je pokazao da dodatak vode u formulaciju smanjuje viskozitet i povećava rastegljivost testa. Ukoliko sastojci testa nemaju dovoljno vode za hidrataciju i stvaranje kontinualne mreže, testo postaje krto, nepovezano. Kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata, za razliku od uzoraka sa dodatkom obezmašćene pšenične klice koji su ispitani u prvoj fazi eksperimentalnog rada, sa smanjenjem veličine čestica smanjuju se  $J_{\max}$  vrednosti, usled toga što uzorci ekstrudata sa sitnijim česticama imaju veću moć upijanja vode od onih sa krupnijim (de la Hera i sar., 2013). Sa druge strane, veći udeo vlakana i proteina koji je prisutan u ekstrudatima, u odnosu na pšenično brašno, kao i veći udeo preželatinizovanog skroba čiji se sadržaj povećava nakon ekstrudiranja (Jozinović, 2015), imaju veću sposobnost vezivanja vode. Pored toga, vlakna prisutna u ekstrudatima mogu da ometaju aglomeraciju glutena, smanje njegov prinos i širenje, fizički remete stvaranje matrice glutena, a takođe usled velike moći upijanja vode smanjuju količinu slobodne vode neophodne za razvoj glutena (Wang i sar., 2003). Voda koja se dodaje u testo iz tog razloga postaje delimično nedostupna za razvoj glutena, usled čega testo postaje tvrđe i pruža veći otpor delovanju napona.

Sposobnost testa da se oporavi nakon delovanja napona, odnosno vrednost  $J_e/J_{\max}$  (elastični deo  $J_{\max}$ ) kod svih uzoraka testa smanjuje se sa povećanjem udela sve tri vrste ekstrudata (Tabele 3.17, 3.19 i 3.21), odnosno dolazi do smanjenja broja elastičnih veza u testu.

### 3.2.2.2. Teksturalne karakteristike testa

Rezultati teksturalnih karakteristika uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice prikazani su u Tabeli 3.23.

**Tabela 3.23.** Box - Behnken eksperimentalni dizajn i dobijene izlazne veličine za teksturalne karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pšeničnom klicom

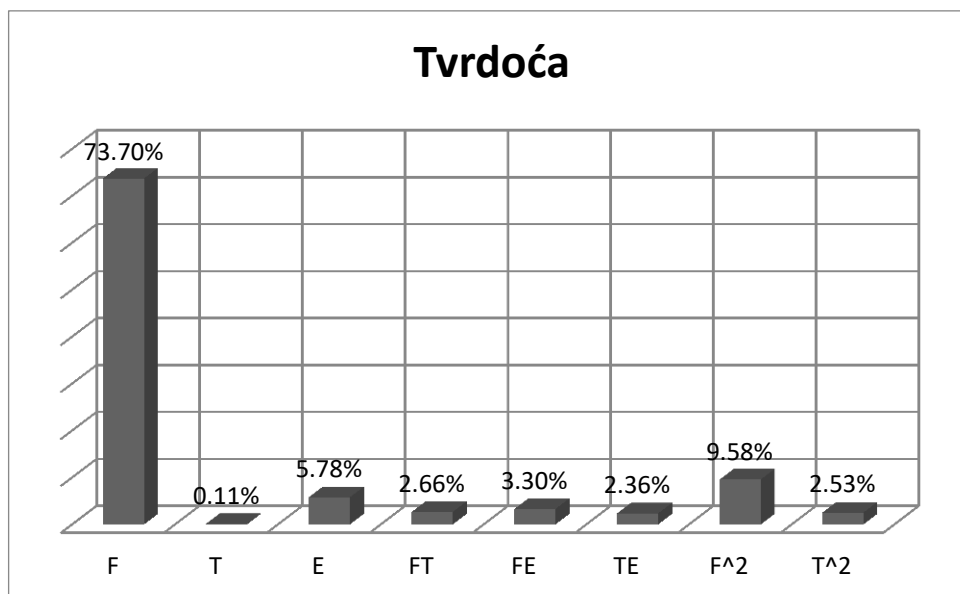
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori		
	F	T	E	KT1	KT2	KT3
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	8,93	10,50	0,59
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	15,70	15,37	1,01
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	15,69	13,21	1,32
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	14,52	16,00	0,72
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	11,74	11,91	0,85
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	9,20	12,74	0,81
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	9,41	12,12	0,78
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	11,39	13,51	0,72
<b>K-3.30.15</b>	3	30	15	7,45	9,66	0,73
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	18,33	13,73	0,76
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	4,40	6,83	1,08
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	14,27	12,63	0,97
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	8,84	12,49	0,66
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	11,79	12,97	0,70
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	10,45	11,98	0,78

KT1 - otpor pri rastezanju; KT2 – rastegljivost; KT3 – tvrdoća;

Što se tiče tvrdoće testa, kao što se može videti na Slici 3.31 i u Tabeli 3.24, faktor F (veličina čestica) ima najznačajniji uticaj (udeo uticaja faktora F je 73,70 %), odnosno tvrdoća testa se smanjuje sa povećanjem veličine čestica ovog ekstrudata (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor KT3 u Tabeli 3.24). Pored veličine čestica, i udeo ekstrudata ima statistički značajan uticaj ( $p < 0,05$ ) na tvrdoću testa. Sa povećanjem procenta zamene pšeničnog brašna ovim ekstrudatom povećava se tvrdoća testa (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_3$  u Tabeli 3.24).

Kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice, model se nije pokazao statistički značajnim, tj. ne može se odrediti metodom planiranja eksperimenta koji faktori imaju statistički značajan uticaj na vrednosti otpora pri rastezanju i rastegljivost testa. Na osnovu vrednosti datih u Tabeli 3.23, može se reći da veličina čestica ekstrudata (faktor F) ima uticaj na sva tri teksturalna parametra uzoraka testa. Sa povećanjem ovog faktora, dolazi do smanjenja otpora pri rastezanju (3.32a) i do smanjenja rastegljivosti testa (Slika 3.33a).

Povećanje udela sporednog proizvoda u ekstrudatu utiče na smanjenje otpora pri rastezanju i rastegljivosti testa (Slika 3.32b i 3.33b), dok faktor E (udeo ekstrudata u testu) ne utiče značajno na ove teksturalne karakteristike testa (Slika 3.32c i 3.33c).

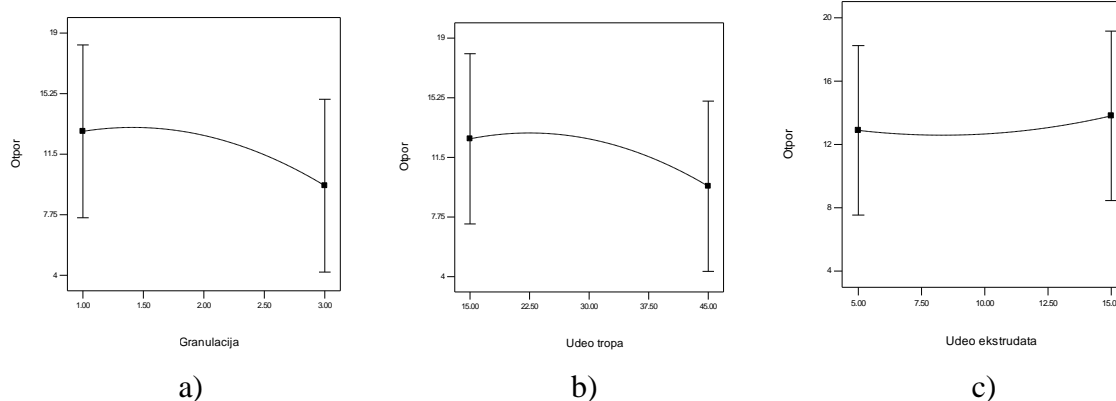


**Slika 3.31.** Uticaji ulaznih faktora (F, T, i E), interakcija faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata (F<sup>2</sup>, T<sup>2</sup> i E<sup>2</sup>) na tvrdoću testa za čajno pecivo sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pšeničnom klicom

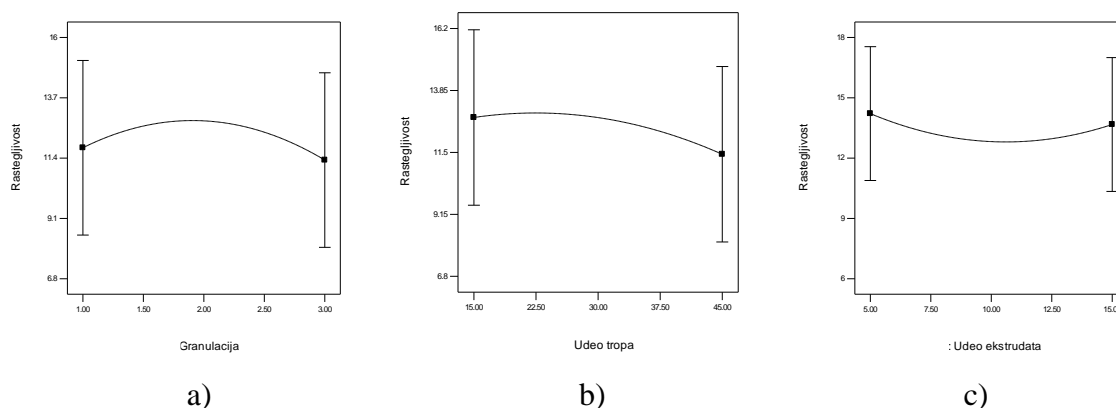
**Tabela 3.24.** Koeficijenti regresione jednačine za KT3

	KT3
$\beta_0$	82,35
$\beta_1$ (F)	-21,43***
$\beta_2$ (T)	-0,81
$\beta_3$ (E)	6*
$\beta_{12}$ (FT)	-5,75
$\beta_{13}$ (FE)	-6,41
$\beta_{23}$ (TE)	-5,42
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	11,33*
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	-5,82
R <sup>2</sup>	0,9585
Lack of Fit	0,1178

\*\*\*p<0,001; \*0,01<p<0,05; KT3 – tvrdoća



**Slika 3.32.** Uticaj ulaznih faktora na otpor pri rastezanju uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice: a) uticaj granulacije; b) uticaj udela tropa u ekstrudatu; c) uticaj udela ekstrudata



**Slika 3.33.** Uticaj ulaznih faktora na rastegljivost uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pšenične klice: a) uticaj granulacije; b) uticaj udela tropa u ekstrudatu; c) uticaj udela ekstrudata

Kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Tabela 3.45) najveći uticaj na sva tri teksturalna parametra ima veličina čestica ekstrudata, tj. faktor F (Tabela 3.26 i Slike 3.34 i 3.35). Sva tri teksturalna parametra (otpor pri rastezanju, rastegljivost i tvrdoća testa) smanjuju se sa povećanjem veličine čestica ekstrudata (negativni znaci koeficijenta  $\beta_1$  za sva tri odgovora u Tabeli 3.26). Tvrdoća testa statistički značajno zavisi i od udela ekstrudata u testu (faktor E) i povećava se sa povećanjem ovog udela (pozitivan znak koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor PT3 u Tabeli 3.26).

**Tabela 3.25.** Box - Behnken eksperimentalni dizajn i dobijene izlazne veličine za teksturalne karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pivskim tropom

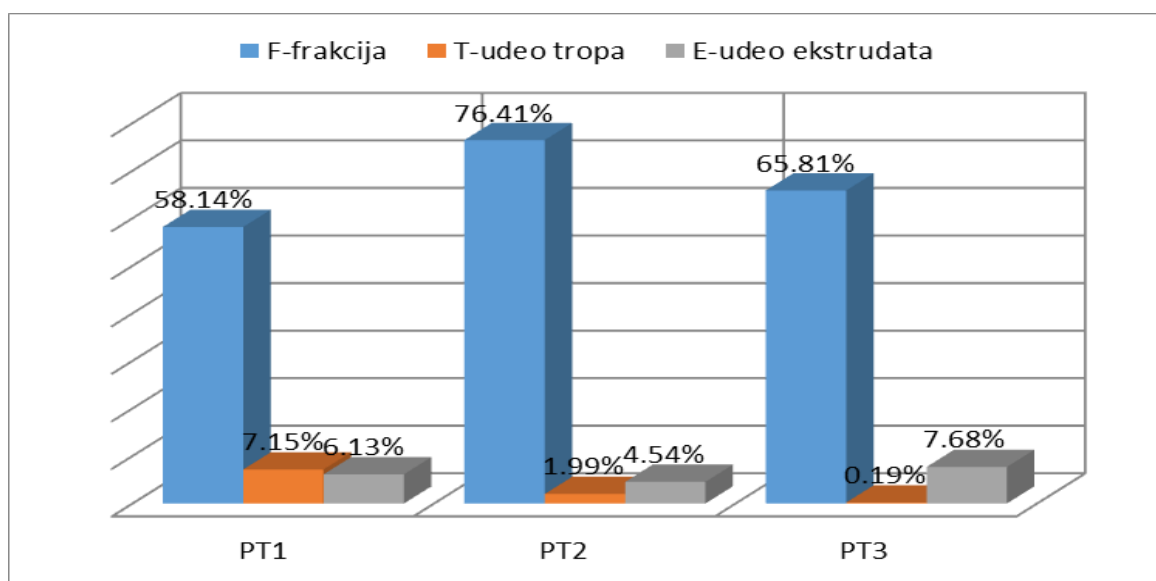
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori		
	F	T	E	PT1	PT2	PT3
<b>P-3.45.10</b>	3	45	10	13,01	9,64	1,05
<b>P-1.30.5</b>	1	30	5	20,95	9,81	1,40
<b>P-1.30.15</b>	1	30	15	10,54	3,05	1,02
<b>P-2.45.15</b>	2	45	15	6,95	2,84	0,91
<b>P-2.15.15</b>	2	15	15	9,29	6,54	0,71
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	9,31	6,24	0,78
<b>P-2.45.5</b>	2	45	5	7,26	2,62	0,77
<b>P-3.15.10</b>	3	15	10	8,85	3,88	0,75
<b>P-3.30.15</b>	3	30	15	8,09	4,31	0,75
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	15,23	7,65	1,20
<b>P-1.45.10</b>	1	45	10	12,58	7,62	1,09
<b>P-1.15.10</b>	1	15	10	7,57	3,63	0,78
<b>P-3.30.5</b>	3	30	5	8,22	4,99	0,91
<b>P-2.15.5</b>	2	15	5	8,64	5,05	0,87
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	13,01	9,64	1,05

PT1 - otpor pri rastezanju; PT2 – rastegljivost; PT3 – tvrdoća

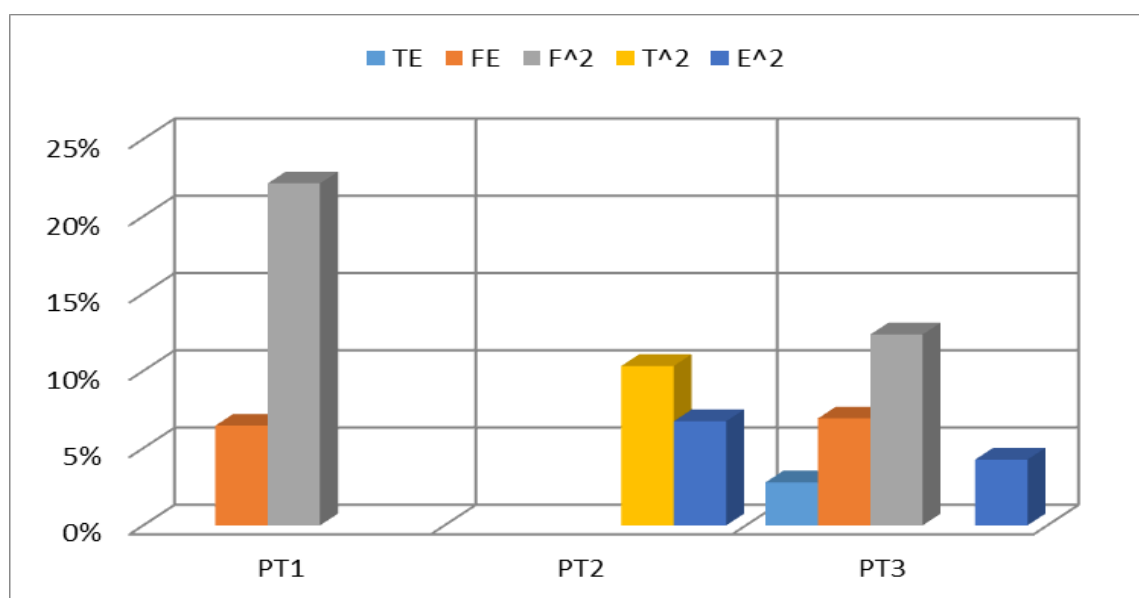
**Tabela 3.26.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore PT1-PT3

	PT1	PT2	PT3
$\beta_0$	8,72	5,35	82,29
$\beta_1$ (F)	-3,53***	-2,53***	-21,22***
$\beta_2$ (T)	1,24*	0,41	1,15
$\beta_3$ (E)	1,15	-0,62	7,25*
$\beta_{12}$ (FT)			
$\beta_{13}$ (FE)	-1,66		-9,73*
$\beta_{23}$ (TE)			6,17
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	3,19**	1,36*	13,5**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )		-1,1	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )			7,92
$R^2$	0,8834	0,8770	0,9415
<b>Lack of Fit</b>	0,1063	0,6706	0,7269

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; PT1 - otpor pri rastezanju; PT2 – rastegljivost; PT3 – tvrdoća;



**Slika 3.34.** Uticaji ulaznih efekata (F, T i E) na teksturalne karakteristike testa za čajno pecivo sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pivskim tropom (PT1 - otpor pri rastezanju; PT2 – rastegljivost; PT3 – tvrdoća)



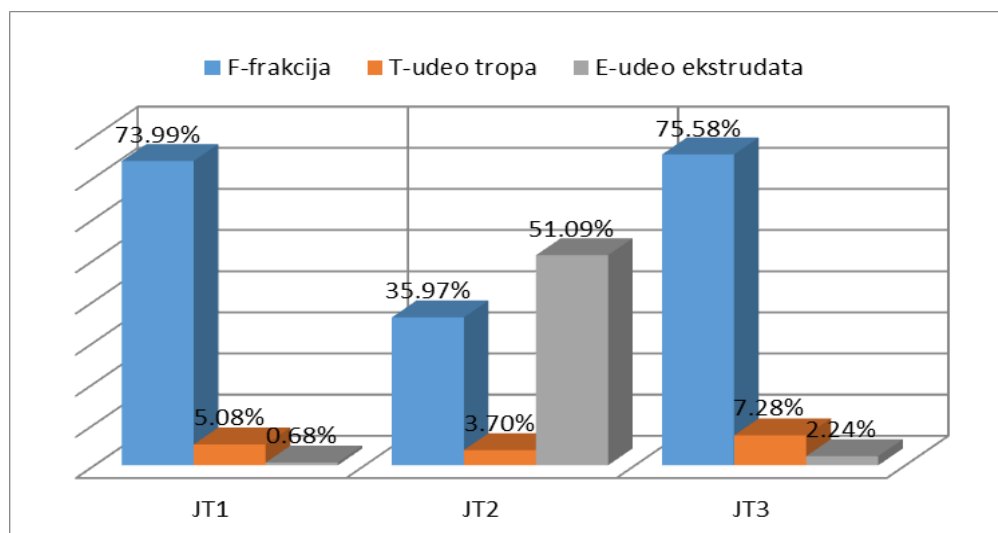
**Slika 3.35.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na teksturalne karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene pivskim tropom (PT1 - otpor pri rastezanju; PT2 – rastegljivost; PT3 – tvrdoća)

Rezultati ispitivanja teksturalnih karakteristika testa sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke prikazani su u Tabeli 3.27. Otpor pri rastezanju (JT1) i tvrdoća testa (JT3) kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke zavise u najvećoj meri od veličine čestica ekstrudata (Slike 3.36 i 3.37) i smanjuju su se sa povećanjem nivoa ovog faktora (negativna vrednost parametra  $\beta_1$  za oba odgovora u Tabeli 3.28).

**Tabela 3.27.** Box - Behnken eksperimentalni dizajn i dobijene izlazne veličine za teksturalne karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene tropom jabuke

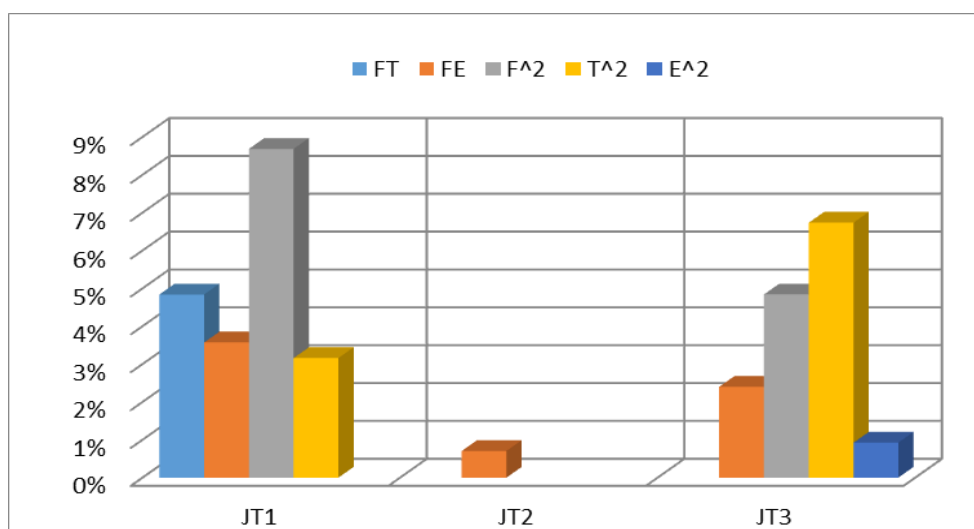
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori		
	F	T	E	JT1	JT2	JT3
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	9,14	11,20	0,63
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	24,91	17,82	1,15
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	31,78	11,97	1,28
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	10,19	7,67	0,90
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	6,70	4,70	0,65
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	10,87	12,76	0,78
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	13,76	15,70	0,77
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	8,56	9,48	0,57
<b>J-3.30.15</b>	3	30	15	5,63	4,14	0,63
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	16,61	13,19	0,85
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	31,13	14,11	1,10
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	17,52	13,82	0,89
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	9,95	9,42	0,64
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	12,58	13,12	0,65
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	17,52	12,94	0,82

JT1 - otpor pri rastezanju; JT2 – raste gljivost; JT3 – tvrdoća;



**Slika 3.36.** Uticaji ulaznih efekata (F, T i E) na teksturalne karakteristike testa za čajno pecivo sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene tropom jabuke (JT1 - otpor pri rastezanju; JT2 – raste gljivost; JT3 – tvrdoća)





**Slika 3.37.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na teksturalne karakteristike testa sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene tropom jabuke (JT1 – otpor pri rastezanju; JT2 – rastegljivost; JT3 – tvrdoća)

Na rastegljivost testa ovih uzoraka (JT2) najveći uticaj ima udeo ekstrudata u testu (faktor E) (51,09 %) kao što se može videti na Slici 3.36. Sa povećanjem udela ekstrudata, rastegljivost testa se smanjuje (negativan znak koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor JT2 u Tabeli 3.28). Pored udela ekstrudata i veličina čestica ekstrudata statistički značajno utiče na ove vrednosti i uticaj je negativan (Tabela 3.28), odnosno, rastegljivost testa se smanjuje sa porastom veličine čestica.

**Tabela 3.28.** Koeficijenti regresionih jednačina za odgovore JT1-JT3

	JT1	JT2	JT3
$\beta_0$	14,16	12,92	83,21
$\beta_1$ (F)	-9,01***	-3,33***	-26,46***
$\beta_2$ (T)	2,36	1,07	8,21*
$\beta_3$ (E)	-0,86	-3,97***	4,55
$\beta_{12}$ (FT)	-3,26		
$\beta_{13}$ (FE)	-2,8	-0,66	-6,67
$\beta_{23}$ (TE)			
$\beta_{11}$ ( $F^2$ )	4,53*	-0,68	9,85*
$\beta_{22}$ ( $T^2$ )	-2,73		-11,63*
$\beta_{33}$ ( $E^2$ )		-2,29*	4,31
$R^2$	0,9205	0,9110	0,9429
Lack of Fit	0,6476	0,1227	0,1519

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; JT1 - otpor pri rastezanju; JT2 – rastegljivost; JT3 – tvrdoća;

Kao i kod reoloških karakteristika testa, veličina čestica generalno ima najveći uticaj na teksturalne karakteristike kod svih uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata, bez obzira na vrstu ekstrudata, usled različitog afiniteta prema vodi čestica ekstrudata u odnosu na čestice brašna, kao i fizičkog ometanja kontinualne mreže glutena krupnijim česticama dodatih ekstrudata, kao što je već rečeno u odeljku **3.2.2.1**.

Kada se pogledaju sve vrednosti ovih parametara u Tabelama 3.23, 3.25 i 3.27, vidi se da najveće vrednosti za tvrdoću testa (od 0,75 do 1,40 N) kao i najmanje vrednosti za rastegljivost testa (od 2,62 do 9,81 mm) imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, u odnosu na vrednosti ovih parametara kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (tvrdoća od 0,57 do 1,28 N i rastegljivost od 4,14 do 15,70 mm) i pšenične klice (tvrdoća od 0,59 do 1,08 N i rastegljivost od 6,83 do 15,37 mm). Ekstrudati pivskog tropa kao što se može videti u Tabeli 3.13 (hemijski sastav ekstrudata) sadrže veći udeo proteina i vlakana u poređenju sa ekstrudatima pšenične klice i tropa jabuke. Kapacitet vezivanja vode komponenta testa zavisi uglavnom od sastava brašna i povećava se sa povećanjem udela proteina, vlakana i preželatinizovanog skroba (Dexter i sar., 1994). Pored toga, proces ekstrudiranja dovodi do želatinizacije skroba i povećanja sadržaja oštećenog skroba u ekstrudatu (Camire i sar., 1990). Zamena pšeničnog brašna ekstrudatima, bez obzira na vrstu ekstrudata, dovodi do smanjenja rastegljivosti testa i povećanja tvrdoće testa, jer se preželeatinizovan skrob u ekstrudatima poreklom iz kukuruzne krupice takođe takmiči za vodu sa glutenom, što dovodi do smanjenja hidratacije glutena i uzrokuje veću tvrdoću testa (Gómez i sar., 2011).

Sudha i saradnici (2007) došli su do zaključka da se tvrdoća testa povećava sa povećanjem udela tropa jabuke u testu, a do istog zaključka došli su i Ktenioudaki i saradnici (2013) koji su ispitivali reološke karakteristike testa sa dodatkom pivskog tropa i tropa jabuke i zaključili da je sa povećanjem procenta zamene pšeničnog brašna pivskim tropom i tropom jabuke, testo postajalo više kao čvrsta supstanca i imalo manju tendenciju ka proticanju; vrednosti  $\tan \delta$  povećavale su se kako se procenat supstitucije povećavao, takođe ukazujući na smanjenje elastičnosti testa; rastegljivost testa se značajno smanjivala sa povećanjem udela sporednih proizvoda, a testo je postajalo manje fleksibilno i kruto, što je u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju, za uzorke testa sa dodatkom ekstrudata ovih sporednih proizvoda.

### 3.2.3. Karakteristike čajnog peciva

#### 3.2.3.1. Hemijske karakteristike čajnog peciva

Dodatak ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenih pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke utiče na poboljšanje hemijskih karakteristika čajnog peciva. Dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa značajno se povećava udeo proteina i prehrambenih vlakana u čajnom pecivu, što se može videti u Tabelama 3.29 i 3.30. Na Slikama 3.38 – 3.41 se jasno može videti da faktor T (udeo tropa u ekstrudatu) ima značajan uticaj na udeo ukupnih i nerastvorljivih vlakana, kao i proteina u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom ove dve vrste ekstrudata.

**Tabela 3.29.** Box- Behnken dizajn eksperimenta i hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom

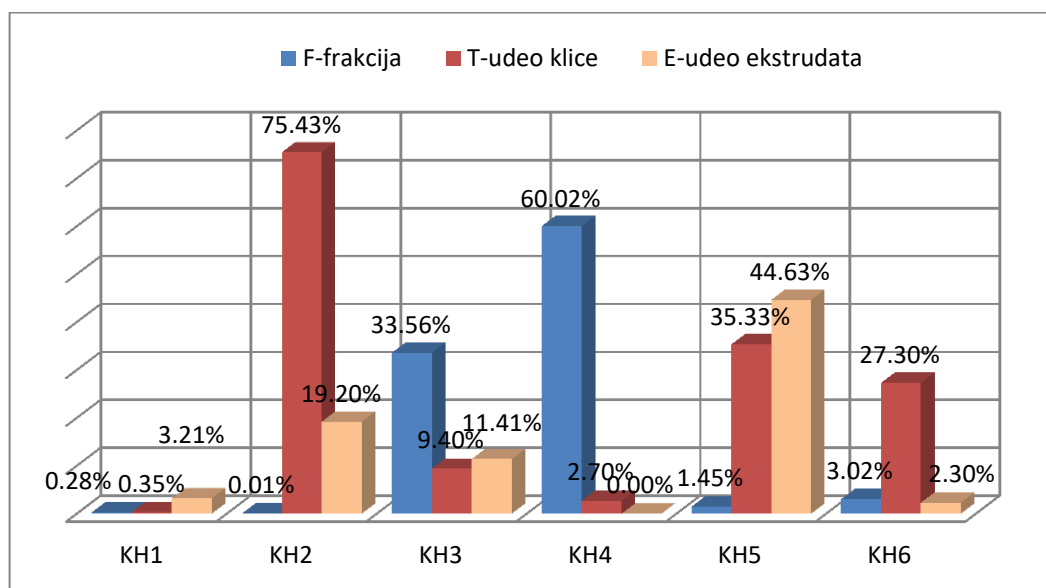
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	KH1	KH2	KH3	KH4	KH5	KH6
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	1,03	8,42	13,21	0,65	3,06	2,95
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	1,50	7,88	13,31	0,34	2,70	2,64
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	1,65	8,07	12,53	0,42	3,02	2,93
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	1,85	8,43	13,04	0,57	3,52	3,21
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	1,35	7,99	13,68	0,35	2,86	1,63
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	0,83	8,03	13,82	0,67	2,86	2,46
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	1,17	8,11	13,38	0,45	2,81	2,28
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	1,88	7,77	13,90	0,60	2,87	2,73
<b>K-3.30.15</b>	3	30	15	1,56	7,99	13,54	0,72	3,08	2,96
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	0,95	8,02	13,75	0,65	2,80	2,11
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	1,79	8,28	13,50	0,44	3,10	2,80
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	1,47	7,75	13,08	0,34	2,82	2,20
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	1,75	7,78	13,77	0,69	2,86	2,64
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	1,35	7,64	13,51	0,58	2,71	2,55
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	1,00	7,96	13,68	0,67	2,95	2,44

KH1:vlaga; KH2:proteini; KH3:mast; KH4:pepeo; KH5:ukupna vlakna; KH6:nerastvorljiva vlakna

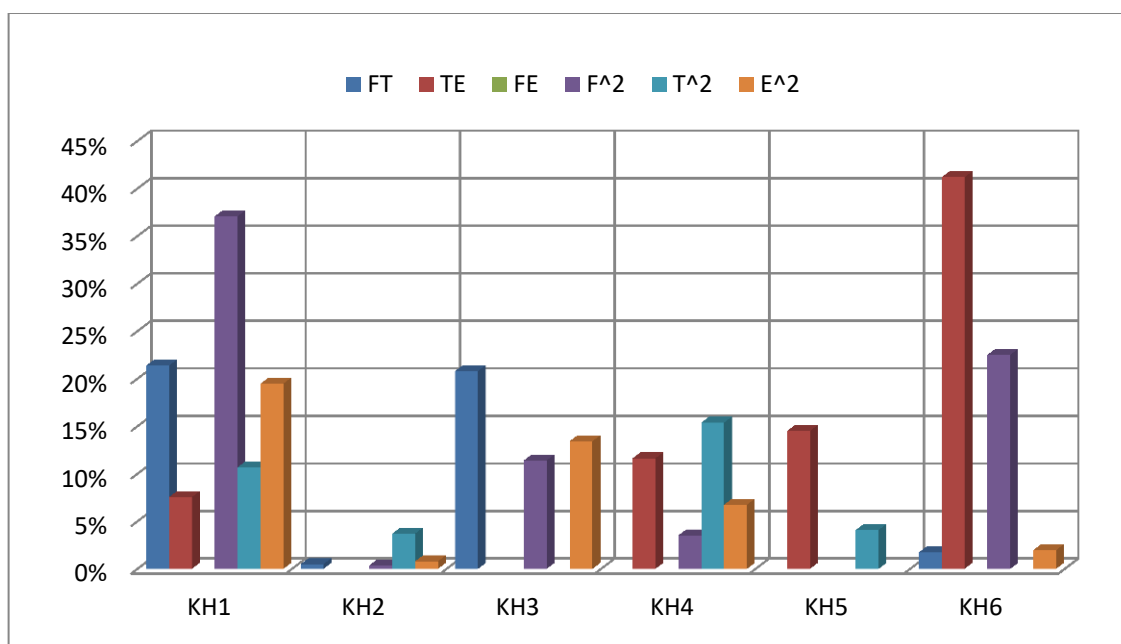
**Tabela 3.30.** Box- Behnken dizajn eksperimenta i hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5	PH6
<b>P-3.45.10</b>	3	45	10	1,48	7,64	13,89	0,80	6,05	5,86
<b>P-1.30.5</b>	1	30	5	2,51	6,98	13,65	0,77	4,69	4,10
<b>P-1.30.15</b>	1	30	15	0,93	7,21	14,11	0,81	6,20	6,05
<b>P-2.45.15</b>	2	45	15	1,32	7,48	13,86	0,84	7,07	6,74
<b>P-2.15.15</b>	2	15	15	1,89	6,93	13,50	0,79	4,50	4,02
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	1,22	7,27	13,87	0,80	5,30	4,71
<b>P-2.45.5</b>	2	45	5	1,68	7,43	13,84	0,77	5,14	4,86
<b>P-3.15.10</b>	3	15	10	1,27	7,13	13,63	0,78	4,20	3,99
<b>P-3.30.15</b>	3	30	15	2,02	7,60	13,53	0,81	5,94	4,78
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	1,18	7,21	13,74	0,20	5,21	4,65
<b>P-1.45.10</b>	1	45	10	1,28	7,43	14,21	0,79	5,96	5,48
<b>P-1.15.10</b>	1	15	10	0,99	6,99	14,03	0,76	4,40	4,21
<b>P-3.30.5</b>	3	30	5	2,10	7,34	13,59	0,78	4,70	4,59
<b>P-2.15.5</b>	2	15	5	1,38	7,15	13,81	0,75	4,10	3,58
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	1,25	7,25	13,82	0,76	5,38	4,78

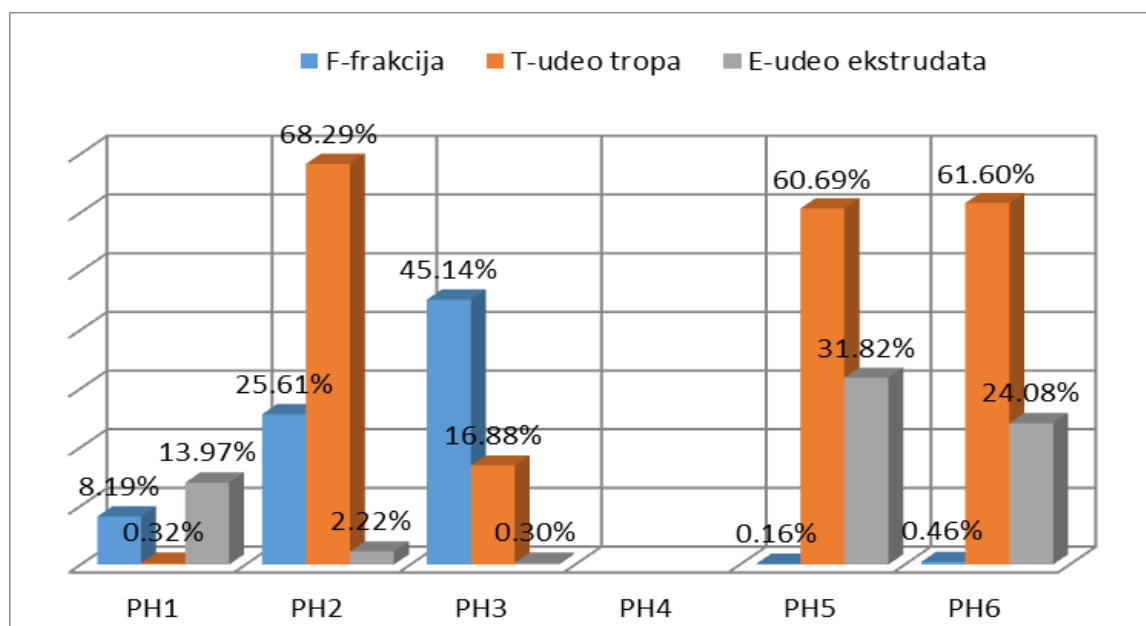
PH1:vlaga; PH2:proteini; PH3:mast; PH4:pepeo; PH5:ukupna vlakna; PH6:nerastvorljiva vlakna



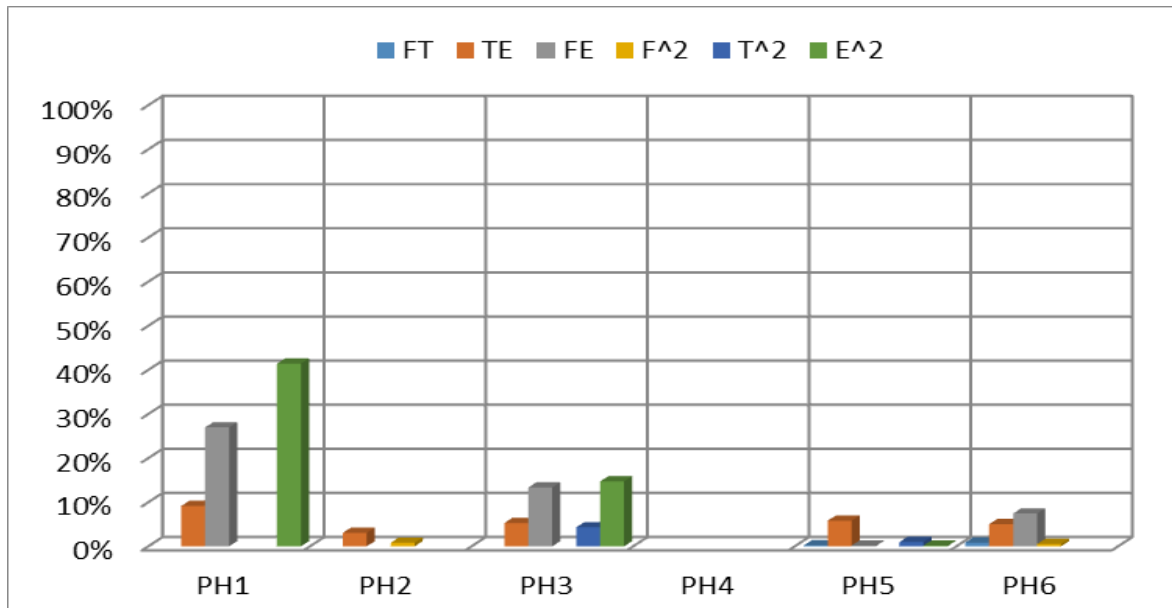
**Slika 3.38.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (KH1 – vlaga; KH2 – proteini; KH3 – mast; KH4 – pepeo; KH5 – ukupna vlakna; KH6 – nerastvorljiva vlakna)



**Slika 3.39.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata (F<sup>2</sup>, T<sup>2</sup> i E<sup>2</sup>) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (KH1 – vlaga; KH2 – proteini; KH3 – mast; KH4 – pepeo; KH5 – ukupna vlakna; KH6 – nerastvorljiva vlakna)



**Slika 3.40.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PH1:vlaga; PH2:proteini; PH3:mast; PH4:pepeo; PH5:ukupna vlakna; PH6:nerastvorljiva vlakna)



**Slika 3.41.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PH1:vlaga; PH2:proteini; PH3:mast; PH4:pepeo; PH5:ukupna vlakna; PH6:nerastvorljiva vlakna)

Povećanjem udela pšenične klice i pivskog tropa u ekstrudatima i povećanjem udela ekstrudata pri proizvodnji uzoraka čajnog peciva povećava se i sadržaj proteina i ukupnih vlakana (pozitivan znak vrednosti koeficijenata  $\beta_2$  i  $\beta_3$  za parametre KH2 i KH5, odnosno PH2 i PH5 u Tabelama 3.31 i 3.32). Udeo proteina u uzorcima čajnog peciva podjednako se povećava i sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa kao i sa dodatkom ekstrudata pšenične klice, dok je povećanje sadržaja prehrambenih vlakana izraženije prilikom dodatka ekstrudata obogaćenih pivskim tropom (uzorak sa najvećim udelom sporednog proizvoda i najvećim udelom ekstrudata, P-2.45.15, ima 7,07% ukupnih vlakana (Tabela 3.30)).

Ovi rezultati bili su očekivani s obzirom na to da i pšenična klica i pivski trop sadrže značajnu količinu proteina i prehrambenih vlakana (Tabela 3.13). Na osnovu statističke analize dobijenih rezultata utvrđeno je da veličina čestica ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa (faktor F) nema značajan uticaj na hemijski sastav čajnog peciva, osim na sadržaj masti i pepela (Slike 3.38 - 3.41), što je takođe očekivano, jer ovaj parametar ima uticaj i na sadržaj masti u različitim frakcijama samih ekstrudata, što se može videti u Tabeli 3.13 gde je prikazan hemijski sastav ekstrudata.

**Table 3.31.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore KH1-KH6

	<b>KH1</b>	<b>KH2</b>	<b>KH3</b>	<b>KH4</b>	<b>KH5</b>	<b>KH6</b>
$\beta_0$	0,93	8	13,68	0,66	2,89	2,32
$\beta_1$ (F)	-0,024	-2,50E-03	0,25**	0,14***	0,031	0,089
$\beta_2$ (T)	-0,026	0,26***	-0,13	0,03	0,15***	0,27**
$\beta_3$ (E)	0,08	0,13**	-0,15	0	0,17***	0,078
$\beta_{12}$ (FT)	-0,29*	0,03	-0,28*			-0,095
$\beta_{13}$ (FE)						
$\beta_{23}$ (TE)	0,17			0,087**	0,14**	0,46**
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	0,4**	-0,027	-0,21	-0,05*		0,36**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	0,22	0,085*		-0,11**	0,076	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	0,29*	-0,04	-0,23	-0,07*		0,1
$R^2$	0,8630	0,9537	0,7761	0,9549	0,9151	0,9073
<b>Lack of Fit</b>	0,1274	0,1649	0,0681	0,0543	0,5986	0,7064

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; KH1:vlaga; KH2:proteini; KH3:mast; KH4:pepeo; KH5:ukupna vlakna; KH6:nerastvorljiva vlakna

**Table 3.32.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore PH1-PH6

	<b>PH1</b>	<b>PH2</b>	<b>PH3</b>	<b>PH4</b>	<b>PH5</b>	<b>PH6</b>
$\beta_0$	1,25	7,25	13,84		5,31	4,76
$\beta_1$ (F)	0,14	0,14**	-0,17**		-0,045	-0,078
$\beta_2$ (T)	0,029	0,22***	0,1*		0,88***	0,89***
$\beta_3$ (E)	-0,19	0,04	0,014		0,64***	0,56***
$\beta_{12}$ (FT)					0,073	0,15
$\beta_{13}$ (FE)	0,37*		-0,13*		-0,067	-0,44**
$\beta_{23}$ (TE)	-0,22	0,068	0,083		0,38***	0,36**
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )		0,036				0,12
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )			0,078		-0,16*	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	0,48*		-0,14*		0,067	
$R^2$	0,7407	0,8714	0,8667		0,9956	0,9784
<b>Lack of Fit</b>	0,1011	0,2722	0,2486		0,5381	0,0901

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; PH1:vlaga; PH2:proteini; PH3:mast; PH4:pepeo; PH5:ukupna vlakna; PH6:nerastvorljiva vlakna

Sa porastom veličine čestica ekstrudata, smanjuje se sadržaj masti u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom pivskog tropa (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor PH3 u Tabeli 3.32). Ekstrudati su proizvodi sa relativno malim sadržajem masti, tako da procenat zamene pšeničnog brašna ekstrudatom (faktor E) ne utiče značajno na sadržaj masti u čajnom pecivu ( $p > 0,05$ ). Od svih ekstrudata sa dodatkom sve tri vrste sporednih proizvoda (pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke), najveći sadržaj masti imaju ekstrudati sa dodatkom pivskog tropa u procentu od 45% na bazi zamene pšeničnog brašna (P - 45), tako da i uzorci čajnog

peciva sa dodatkom ovog ekstrudata imaju najveći sadržaj masti, u odnosu na uzorke čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i tropa jabuke.

Kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata obogaćenih tropom jabuke, model se nije pokazao kao statistički značajan, tj. ne može se odrediti metodom planiranja eksperimenta koji faktori imaju statistički značajan uticaj na sadržaj proteina u uzorcima čajnog peciva. Međutim, na osnovu dobijenih vrednosti za hemijski sastav uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke u Tabeli 3.33, može se videti da zamena pšeničnog brašna ekstrudatima tropa jabuke (5 – 15 %), ima nešto drugačiji uticaj na sadržaja proteina u uzorcima čajnog peciva (odgovor JH2) u odnosu na dodatak ekstrudata pivskog tropa i pšenične klice.

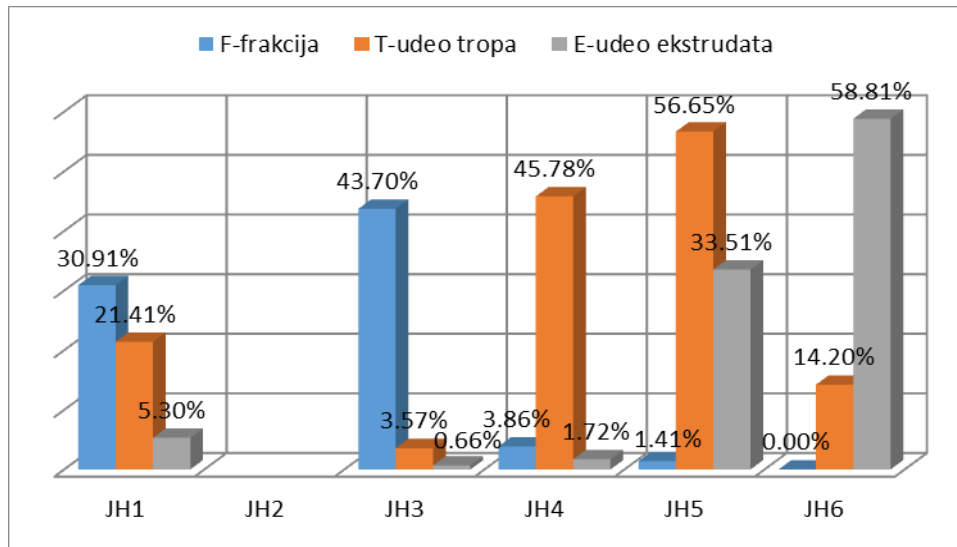
**Tabela 3.33.** Box- Behnken dizajn eksperimenta i hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	JH1	JH2	JH3	JH4	JH5	JH6
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	4,42	4,84	13,20	0,60	4,56	2,11
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	4,61	5,29	13,21	0,50	3,91	1,65
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	4,86	4,05	13,42	0,51	4,80	2,10
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	4,76	4,98	13,33	0,46	5,42	3,56
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	4,80	4,40	13,12	0,43	4,06	2,80
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,49	4,75	13,35	0,47	4,36	2,20
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	4,85	5,23	13,16	0,51	4,31	2,82
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	4,37	4,74	13,18	0,43	3,37	2,49
<b>J-3.30.15</b>	3	30	15	4,64	5,04	12,87	0,42	4,58	3,03
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,54	4,79	13,27	0,45	4,30	2,10
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	5,10	4,69	13,48	0,50	4,60	2,80
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	4,50	4,86	13,36	0,49	3,82	2,70
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	4,58	5,19	13,26	0,46	3,96	1,64
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	4,58	5,24	13,23	0,41	3,51	1,31
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	4,59	4,72	13,22	0,49	4,45	2,10

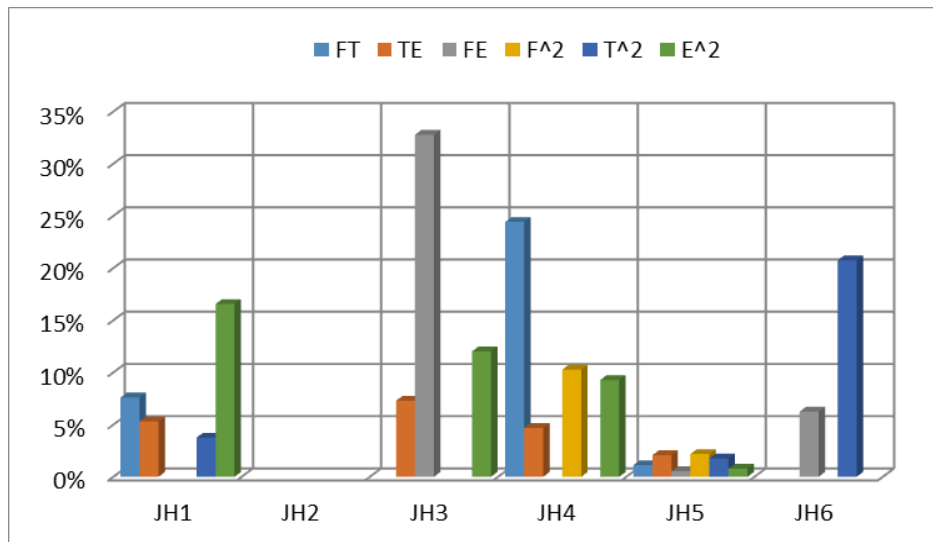
JH1:vlaga; JH2:proteini; JH3:mast; JH4:pepeo; JH5:ukupna vlakna; JH6:nerastvorljiva vlakna

Povećanje udela ovog ekstrudata u uzorcima čajnog peciva generalno dovodi do smanjenja sadržaja proteina (Tabela 3.33) u odnosu na kontrolni uzorak koji je napravljen samo od pšeničnog brašna, koji ima sadržaj proteina 5,49 % (Tabela 3.6). Ovo smanjenje je posledica malog sadržaja proteina u samom tropu jabuke. Dodatak ekstrudata obogaćenih tropom jabuke ima značajan uticaj na povećanje sadržaja ukupnih vlakana u čajnom pecivu i na povećanje udela nerastvorljivih vlakana (JH6) u ukupnoj masi vlakana, kao što se može videti na Slici 3.42.





**Slika 3.42.** Uticaji ulaznih faktora (F, T i E) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JH1:vlaga; JH2:proteini; JH3:mast; JH4:pepeo; JH5:ukupna vlakna; JH6:nerastvorljiva vlakna)



**Slika 3.43.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata (F<sup>2</sup>, T<sup>2</sup> i E<sup>2</sup>) na hemijske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JH1:vlaga; JH2:proteini; JH3:mast; JH4:pepeo; JH5:ukupna vlakna; JH6:nerastvorljiva vlakna)

Generalno, trop jabuke sadrži dobro izbalansiran odnos nerastvorljivih i rastvorljivih prehrambenih vlakana (2:1), a takođe i sam proces ekstrudiranja povoljno utiče na ovaj odnos (Jozinović, 2015). Ovaj optimalan odnos nerastvorljivih i rastvorljivih vlakana se zadržao i u uzorcima čajnog peciva koji sadrže ekstrudate tropa jabuke (Tabela 3.33). Na povećanje sadržaja vlakana u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, značajan uticaj imaju i faktor T i faktor E, odnosno sadržaj vlakana povećava se i sa povećanjem udela ekstrudata u čajnom pecivu i sa povećanjem udela tropa jabuke u ekstrudatu (pozitivne vrednosti koeficijenata  $\beta_2$  i  $\beta_3$  za odgovore JH5 i JH6 u Tabeli 3.34).

**Tabela 3.34.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore JH1-JH6

	JH1	JH2	JH3	JH4	JH5	JH6
$\beta_0$	4,53		13,29	0,47	4,37	2,13
$\beta_1$ (F)	-0,13**		-0,12***	-0,011	-0,081*	2,88E-03
$\beta_2$ (T)	0,11*		0,035	0,039**	0,52***	0,25
$\beta_3$ (E)	0,055		-0,015	-7,50E-03	0,4***	0,51***
$\beta_{12}$ (FT)	-0,14*			0,04*	0,1*	
$\beta_{13}$ (FE)			-0,15***		-0,07	0,23
$\beta_{23}$ (TE)	-0,077		0,07*	-0,018	0,14*	
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )				0,027	-0,15*	
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	0,067				-0,13*	0,44
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	0,14*		-0,094**	-0,026	0,089	
$R^2$	0,8491		0,9297	0,8273	0,9916	0,6969
Lack of Fit	0,1497		0,8071	0,3220	0,4838	0,1361

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; JH1:vlaga; JH2:proteini; JH3:mast; JH4:pepeo; JH5:ukupna vlakna; JH6:nerastvorljiva vlakna

Sadržaj ukupnih vlakana u uzorcima čajnog peciva je najveći kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (najveća vrednost 7,07 %), a najmanji kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (najveća vrednost 3,52 %), dok je udeo rastvorljivih vlakana u ukupnoj masi vlakana najveći kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata obogaćenih tropom jabuke. Prema Regulativi o zdravstvenim izjavama (Regulation (EC) No 1924 (2006)) i Pravilniku o deklarisanju i označavanju upakovanih namirnica (Sl. glasnik RS, 85/2013), hrana može da nosi izjavu „izvor vlakana” ili „sadrži vlakna” ako proizvod sadrži više od 3 g prehrambenih vlakana na 100 g proizvoda ili više od 1,5 g prehrambenih vlakana na 100 kcal proizvoda, odnosno „visoko bogata vlaknima“ ukoliko sadrži najmanje 6 g vlakana na 100 g proizvoda. Prema rezultatima ovog istraživanja, svi uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa i tropa jabuke i neki uzorci sa dodatkom ekstrudata pšenične klice mogu nositi izjavu „izvor vlakana“, dok neki uzorci sa većim udelom ekstrudata pivskog tropa u čajnom pecivu i većim udelom ovog tropa u ekstrudatu mogu biti i nosioci izjave „visoko bogati vlaknima“ (uzorci P-3.45.10, P-1.30.15, P-2.45.15).

Sadržaj pepela, odnosno mineralnih materija u čajnom pecivu sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i tropa jabuke, povećava se proporcionalno povećanju udela sporednih proizvoda u ekstrudatu (faktor T) (Tabele 3.29 i 3.33). Kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata obogaćenog pivskim tropom, model se nije pokazao kao statistički značajan, tj. ne može se odrediti metodom planiranja eksperimenta koji faktori imaju statistički značajan uticaj na sadržaj pepela u uzorcima čajnog peciva.

Na osnovu svih rezultata hemijske analize uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice, pivskog tropa i tropa jabuke, može se videti da dodatak sve tri vrste ekstrudata uzrokuje povećanje sadržaja vlakana, proteina i mineralnih materija u uzorcima čajnog peciva. Pored toga, proces ekstrudiranja utiče povoljno na odnos rastvorljivih i nerastvorljivih vlakana, na svarljivost proteina i skroba i druge promene koje su opisane detaljnije u teorijskom delu ove disertacije.

### 3.2.3.2. Fizičke karakteristike čajnog peciva

#### *Tvrdoća čajnog peciva*

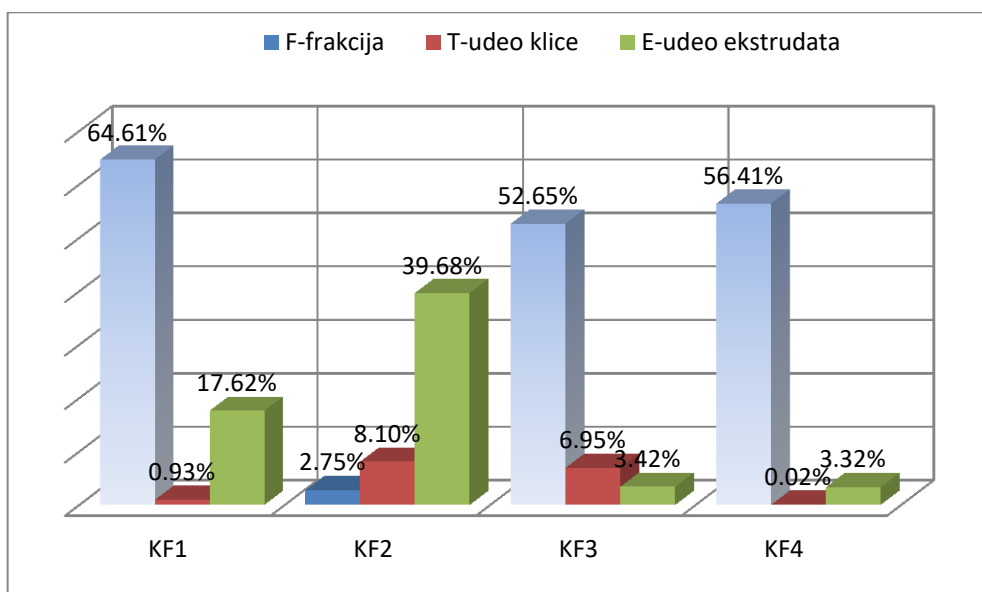
Rezultati tvrdoće i parametara boje čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (odgovor KF1), prikazani su u Tabeli 3.35.

**Tabela 3.35.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i fizičke karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom

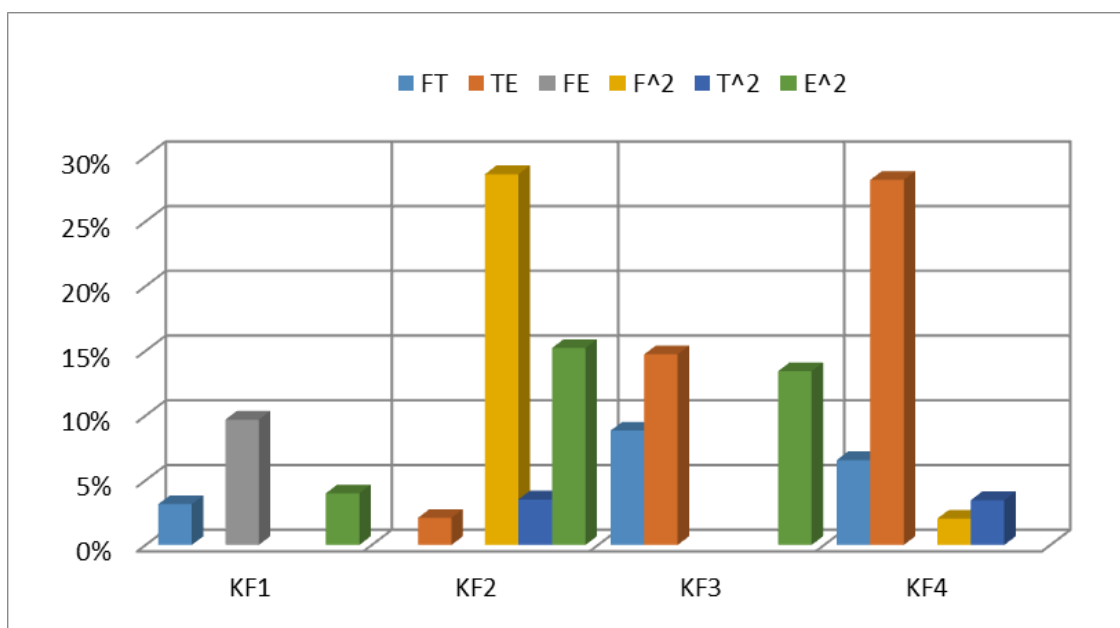
Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori				
	F	T	E	KF1	KF2	KF3	KF4	$\Delta E$
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	162,32	77,23	1,54	25,48	6,13
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	200,58	77,33	4,27	28,75	9,36
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	299,71	75,17	5,63	27,93	9,49
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	264,62	76,73	1,79	21,80	4,99
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	239,93	77,56	4,03	27,23	8,18
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	224,58	80,99	1,21	23,70	5,18
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	172,59	79,24	3,54	28,32	8,73
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	176,58	78,53	0,30	22,67	4,78
<b>K-3.30.15</b>	3	30	15	153,60	77,10	1,02	22,11	4,80
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	222,89	81,17	1,17	24,02	5,30
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	326,83	78,47	2,23	26,39	6,90
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	273,19	79,28	2,44	28,09	8,18
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	173,37	80,83	0,71	22,16	4,75
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	184,42	82,18	0,85	24,39	5,41
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	225,62	81,03	1,05	23,83	5,20

KF1:Tvrdoća; KF2:  $L^*$  (svetloća); KF3: $a^*$  (udeo crvenog/zelenog tona); KF4: $b^*$  (udeo žutog/plavog tona)

Na Slici 3.44 može se videti da faktor F (veličina čestica dodatnog ekstrudata) ima najveći uticaj (64,61 %) na tvrdoću čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (odgovor KF1). Značajan uticaj ima i udeo ekstrudata (faktor E), kao i interakcija ova dva faktora (Slika 3.45). Takođe, ova dva faktora F i E imaju značajan uticaj na tvrdoću čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Tabela 3.36, odgovor PF1), s tim što je u ovom slučaju uticaj faktora F još izraženiji (76,18%) (Slika 3.46), nego kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice.



**Slika 3.44.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora (F, T i E) na tvrdoću (KF1) i boju (KF2-KF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom

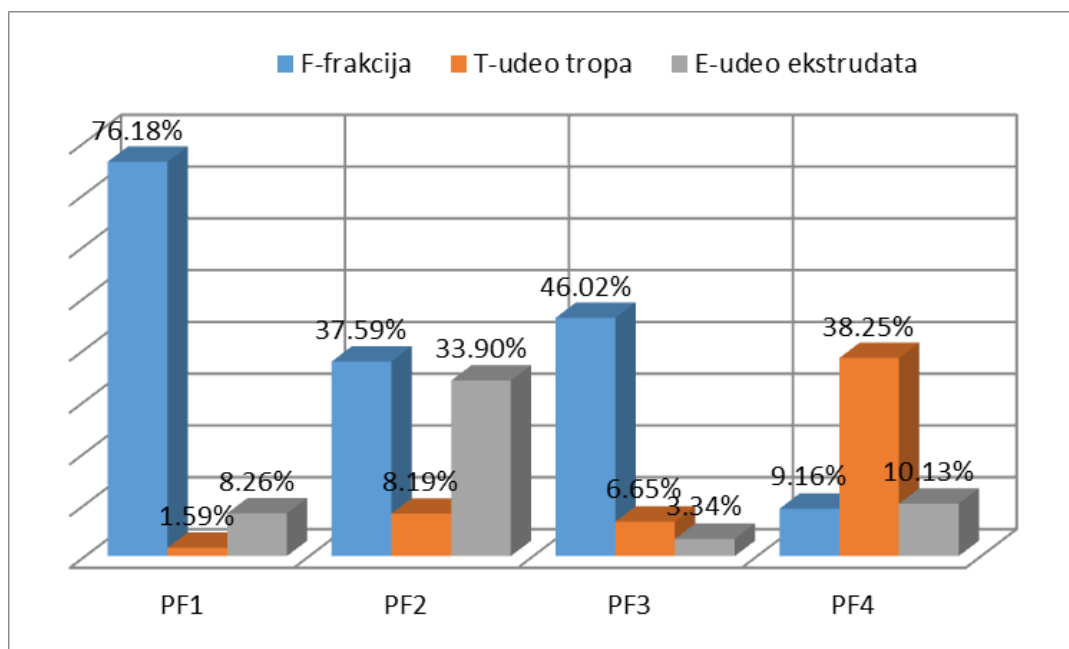


**Slika 3.45.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata (F<sup>2</sup>, T<sup>2</sup> i E<sup>2</sup>) na tvrdoću (KF1) i boju (KF2-KF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom

**Tabela 3.36.** Box- Behnken dizajn eksperimenta i fizičke karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori				
	F	T	E	PF1	PF2	PF3	PF4	$\Delta E$
P-3.45.10	3	45	10	279,00	76,98	1,04	22,76	4,88
P-1.30.5	1	30	5	330,18	73,01	5,86	28,37	9,91
P-1.30.15	1	30	15	391,70	70,96	6,27	27,17	9,43
P-2.45.15	2	45	15	366,21	74,25	2,15	19,93	5,46
P-2.15.15	2	15	15	346,95	76,06	2,71	23,99	5,80
P-2.30.10	2	30	10	339,44	77,53	1,96	22,27	5,07
P-2.45.5	2	45	5	336,30	77,37	1,87	23,62	5,34
P-3.15.10	3	15	10	290,83	76,69	3,37	27,04	7,75
P-3.30.15	3	30	15	282,38	75,54	3,48	24,80	6,51
P-2.30.10	2	30	10	340,26	77,36	1,91	22,84	5,14
P-1.45.10	1	45	10	458,63	74,22	3,64	23,87	6,23
P-1.15.10	1	15	10	403,53	77,52	3,53	27,31	8,01
P-3.30.5	3	30	5	228,98	80,76	1,07	24,89	5,70
P-2.15.5	2	15	5	326,18	79,21	3,02	26,61	7,32
P-2.30.10	2	30	10	338,66	77,62	1,89	22,58	5,09

PF1: Tvrdoća; PF2:  $L^*$  (svetloća); PF3:  $a^*$  (udeo crvenog/zelenog tona); PF4:  $b^*$  (udeo žutog/plavog tona)

**Slika 3.46.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora (F, T i E) na tvrdocu (PF1) i boju (PF2-PF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

U oba slučaja, i kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, veličina čestica (faktor F) ima negativan uticaj na tvrdocu čajnog

peciva, odnosno, sa povećanjem veličine čestica dodatog ekstrudata dolazi do smanjenja tvrdoće čajnog peciva (negativne vrednosti koeficijenta  $\beta_1$  za odgovore KF1 u Tabeli 3.37 i za PF1 u Tabeli 3.38), dok se sa povećanjem udela ekstrudata (faktor E) tvrdoća povećava (pozitivne vrednosti koeficijenta  $\beta_3$  za iste odgovore).

**Tabela 3.37.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore KF1-KF4

	KF1	KF2	KF3	KF4
$\beta_0$	230,86	81,13	0,19	24,37
$\beta_1$ (F)	-54,31***	0,43	-0,75***	-2,34***
$\beta_2$ (T)	6,53	-0,74	0,27**	-4,90E-02
$\beta_3$ (E)	28,36**	-1,63**	0,19*	-0,57
$\beta_{12}$ (FT)	-16,98		0,43**	1,13
$\beta_{13}$ (FE)	-29,73**			
$\beta_{23}$ (TE)		0,53	-0,56***	-2,34**
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )		-2,04**		0,65
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )		-0,71		0,85
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	-19,76	-1,48*	0,55***	
R <sup>2</sup>	0,9392	0,8577	0,9677	0,9079
Lack of Fit	0,1336	0,1025	0,1092	0,1385

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; KF1:Tvrdoća; KF2: L\* (svetloća); KF3:a\* (udeo crvenog/zelenog tona); KF4:b\* (udeo žutog/plavog tona)

**Tabela 3.38.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore PF1-PF4

	PF1	PF2	PF3	PF4
$\beta_0$	333,28	77,34	1,69	22,61
$\beta_1$ (F)	-62,86***	1,78*	-1,29**	-0,9*
$\beta_2$ (T)	9,08	-0,83	-0,49	-1,85***
$\beta_3$ (E)	20,7**	-1,69*	0,35	-0,95*
$\beta_{12}$ (FT)	-16,73*	0,9	-0,61	
$\beta_{13}$ (FE)		-0,79	0,5	
$\beta_{23}$ (TE)				
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )		-1,21	1,38*	2,68***
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	28,35**			
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	-21,34*	-0,84	0,93	0,98*
R <sup>2</sup>	0,9604	0,8153	0,8568	0,9104
Lack of Fit	0,1384	0,1018	0,0924	0,1838

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; PF1:Tvrdoća; PF2: L\* (svetloća); PF3:a\* (udeo crvenog/zelenog tona); PF4:b\* (udeo žutog/plavog tona)

Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, kao što se može videti na osnovu prikazanih rezultata u Tabeli 3.39 i 3.40, kao i na Slikama 3.47 i 3.38, prisutan je isti trend promene tvrdoće kao i kod uzoraka da dodatkom ekstrudata pivskog tropa i pšenične klice.

**Tabela 3.39.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i fizičke karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori				
	F	T	E	JF1	JF2	JF3	JF4	$\Delta E$
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	168,93	56,88	8,99	25,25	10,63
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	196,30	58,11	9,77	26,77	11,84
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	244,86	41,10	13,33	22,29	14,05
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	199,39	49,49	11,35	23,84	12,36
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	155,24	61,82	3,24	20,71	5,76
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	172,75	60,68	7,70	25,31	9,24
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	163,34	65,08	5,21	24,90	7,60
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	148,77	63,74	1,89	21,85	5,03
<b>J-3.30.15</b>	3	30	15	93,00	62,98	4,80	25,01	7,38
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	160,54	64,92	7,02	24,26	8,80
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	203,95	43,76	13,26	23,97	14,15
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	189,38	59,88	8,99	25,25	10,63
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	134,94	76,01	3,03	23,57	5,81
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	161,13	77,25	0,71	19,06	5,48
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	165,99	62,83	7,39	25,00	8,96

JF1:Tvrdoća; JF2:  $L^*$  (svetloća); JF3: $a^*$  (udeo crvenog/zelenog tona); JF4: $b^*$  (udeo žutog/plavog tona)

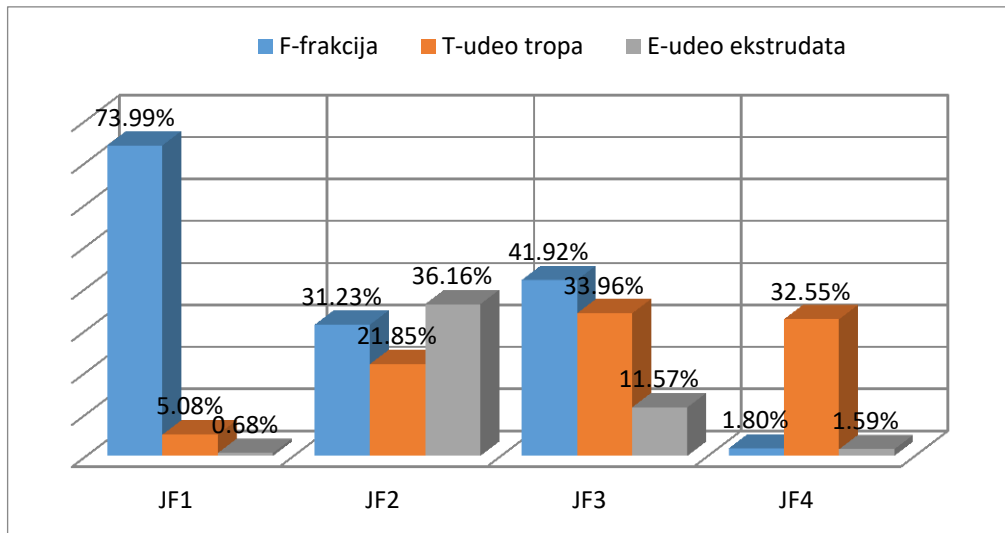
Sa povećanjem veličine čestica (faktor F) i sa smanjenjem udela ekstrudata (faktor E), tvrdoća čajnog peciva se smanjuje (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor JF1 u Tabeli 3.40, a pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_3$ ).

**Tabela 3.40.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore JF1-JF4

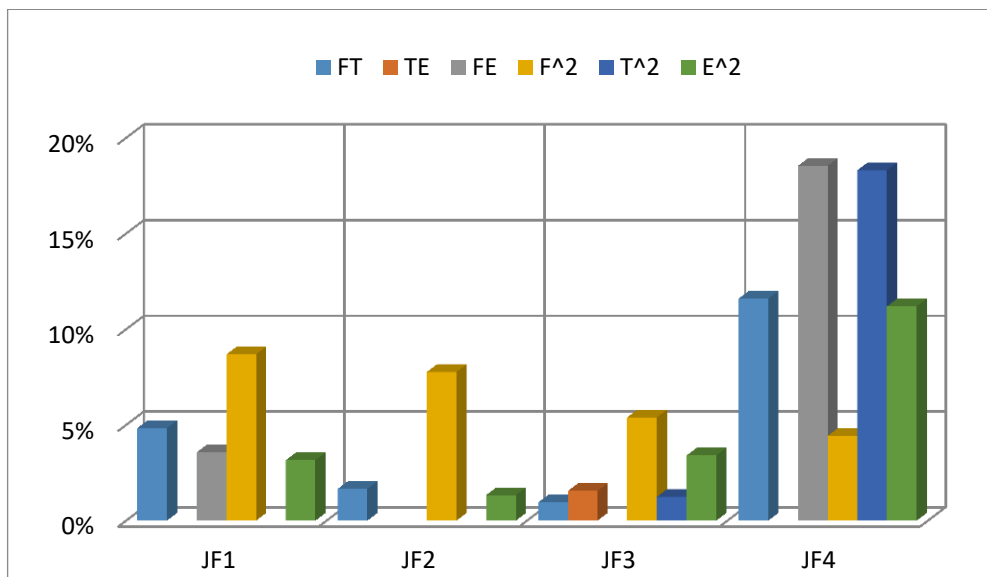
	JF1	JF2	JF3	JF4
$\beta_0$	166,91	61,92***	7,37	24,86
$\beta_1$ (F)	-36,11***	7,09***	-3,33***	-0,33
$\beta_2$ (T)	10,13	-5,93***	3***	1,39*
$\beta_3$ (E)	4,6	-7,63***	1,75**	-0,31
$\beta_{12}$ (FT)		2,31	0,71	1,17
$\beta_{13}$ (FE)	-22,62*			1,48
$\beta_{23}$ (TE)	10,48		0,91	
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )		-5,19*	1,76	0,75
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )	6,86		-0,84	-1,53
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )		2,15	-1,4*	-1,2
$R^2$	0,8409	0,9377	0,9793	0,8226
Lack of Fit	0,0820	0,2818	0,1001	0,1105

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; JF1:Tvrdoća; JF2:  $L$  (svetloća); JF3: $a^*$  (udeo crvenog/zelenog tona); JF4: $b^*$  (udeo žutog/plavog tona)

Najveća vrednost za tvrdoću čajnog peciva (244,86 N), dobijena je za uzorak sa najmanjom veličinom čestica i najvećim udelom ekstrudata (uzorak J-1.30.15) a najmanja (93,00 N), za uzorak koji sadrži 15% ekstrudata tropa jabuke sa najkrupnijim česticama (uzorak J-3.30.15). Faktor T nema statistički značajan uticaj na tvrdoću čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke ( $p > 0,05$ ), kao što se može videti u Tabeli 3.40.



**Slika 3.47.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora (F, T i E) na tvrdoću (JF1) i boju (JF2-JF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke



**Slika 3.48.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na tvrdoću (JF1) i boju (JF2-JF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke



### **Boja čajnog peciva**

Vrednosti parametara boje za uzorke čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice prikazani su u Tabeli 3.35. Vrednosti za svetloću boje ( $L^*$  vrednosti) u ovim uzorcima nalaze se u intervalu od 75,17 do 82,18. Veličina čestica ekstrudata (faktor F) i udeo ekstrudata (faktor E) imaju značajan uticaj na  $L^*$  vrednost (odgovor KF2) (Slika 3.44 i 3.45). Sa povećanjem veličine čestica ekstrudata, vrednost  $L^*$  se povećava, odnosno uzorci su svetliji (pozitivan znak koeficijenta regresione jednačine  $\beta_1$  za odgovor KF2 u Tabeli 3.37), dok se sa povećanjem udela ekstrudata ova vrednost smanjuje (negativan znak koeficijenta  $\beta_3$  u Tabeli 3.37). Uticaj udela pšenične klice u ekstrudatu (faktor T) na  $L^*$  vrednost boje čajnog peciva nije statistički značajan ( $p > 0,05$ ). Vrednost parametra  $a^*$  (udeo crvenog tona) takođe najviše zavisi od veličine čestica ekstrudata (uticaj parametra F na odgovor KF3 je 52,65%, Slika 3.44) i sa povećanjem veličine čestica dolazi do smanjenja udela crvenog tona u boji čajnog peciva (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor KF3 u Tabeli 3.37). Međutim značajan uticaj na vrednost ovog parametra boje imaju i druga dva faktora (T i E) i ova vrednost se povećava sa povećanjem udela pšenične klice u ekstrudatu i sa povećanjem udela ekstrudata u čajnom pecivu (Tabela 3.37). Takođe i interakcija ova dva faktora ima značajan uticaj na  $a^*$  vrednost (Slika 3.45). Intenzitet žutog tona ( $b^*$  vrednost) značajno se smanjuje sa povećanjem veličine čestica ekstrudata, mada statistički značajan uticaj na ovaj parametar ima i interakcija faktora T i E. Sa povećanjem udela pšenične klice u ekstrudatu i sa povećanjem udela ekstrudata pšenične klice, vrednost  $b^*$  se smanjuje (negativni znaci koeficijenata  $\beta_2$  i  $\beta_3$  za odgovor KF4 u Tabeli 3.37), tako da uzorak K-2.45.15 ima najmanju vrednost ovog parametra boje od 21,80 u odnosu na  $b^*$  vrednosti ostalih uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (Tabela 3.35).

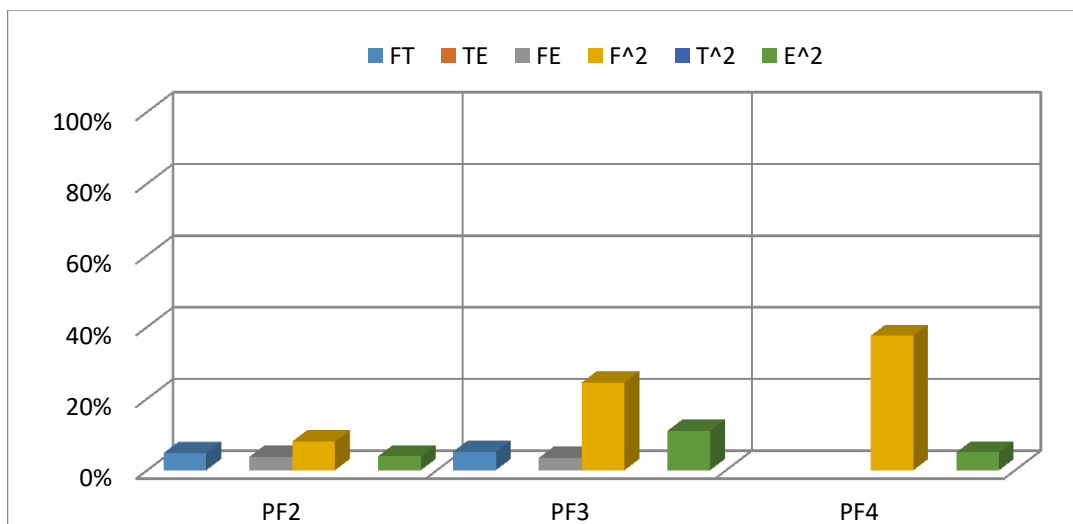
Vrednosti parametara boje uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa i tropa jabuke dati su u Tabelama 3.36 i 3.39. Vrednosti svetloće boje,  $L^*$  vrednosti, značajno zavise od veličine čestica i udela ekstrudata u čajnom pecivu. Uticaji oba faktora (F i E) na  $L^*$  vrednost boje ovih uzoraka čajnog peciva su preko 30 % (Slike 3.46 i 3.47). Međutim, kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke i udeo tropa u ekstrudatu (faktor T) ima značajan uticaj na svetloću boje, odnosno, svetloća se smanjuje sa porastom udela tropa jabuke u ekstrudatu, kao što se može videti na osnovu rezultata u Tabeli 3.40 (negativan znak koeficijenta  $\beta_2$  za odgovor JF2).

Udeo crvenog tona u boji čajnog peciva, tj. vrednost  $a^*$ , kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Tabela 3.36) statistički značajno zavisi od veličine čestica

ekstrudata i uticaj ovog faktora je 46,02 % (Slika 3.46). Udeo crvenog tona povećava se značajno sa smanjenjem veličine čestica ekstrudata (Tabela 3.38), dok druga dva faktora (faktor T i faktor E) nemaju značajan uticaj na udeo crvenog tona uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Slike 3.46 i 3.49).

Vrednosti parametra  $a^*$  uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke prikazane su u Tabeli 3.39 (odgovor JF3). Na ovu vrednost značajan uticaj ima udeo tropa jabuke u ekstrudatu, tj. faktor T, kao što se može videti na Slici 3.47. Sa povećanjem udela tropa jabuke u ekstrudatu, povećava se udeo crvenog tona u boji čajnog peciva (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_2$  za odgovor JF3 u Tabeli 3.40). Značajan uticaj na  $a^*$  vrednost boje ovih uzoraka čajnog peciva imaju i faktori F i E – udeo crvenog tona u boji čajnog peciva takođe se povećava sa povećanjem nivoa faktora E (pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor JF3 u Tabeli 3.40), dok faktor F ima negativan uticaj na ovaj parametar (negativna vrednosti koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor JF3 u Tabeli 3.40).

Vrednosti parametra  $b^*$ , kod uzoraka čajnog peciva sa ekstrudatom pivskog tropa značajno se smanjuju sa povećanjem veličine čestica ekstrudata (Tabela 3.38, odgovor PF4), kao i kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice. Ipak,  $b^*$  vrednost ovih uzoraka najviše zavisi od faktora T, tj. opada sa porastom udela pivskog tropa u ekstrudatu (uticaj faktora T na odgovor PF4 je 38,25 %, Slika 3.46).



**Slika 3.49.** Uticaj interakcija ulaznih faktora (FT, FE i TE) i njihovih kvadrata ( $F^2$ ,  $T^2$  i  $E^2$ ) na boju (PF2-PF4) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, kao i kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, najveći uticaj na  $b^*$  vrednost ima faktor T (Slika 3.47 i Slika 3.48), odnosno ova vrednost se povećava sa povećanjem udela tropa jabuke u ekstrudatu

(pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_2$  za odgovor JF4 u Tabeli 3.40). Značajan uticaj na ovu vrednost imaju i interakcija veličine čestica i udela ekstrudata (uticaj FE), kao i interakcija veličine čestica i udela tropa jabuke u ekstrudatu (FT) (Slika 3.48).

Zamena pšeničnog brašna ispitivanim ekstrudatima sa sve tri vrste sporednih proizvoda, utiče na smanjenje svetloće uzoraka čajnog peciva i povećanje udela crvenog tona, dok je uticaj na udeo žutog tona boje čajnog peciva najmanji. Najveći uticaj na boju čajnog peciva ima dodatak ekstrudata tropa jabuke. Kod ovih uzoraka primetne su značajno veće promene  $L^*$  i  $a^*$  vrednosti čajnog peciva sa promenom udela tropa jabuke u ekstrudatu u poređenju sa uzorcima čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa i pšenične klice.

Vrednosti parametra  $b^*$  su pozitivne kod svih uzoraka, odnosno, kod svih uzoraka nijanse boje se kreću ka žutim tonovima, ali najveće vrednosti ovog parametra boje imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata kukuruzne klice (minimalne i maksimalne vrednosti za KF 4 u Tabeli 3.41), a najmanje uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (odgovor JF4), za razliku od vrednosti udela crvenog tona, gde najveće vrednosti imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (odgovor JF3). Ovo je očekivano s obzirom na to da sami ekstrudati sa dodatkom tropa jabuke imaju značajno veće vrednosti parametra  $a^*$  u odnosu na ekstrudate sa dodatkom pšenične klice i pivskog tropa, kao što je prikazano u Tabeli 3.15.

**Tabela 3.41.** Deskriptivna statistika za za boju uzoraka sa dodatkom ekstrudata, KF2-KF4, PF2-PF4, JF2-JF4

<b>KF2-4</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Srednja vrednost</b>	<b>Std. Dev.</b>
$L^*$ (KF1)	75,17	82,18	78,87	1,99
$a^*$ (KF3)	0,3	5,63	2,12	1,51
$b^*$ (KF4)	21,8	28,75	25,17	2,39
<b>PF2-4</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Srednja vrednost</b>	<b>Std. Dev.</b>
$L^*$ (PF1)	70,96	80,76	76,25	2,34
$a^*$ (PF3)	1,04	6,27	2,92	1,49
$b^*$ (PF4)	19,93	28,37	24,56	2,26
<b>JF2-4</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>	<b>Srednja vrednost</b>	<b>Std. Dev.</b>
$L^*$ (JF1)	41,1	77,25	60,3	9,6
$a^*$ (JF3)	0,71	13,33	7,11	3,81
$b^*$ (JF4)	19,06	26,77	23,8	1,96

Vrednosti  $\Delta E$ , koje ukazuju na razliku u boji (koja je vidljiva ljudskim okom) ispitivanih uzoraka sa dodatkom ekstrudata i kontrolnog uzorka koji je napravljen od pšeničnog brašna, značajno su veće kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (Tabela 3.39) u odnosu na uzorke sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (Tabela 3.35) i ekstrudata pivskog tropa (Tabela 3.36). Maksimalna vrednost  $\Delta E$  kod uzoraka čajnog peciva sa

dodatkom tropa jabuke je 14,15, dok je kod uzoraka sa dodatkom pivskog tropa 9,91, a kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice iznosi 9,49.

### 3.2.3.3. Senzorske karakteristike čajnog peciva

Rezultati senzorske analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata obogaćenog pšeničnom klicom dati su u Tabeli 3.42, a koeficijenti regresione jednačine u Tabeli 3.43. Izgled uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice prikazan je na Slici 3.50. Frakcija ekstrudata i udeo ekstrudata imaju statistički značajan uticaj na boju uzoraka čajnog peciva (Tabela 3.43). Udeo uticaja granulacije (faktor F) na odgovor KS1 je 58,24 %, dok je uticaj faktora E 24,54 % i  $E^2$  13,99 % (Slike 3.51 i 3.52).

Uticaj faktora F (veličina čestica) na boju čajnog peciva je negativan, dok faktor E (udeo ekstrudata) ima pozitivan uticaj (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_1$  i pozitivna vrednost koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor KS1 u Tabeli 3.43), odnosno sa povećanjem veličine čestica ekstrudata pšenične klice, ocene za boju se smanjuju, čajno pecivo je svetlije, dok sa povećanjem udela ekstrudata boja čajnog peciva postaje tamnija, kao što se može videti na Slici 3.50. Ocene za izgled površine se smanjuju sa povećanjem veličine čestica ekstrudata, odnosno, broj pukotina na površini čajnog peciva (odgovor KS2) povećava se sa povećanjem nivoa faktora F i uticaj ovog faktora je čak 79,28 %, dok je uticaj udela ekstrudata (faktor E) 12,69 % (Slika 3.51). Udeo pšenične klice u ekstrudatu (faktor T) nije imao značajan uticaj na ovu karakteristiku čajnog peciva ( $p > 0,05$ , Tabela 3.43). Na tvrdoću čajnog peciva (odgovor KS4), prema oceni panela, najveći uticaj ima veličina čestica ekstrudata (faktor F). Uticaj ovog faktora je negativan (Tabela 3.43), odnosno, kod uzoraka čajnog peciva sa krupnijim česticama ekstrudata tvrdoća je manja. Izgled pora na preseku čajnog peciva zavisi u najvećoj meri od veličine čestica ekstrudata kao što se može videti na Slici 3.51 (uticaj faktora F na odgovor KS3 je 83,46 %). Ocene za izgled pora se povećaju sa smanjenjem vrednosti ovog faktora, tj. sa smanjenjem veličine čestica ekstrudata u uzorcima čajnog peciva (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor KS3 u Tabeli 3.43). Kada su ekstrudati sa manjim česticama uključeni u zames, uzorci čajnog peciva imaju bolju uniformnost pora. Veličine čestica ekstrudata frakcije 1 su sličnije veličini čestica pšeničnog brašna, bolje su upakovane u strukturu testa i čajnog peciva, usled čega su pore na preseku čajnog peciva sitnije i uniformnije u odnosu na pore uzoraka čajnog peciva koje sadrže ekstrudate sa krupnijim česticama.

**Tabela 3.42.** Box-behnken dizajn eksperimenta i enzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	4,02	1,65	4,52	4,15	2,14	5,89
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	5,24	6,1	6,41	5,42	6,59	6,52
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	5,85	5,52	6,01	5,91	6,31	5,64
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	4,95	3,42	5,28	5,61	4,82	5,88
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	5,71	3,53	5,11	5,58	5,24	6,41
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	4,78	4,81	5,86	5,62	5,34	6,5
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	4,12	4,79	5,74	5,21	5,92	6,62
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	3,83	2,82	4,72	5,25	2,23	6,34
<b>K-3.30.10</b>	3	30	15	4,35	2,03	4,81	4,28	2,15	5,94
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	4,66	4,86	5,88	5,66	5,29	6,48
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	4,86	5,78	5,91	5,86	6,01	6,05
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	4,71	5,69	6,15	5,79	6,31	6,25
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	3,95	3,65	4,79	4,52	3,56	6,52
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	4,62	5,14	5,38	4,71	5,88	6,58
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	4,71	4,88	5,8	5,59	5,32	6,51

KS1: Boja; KS2: Izgled površine; KS3: Izgled pora; KS4: Tvrdoća; KS5: Zrnavost; KS6: Ukus

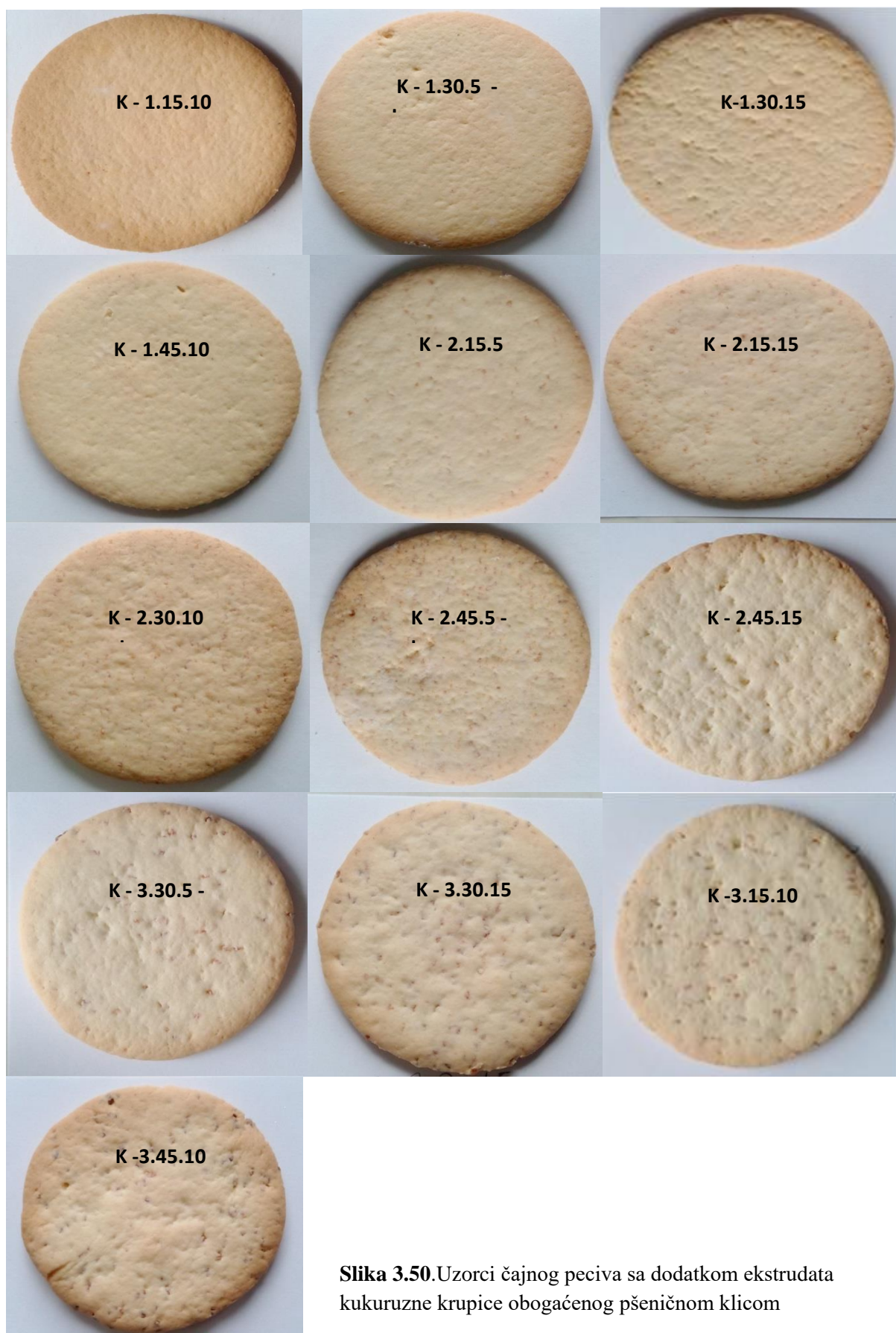
**Tabela 3.43.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore KS1-KS6

	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6
$\beta_0$	4,49	4,71	5,84	5,56	5,34	6,43
$\beta_1$ (F)	-0,56***	-1,62***	-0,71***	-0,6***	-1,89***	0,029
$\beta_2$ (T)	-0,12	-0,19	0,011	-0,063	-0,096	-0,14**
$\beta_3$ (E)	0,37**	-0,65***	-0,14*	0,19	-0,43***	-0,3***
$\beta_{12}$ (FT)		-0,31*		-0,29		
$\beta_{13}$ (FE)		-0,26*	0,1		-0,28**	0,075
$\beta_{23}$ (TE)					-0,11	-0,14*
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	-0,091	-0,34*	-0,19*	-0,28	-0,99***	-0,29**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )		-0,44**	-0,32**		-0,18*	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	0,4*		-0,14	-0,27	0,3**	
<b>R<sup>2</sup></b>	0,8440	0,9872	0,9695	0,8607	0,9975	0,9212
<b>Lack of Fit</b>	0,5866	0,1214	0,0920	0,0707	0,1097	0,0694

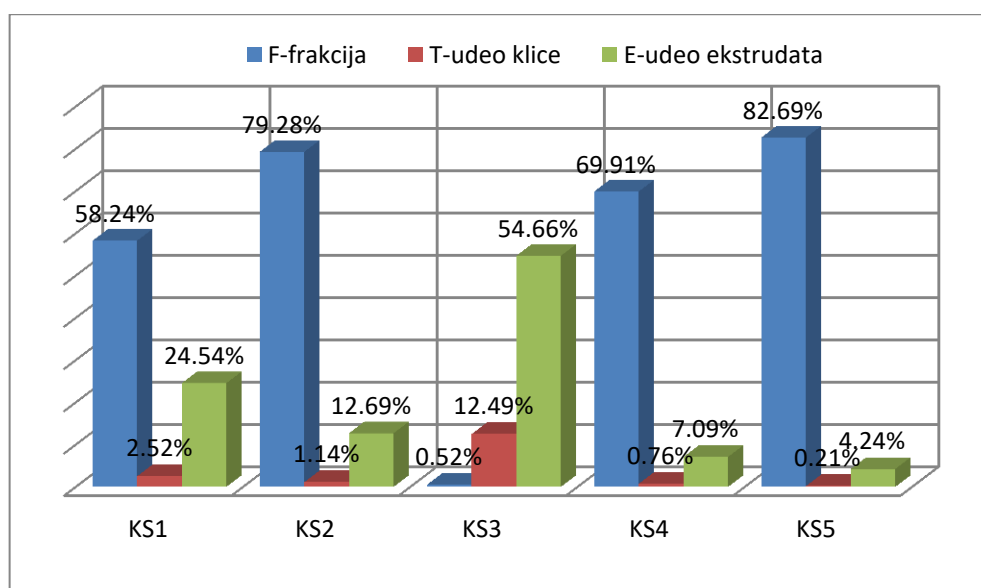
\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; KS1: Boja; KS2: Izgled površine; KS3: Izgled pora; KS4: Tvrdoća; KS5: Zrnavost; KS6: Ukus

Zrnavost čajnog peciva je još jedna karakteristika na koju značajan uticaj ima veličina čestica dodatog ekstrudata pšenične klice (Faktor F). Uticaj ovog faktora je 82,69 %, a njegovog kvadrata 10,45 %, kao što se može videti na Slici 3.51 i Slici 3.52. Ovaj uticaj je negativan (negativna vrednost koeficijent  $\beta_1$  za odgovor KS5 u Tabeli 3.43), što govori da se sa povećanjem veličine čestica ocene za zrnavost smanjuju, odnosno, količina krupnih čestica koje zaostaju u ustima prilikom žvakanja je veća. Ove čestice ekstrudata su tvrde i hrskave, ne otapaju se lako u ustima tokom žvakanja, što može predstavljati problem.

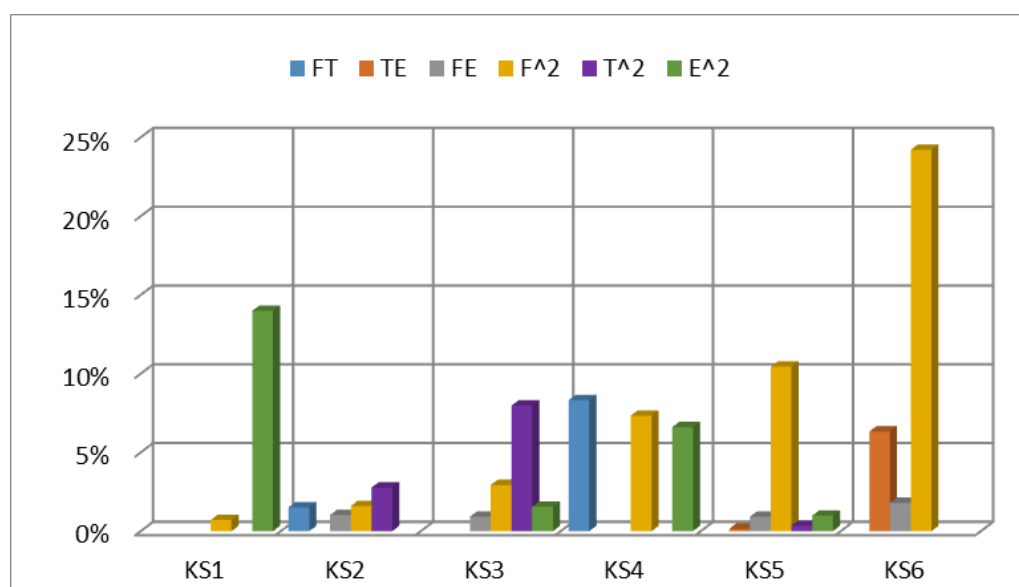




**Slika 3.50.** Uzorci čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom



**Slika 3.51.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom (KS1: Boja; KS2: Izgled površine; KS3: Izgled pora; KS4: Tvrdoa; KS5: Zrnavaost; KS6: Ukus)



**Slika 3.52.** Uticaj interakcija ulaznih faktora i njihovih kvadrata na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pšeničnom klicom (KS1: Boja; KS2: Izgled površine; KS3: Izgled pora; KS4: Tvrdoa; KS5: Zrnavaost; KS6: Ukus)

Ukus čajnog peciva (odgovor KS6) zavisi prvenstveno od udela pšenične klice u ekstrudatu (faktor T), kao što se može videti na Slici 3.51. Ocene za ukus se smanjuju sa povećanjem udela ekstrudata, usled intenzivnijeg ukusa po dodatkom ekstrudatu, dok veličina čestica ekstrudata i udeo pšenične klice u ekstrudatu imaju značajan uticaj na ukus čajnog peciva.

Izgled uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa prikazan je na Slici 3.53, a rezultati senzorske ocene u Tabeli 3.44. Kod ovih uzoraka na boju čajnog peciva značajan uticaj imaju faktor E, odnosno količina dodatog ekstrudata i veličina čestica ekstrudata (faktor F), kao što se može videti u Tabeli 3.45 (za ove faktore  $p < 0,05$ ). Udeo uticaja faktora E je 49,08 % ( Slika 3.54).

**Tabela 3.44.** Box - Behnken dizajneksperimenta I senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Uzorak	Nivoi faktora			Odgovori					
	F	T	E	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6
<b>P-3.45.10</b>	3	45	10	5,82	2,05	3,62	5,02	2,08	5,23
<b>P-1.30.5</b>	1	30	5	6,01	6,21	6,15	5,21	6,21	6,29
<b>P-1.30.15</b>	1	30	15	6,23	5,34	5,86	5,93	6,54	6,38
<b>P-2.45.15</b>	2	45	15	5,97	4,02	5,44	5,16	4,82	5,51
<b>P-2.15.15</b>	2	15	15	5,85	3,51	5,12	5,74	5,15	6,02
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	5,65	4,44	5,26	5,62	5,32	6,12
<b>P-2.45.5</b>	2	45	5	5,61	4,56	5,35	5,60	4,91	6,45
<b>P-3.15.10</b>	3	15	10	5,78	3,32	5,72	5,36	2,55	6,11
<b>P-3.30.10</b>	3	30	15	5,91	3,05	3,69	5,02	2,20	5,81
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	5,67	4,39	5,30	5,59	5,29	6,09
<b>P-1.45.10</b>	1	45	10	5,92	5,56	5,58	5,97	6,32	6,01
<b>P-1.15.10</b>	1	15	10	5,73	6,02	6,09	5,80	6,51	6,30
<b>P-3.30.5</b>	3	30	5	4,86	3,37	4,87	5,20	3,74	6,22
<b>P-2.15.5</b>	2	15	5	4,55	5,08	5,64	5,75	6,05	6,51
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	5,70	4,42	5,22	5,55	5,38	6,10

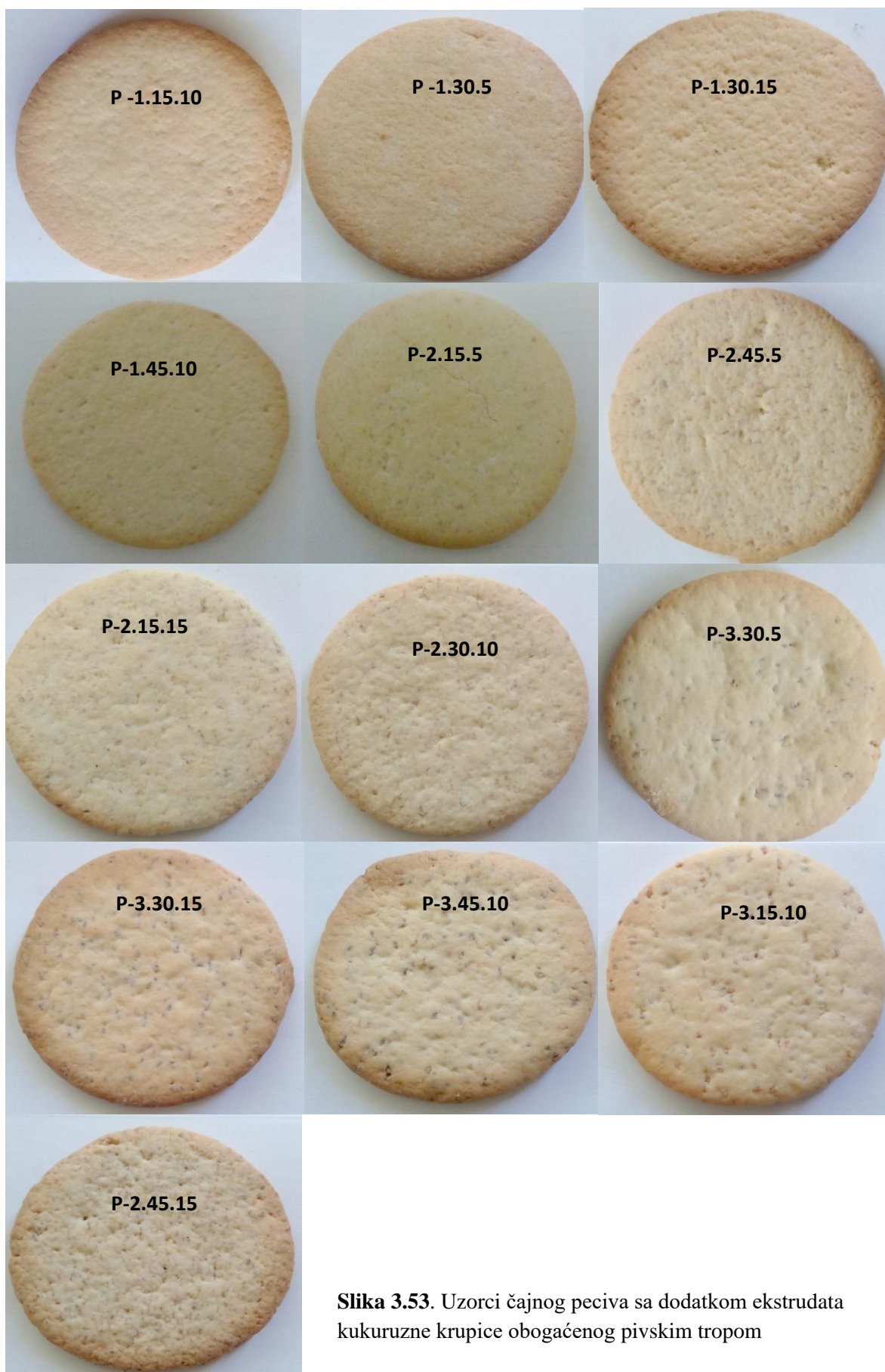
PS1: Boja; PS2: Izgled površine; PS3: Izgled pora; PS4: Tvrdća; PS5: Zrnastost; PS6: Ukus

**Tabela 3.45.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore PS1-PS6

	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6
$\beta_0$	5,56	4,46	5,34	5,56	5,39	5,99
$\beta_1$ (F)	-0,19*	-1,42***	-0,72**	-0,29**	-1,88***	-0,2*
$\beta_2$ (T)	0,18	-0,22	-0,32	-0,11	-0,27*	-0,22*
$\beta_3$ (E)	0,37**	-0,41**	-0,24	0,011	-0,27*	-0,22*
$\beta_{12}$ (FT)	0,21	-0,2	-0,4	-0,13	-0,07	-0,15
$\beta_{13}$ (FE)	-0,24		-0,22	-0,23*	-0,47**	-0,13
$\beta_{23}$ (TE)		0,26	0,15		0,2	-0,11
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	0,22		-0,14	-0,12	-0,76**	
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )		-0,2			-0,2	
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )						0,16
$R^2$	0,8266	0,9614	0,8364	0,7676	0,9881	0,8290
Lack of Fit	0,1161	0,1038	0,1051	0,1423	0,0897	0,1085

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $0,001 < p < 0,01$ ; \* $0,01 < p < 0,05$ ; PS1: Boja; PS2: Izgled površine; PS3: Izgled pora; PS4: Tvrdća; PS5: Zrnastost; PS6: Ukus

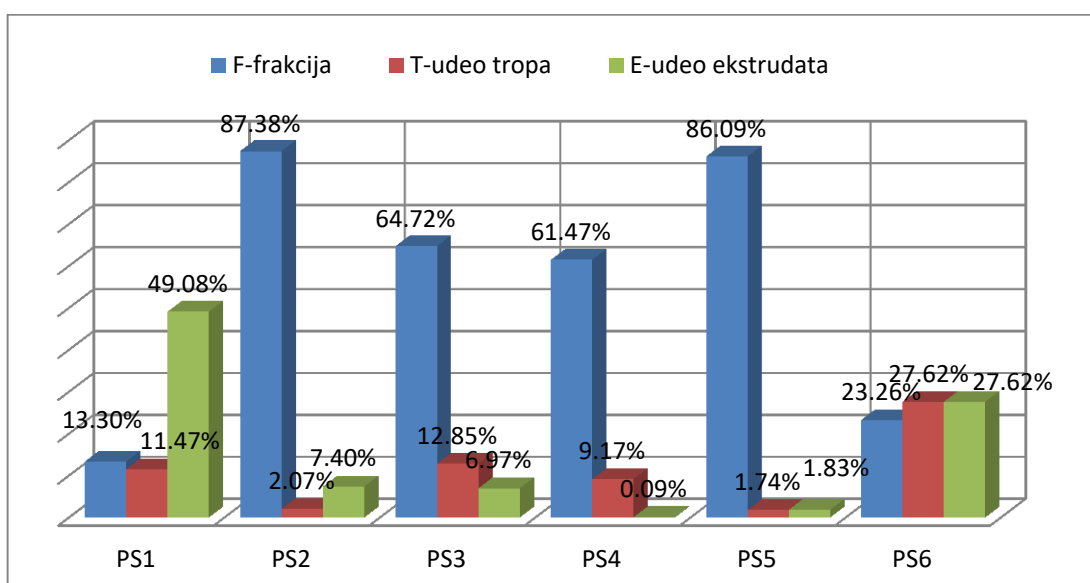




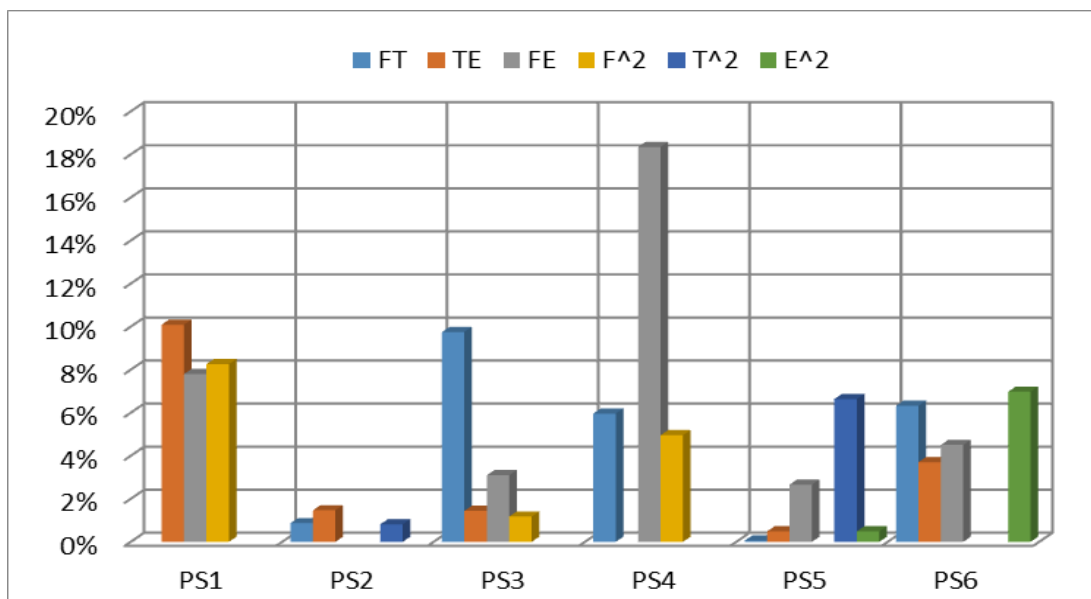
**Slika 3.53.** Uzorci čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom

Ocene za boju čajnog peciva povećavaju se sa povećanjem udela ekstrudata pivskog tropa, odnosno, boja čajnog peciva je tamnija kod uzoraka čajnog peciva sa većim udelom ovog ekstrudata. Veličina čestica ekstrudata (faktor F) ima značajan uticaj na boju čajnog peciva, ali znatno manji od faktora E (udeo ekstrudata) (uticaj faktora F je 13,30 %, kao što se može videti na Slici 3.54). Sa povećanjem veličine čestica, boja čajnog peciva je svetlija i ocene su niže (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za odgovor PS1 u Tabeli 3.45).

Izgled površine uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa zavisi prvenstveno od veličine čestica ekstrudata (uticaj faktora F na odgovor PS2 je 87,38%, Slika 3.54). Kao što se može videti u Tabeli 3.45 koeficijent  $\beta_1$  ima negativnu vrednost, što znači da se sa povećanjem veličine čestica ekstrudata pivskog tropa ocene za izgled površine smanjuju, odnosno, da je broj površinskih pukotina značajno veći kod uzoraka sa većom veličinom čestica, što se može videti i na Slici 3.53. Značajan uticaj (negativan) na ocene za izgled površine ima i udeo ekstrudata u čajnom pecivu (negativna vrednost koeficijenta  $\beta_3$  za odgovor PS2, Tabela 3.45). Sa povećanjem udela ekstrudata pivskog tropa od 5 do 15 %, ocene za izgled površine se smanjuju, odnosno uzorci čajnog peciva sa većim udelom ovog ekstrudata imaju veći broj pukotina i naboranu površinu.



**Slika 3.54.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PS1: Boja; PS2: Izgled površine; PS3: Izgled pora; PS4: Tvrdoća; PS5: Zrnavost; PS6: Ukus)



**Slika 3.55.** Uticaj interakcija ulaznih faktora i njihovih kvadrata na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog pivskim tropom (PS1: Boja; PS2: Izgled površine; PS3: Izgled pora; PS4: Tvrdoća; PS5: Zrnavost; PS6: Ukus)

Veličina čestica (faktor F) ima najveći uticaj na izgled pora na preseku (64,72 %), na tvrdoću (61,47 %), i na zrnavost (86,09 %) čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (Slika 3.54). Sa povećanjem veličine čestica ekstrudata ocene za sva tri odgovora se smanjuju (negativne vrednosti koeficijenta  $\beta_1$  za sve spomenute odgovore u Tabeli 3.45). Što su čestice ekstrudata pivskog tropa krupnije, čajno pecivo ima krupnije i neuniformnije pore na preseku, ima manju tvrdoću i veći udeo krupnih koje čestica zaostaju u ustima nakon žvakanja.

Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, sva tri faktora - veličina čestica ekstrudata (udeo uticaja faktora F je 23,26 %), udeo tropa u ekstrudatu (udeo uticaja faktora T je 27,62 %) i udeo ekstrudata u čajnom pecivu (udeo uticaja faktora E je 27,62 %), imaju statistički značajan (negativan) uticaj na ukus uzoraka (odgovor PS6, Tabela 3.45 i Slike 3.54 i 3.55). Primećuje se značajno povećanje ocena za ukus uzoraka čajnog peciva sa smanjenjem udela pivskog tropa u ekstrudatu (faktor T) i sa smanjenjem udela ovog ekstrudata u čajnom pecivu (faktor E).

Rezultati senzorske analize za uzorke sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (Slika 3.56) prikazani su u Tabeli 3.46. Veliki uticaj na sve senzorske karakteristike ima faktor F, odnosno veličina čestica dodatog ekstrudata (Slike 3.57 i 3.58). Ovaj faktor ima negativan uticaj na sve parametre (negativan znak koeficijenta  $\beta_1$  za sve odgovore JS1-JS6 u Tabeli 3.47).

**Tabela 3.46.** Box - Behnken dizajn eksperimenta i senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke

	Odgovori								
	F	T	E	JS1	JS2	JS3	JS4	JS5	JS6
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	6,08	1,5	4,68	4,56	2,10	6,05
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	6,56	6,32	6,43	5,41	6,62	6,65
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	6,85	5,41	6,08	6,01	6,48	6,52
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	6,25	3,00	5,33	5,33	5,02	6,14
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	6,07	2,75	5,09	4,11	5,23	6,21
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	5,92	3,90	5,88	4,70	5,41	6,68
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	5,81	5,98	6,18	4,39	5,58	6,71
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	5,84	2,83	5,29	3,98	2,45	6,11
<b>J-3.30.10</b>	3	30	15	6,15	1,64	5,11	2,91	2,06	5,96
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	6,17	4,10	5,76	4,31	5,48	6,64
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	6,71	5,32	5,96	5,47	6,54	6,60
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	6,63	5,86	5,88	5,06	6,50	6,57
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	5,61	3,75	4,94	3,78	3,86	6,23
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	5,72	5,81	6,21	4,29	6,04	6,75
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	5,95	4,21	5,81	4,38	5,82	6,59

JS1: Boja; JS2: Izgled površine; JS3: Izgled pora; JS4: Tvrdoća; JS5: Zrnastost; JS6: Ukus

**Tabela 3.47.** Koeficijenti regresione jednačine za odgovore JS1-JS6

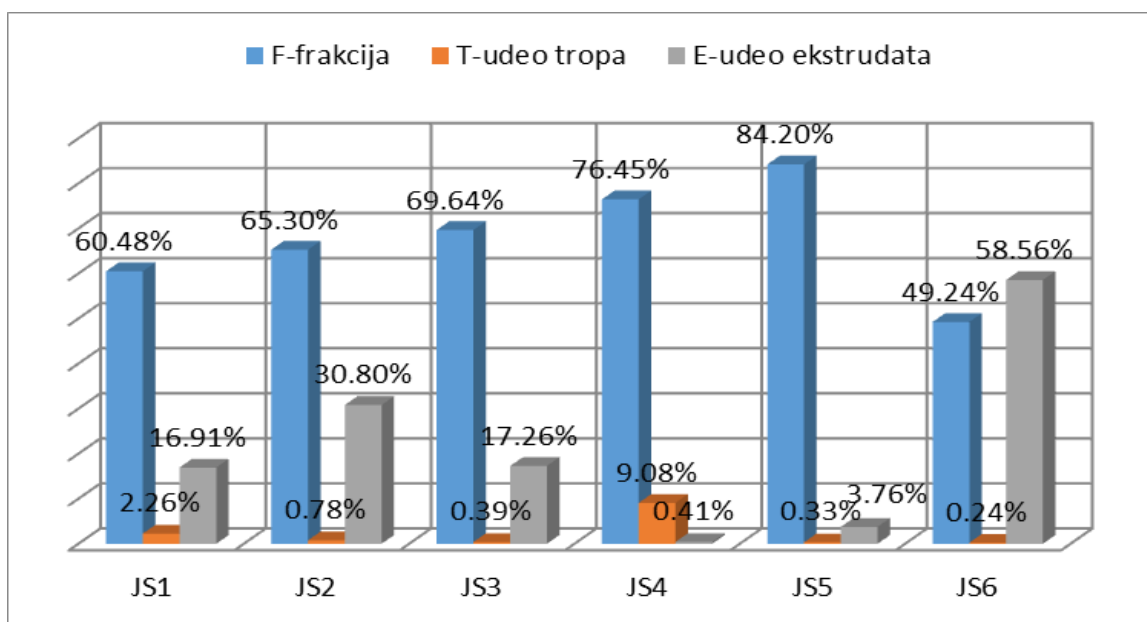
	JS1	JS2	JS3	JS4	JS5	JS6
$\beta_0$	6,00	3,96	5,83	4,41	5,57	6,64
$\beta_1$ (F)	-0,38***	-1,65***	-0,54***	-0,84***	-1,96***	-0,25***
$\beta_2$ (T)	0,074**	-0,18	-0,04	0,29	-0,12	-0,018
$\beta_3$ (E)	0,2***	-1,13***	-0,27*	0,061	-0,41**	-0,19***
$\beta_{12}$ (FT)	0,04	-0,2	-0,17		-0,097	
$\beta_{13}$ (FE)	0,063	-0,3	0,13	-0,37	-0,41*	
$\beta_{23}$ (TE)				0,28		
$\beta_{11}$ (F <sup>2</sup> )	0,32***		-0,21	0,16	-0,94*	-0,21**
$\beta_{22}$ (T <sup>2</sup> )			-0,15	0,16	-0,23*	-0,096
$\beta_{33}$ (E <sup>2</sup> )	-0,036	0,37			0,13*	-0,088
$R^2$	0,9765	0,9443	0,8582	0,8594	0,9896	0,9290
Lack of Fit	0,9799	0,0736	0,0647	0,1697	0,4391	0,1537

\*\*\*p<0,001; \*\*0,001<p<0,01; \*0,01<p<0,05; JS1: Boja; JS2: Izgled površine; JS3: Izgled pora; JS4: Tvrdoća; JS5: Zrnastost; JS6: Ukus

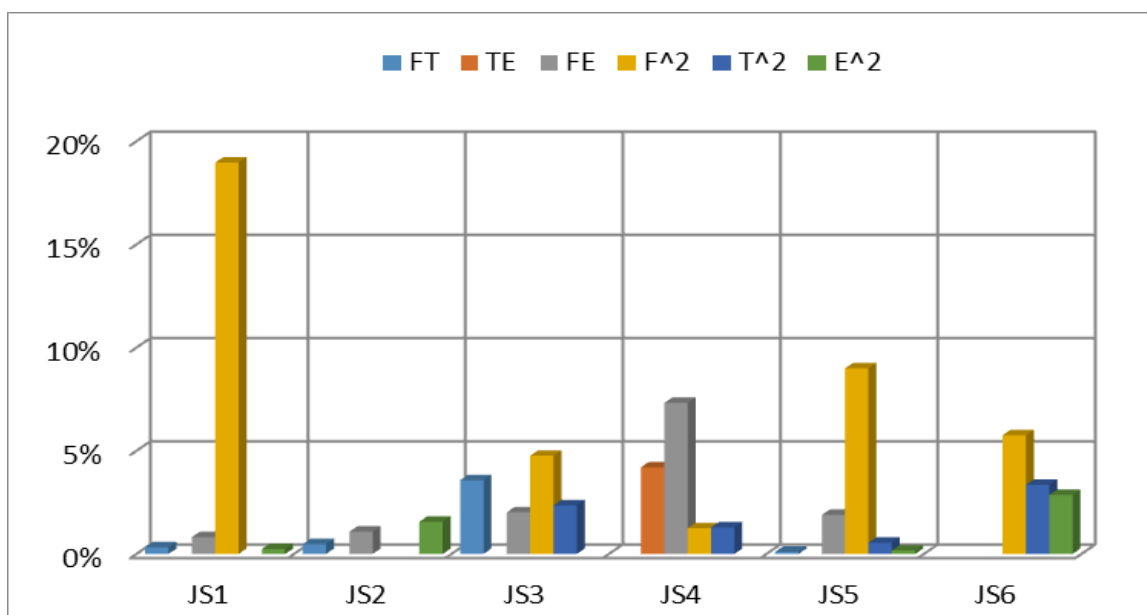




**Slika 3.56.** Uzorci čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćene tropom jabuke



**Slika 3.57.** Doprinosi uticaja ulaznih faktora na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JS1: Boja; JS2: Izgled površine; JS3: Izgled pora; JS4: Tvrdća; JS5: Zrnastost; JS6: Ukus)



**Slika 3.58.** Uticaj interakcija ulaznih faktora i njihovih kvadrata na senzorske karakteristike čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenog tropom jabuke (JS1: Boja; JS2: Izgled površine; JS3: Izgled pora; JS4: Tvrdća; JS5: Zrnastost; JS6: Ukus)

Sa povećanjem veličine čestica ovog ekstrudata, boja čajnog peciva je svetlija, površinske pukotine i zrnastost su izraženiji, a tvrdća se smanjuje. Dodatak ekstrudata tropa jabuke značajno utiče na ukus uzoraka čajnog peciva. Takođe i intenzitet ukusa na jabuku se

povećava sa povećanjem udela ekstrudata (uticaj faktora E je 58,56%). U Tabeli 3.47 se vidi da sva tri faktor (F, T i E) imaju statistički značajan uticaj ( $p < 0,05$ ) na ukus ovih uzoraka čajnog peciva.

Ocene za ukus čajnog peciva su najveće kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (odgovor JS6 u Tabeli 3.48) u odnosu na ocene za ukus uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa (odgovor PS6) i pšenične klice (odgovor KS6), odnosno ocenjivači su najvećom ocenom ocenili ukus koji je izazvao dodatak ovog ekstrudata, a najniže ocene su dobili uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa.

**Tabela 3.48.** Deskriptivna statistika za odgovore KS6, PS6 i JS6

Odgovor	Minimum	Maksimum	Srednja vrednost	Std. Dev.
<b>KS6</b>	5,64	6,62	6,28	0,30
<b>PS6</b>	5,23	6,51	6,07	0,33
<b>JS6</b>	5,96	6,75	6,43	0,27

#### 3.2.3.4. Sadržaj hidrosimetilfurfurala (HMF)

Rezultati analize sadržaja HMF-a u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata obogaćenih pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke, prikazani su u Tabeli 3.49. Svi uzorci čajnog peciva imaju sadržaj HMF-a manji od 25 mg/kg, što je maksimalna dozvoljena količina naznačena od strane Evropske organizacije za bezbednost hrane (EFSA).

Kod svih uzoraka čajnog peciva sadržaj HMF-a se povećava sa povećanjem udela ekstrudata u čajnom pecivu i sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu. Pivski trop i pšenična klica sadrže visok udeo proteina, dok je trop jabuke bogat ugljenim hidratima, usled čega su reakcije koje dovode do stvaranja HMF-a intenzivnije. Jozinović (2015), analizom samih ekstrudata obogaćenih pivskim tropom i tropom jabuke, pokazao je da se udeo HMF-a značajno povećava sa povećanjem udela ova dva sporedna proizvoda u ekstrudatu, a da je to povećanje intenzivnije u uzorcima sa dodatkom tropa jabuke, usled toga što ovaj trop sadrži veći udeo šećera. I u slučaju uzoraka čajnog peciva (Tabela 3.49), uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke (J), imaju veći sadržaj HMF-a (najveći sadržaj 15,29 mg/kg za uzorak J-3.45.10) u odnosu na uzorke sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (najveći udeo 13,42 mg/kg za uzorak K-2.45.15) i pivskog tropa (najveći udeo 9,71 mg/kg za uzorak P-2.45.15).

**Tabela 3.49.** Sadržaj HMF-a u uzorcima čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata obogaćenih pšeničnom klicom (K), pivskim tropom (P) i ,tropom jabuke (J)

Uzorak	Nivoi faktora			HMF (mg/kg)		
	F	T	E	K	P	J
<b>K/P/J-1.15.10</b>	1	15	10	4,23	3,28	4,18
<b>K/P/J-3.15.10</b>	3	15	10	4,17	3,05	4,10
<b>K/P/J-1.45.10</b>	1	45	10	11,12	9,42	14,67
<b>K/P/J-3.45.10</b>	3	45	10	10,53	8,52	15,29
<b>K/P/J-1.30.5</b>	1	30	5	3,86	3,07	3,54
<b>K/P/J-3.30.5</b>	3	30	5	3,98	3,00	3,91
<b>K/P/J-1.30.15</b>	1	30	15	7,29	6,36	7,89
<b>K/P/J-3.30.15</b>	3	30	15	8,11	8,20	10,10
<b>K/P/J-2.15.5</b>	2	15	5	2,92	2,09	2,21
<b>K/P/J-2.45.5</b>	2	45	5	5,87	2,27	6,90
<b>K/P/J-2.15.15</b>	2	15	15	5,62	3,88	4,02
<b>K/P/J-2.45.15</b>	2	45	15	13,42	9,71	4,63
<b>K/P/J-2.30.10</b>	2	30	10	6,95	3,94	7,43
<b>K/P/J-2.30.10</b>	2	30	10	6,52	3,75	7,69
<b>K/P/J-2.30.10</b>	2	30	10	7,06	4,04	7,32

Takođe, može se primetiti i da je sadržaj HMF-a kod svih uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata (Tabela 3.49) znatno veći u odnosu na uzorke sa dodatkom obezmašćene pšenične klice (Tabela 3.10). Ekstrudati prilikom proizvodnje već prolaze određen termički tretman, a tokom pečenja keksa ponovo su izloženi visokoj temperaturi, usled čega se sadržaj HMF-a dodatno povećava.

Sadržaj HMF-a u uzorcima je u značajnoj korelaciji sa bojom površine čajnog peciva, jer je tamnjenje površine posledica reakcija karamelizacije i Majlardove reakcije, tokom kojih dolazi do formiranja i HMF-a (Capuano i sar., 2009). Rezultati instrumentalnog merenja boje uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata (Odeljak 3.2.3.2) takođe pokazuju da se  $L^*$  vrednosti, odnosno svetloća boje, smanjuju sa povećanjem udela ekstrudata u uzorcima čajnog peciva i sa povećanjem udela sva tri sporedna proizvoda u ekstrudatu (Tabele 3.35, 3.36, i 3.39). Takođe,  $L^*$  vrednosti, su najniže kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke, koji su imali i najveći sadržaj HMF-a.

### 3.2.3.4. Mikrobiološka analiza

Mikrobiološka analiza čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata obogaćenih sporednim proizvodima rađena je 24 h nakon pečenja i svakog meseca tokom perioda skladištenja od 6



meseci. Kako su rezultati dobijeni za svaki mesec bili veoma ujednačeni i kako nije bilo značajnih promena u mikrobiološkoj ispravnosti ispitivanih uzoraka čajnog peciva tokom 6 meseci, prikazani su samo rezultati mikrobiološke analize urađene 24 h nakon pečenja (Tabele 3.50, 3.51 i 3.52) i nakon šestog meseca skladištenja (Tabele 3.53, 3.54 i 3.55).

Čajno pecivo je proizvod koji je mikrobiološki stabilan u dužem vremenskom periodu (6-8 meseci). Ukoliko čajno pecivo ima nešto viši sadržaj vlage treba voditi računa o načinu pakovanja i čuvanja kako ne bi došlo do razvoja plesni, ali što se tiče patogenih mikroorganizama, ukoliko je proizvodnja vođena na odgovarajući način, njihov razvoj u ovoj vrsti proizvoda nije uobičajen, tako da ovi proizvodi imaju dug rok trajanja. Iz tog razloga, dodatak bilo koje sirovine, ne bi smeo da utiče na zdravstvenu bezbednost i trajnost ovih proizvoda.

Na osnovu rezultata, može se videti da ni kod jednog ispitivanog uzorka čajnog peciva nije utvrđeno prisustvo enterobakterija; E.coli, sulfitoredujućih klostridija i lipolitičkih bakterija 24 h nakon pečenja, kao i tokom perioda skladištenja od 6 meseci.

**Tabela 3.50.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice 24h nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	20	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	20	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	20	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-3.30.10</b>	3	30	15	20	<10	<10	n.d	n.d	<10	10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	100	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	<10	<10	<10	n.d	n.d	<10	<10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; UK: Ukupan broj kvasaca; UP: Ukupan broj plesni; EC: E.coli; SK: Sulfitoredujuće klostridije; EB: Entero-bakterije; SB: Sporogene bakterije;

**Tabela 3.51.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa 24h nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
P-3.45.10	3	45	10	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-1.30.5	1	30	5	30	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-1.30.15	1	30	15	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.45.15	2	45	15	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.15.15	2	15	15	155	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.30.10	2	30	10	50	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.45.5	2	45	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
P-3.15.10	3	15	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-3.30.10	3	30	15	30	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.30.10	2	30	10	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-1.45.10	1	45	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
P-1.15.10	1	15	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-3.30.5	3	30	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.15.5	2	15	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
P-2.30.10	2	30	10	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; UK: Ukupan broj kvasaca; UP: Ukupan broj plesni; EC: E.coli; SK: Sulfitoredukujuće klostridije; EB: Entero-bakterije; SB: Sporogene bakterije;

**Tabela 3.52.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata ptropa jabuke 24h nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
J-3.45.10	3	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-1.30.5	1	30	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-1.30.15	1	30	15	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.45.15	2	45	15	30	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.15.15	2	15	15	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.30.10	2	30	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.45.5	2	45	5	30	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	30
J-3.15.10	3	15	10	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-3.30.10	3	30	15	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.30.10	2	30	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-1.45.10	1	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-1.15.10	1	15	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-3.30.5	3	30	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
J-2.15.5	2	15	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
J-2.30.10	2	30	10	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; UK: Ukupan broj kvasaca; UP: Ukupan broj plesni; EC: E.coli; SK: Sulfitoredukujuće klostridije; EB: Entero-bakterije; SB: Sporogene bakterije;

**Tabela 3.53.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice 6 meseci nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
<b>K-3.45.10</b>	3	45	10	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	60
<b>K-1.30.5</b>	1	30	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-1.30.15</b>	1	30	15	<10	<10	<10	n.d.	n.d.		10
<b>K-2.45.15</b>	2	45	15	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	20
<b>K-2.15.15</b>	2	15	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-2.45.5</b>	2	45	5	30	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	20
<b>K-3.15.10</b>	3	15	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-3.30.10</b>	3	30	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	140	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-1.45.10</b>	1	45	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	20
<b>K-1.15.10</b>	1	15	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-3.30.5</b>	3	30	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-2.15.5</b>	2	15	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>K-2.30.10</b>	2	30	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; **UK**: Ukupan broj kvasaca; **UP**: Ukupan broj plesni; **EC**: E.coli; **SK**: Sulfitoredukujuće klostridije; **EB**: Entero-bakterije; **SB**: Sporogene bakterije;

**Tabela 3.54.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa 6 meseci nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
<b>P-3.45.10</b>	3	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-1.30.5</b>	1	30	5	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
<b>P-1.30.15</b>	1	30	15	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-2.45.15</b>	2	45	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-2.15.15</b>	2	15	15	920	<10	40	n.d.	n.d.	<10	50
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	230	<10	50	n.d.	n.d.	<10	20
<b>P-2.45.5</b>	2	45	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-3.15.10</b>	3	15	10	20	<10	40	n.d.	n.d.	<10	10
<b>P-3.30.10</b>	3	30	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	20
<b>P-1.45.10</b>	1	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-1.15.10</b>	1	15	10	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
<b>P-3.30.5</b>	3	30	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-2.15.5</b>	2	15	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>P-2.30.10</b>	2	30	10	50	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10

AMB: Aerobne mezofilne bakterije; **UK**: Ukupan broj kvasaca; **UP**: Ukupan broj plesni; **EC**: E.coli; **SK**: Sulfitoredukujuće klostridije; **EB**: Entero-bakterije; **SB**: Sporogene bakterije;

;

**Tabela 3.55.** Rezultati mikrobiološke analize čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata ptropa jabuke 6 meseci nakon pečenja

Uzorak	Nivoi faktora			AMB (cfu/g)	UK (cfu/g)	UP (cfu/g)	EC (cfu/g)	SK (cfu/g)	EB (cfu/g)	SB (cfu/g)
	F	T	E							
<b>J-3.45.10</b>	3	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-1.30.5</b>	1	30	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-1.30.15</b>	1	30	15	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.45.15</b>	2	45	15	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.15.15</b>	2	15	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.45.5</b>	2	45	5	10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-3.15.10</b>	3	15	10	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-3.30.10</b>	3	30	15	20	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	10
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	40	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-1.45.10</b>	1	45	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-1.15.10</b>	1	15	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-3.30.5</b>	3	30	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.15.5</b>	2	15	5	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10
<b>J-2.30.10</b>	2	30	10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10

**AMB:** Aerobne mezofilne bakterije; **UK:** Ukupan broj kvasaca; **UP:** Ukupan broj plesni; **EC:** E.coli; **SK:** Sulfitoredukujuće klostridije; **EB:** Entero-bakterije; **SB:** Sporogene bakterije;

Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pšenične klice (Tabela 3.53) nakon 6 meseci skladištenja došlo je do manjeg povećanja broja aerobnih mezofilnih bakterija i sporogenih bakterija u odnosu na broj istih mikroorganizama primećenih u uzorcima 24h nakon pečenja (Tabela 3.50).

Ekstrudat obogaćen pivskim tropom pokazao je veći uticaj na mikrobiološku stabilnost čajnog peciva. Kod ovih uzoraka razvio se veći broj aerobnih mezofilnih bakterija i sporogenih bakterija u odnosu na uzorke sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i tropa jabuke. Broj ovih bakterija i ukupan broj plesni se kod nekih uzoraka značajno povećao nakon 6 meseci skladištenja (2.15.15 i 2.30.10) (Tabela 3.54).

Na osnovu dobijenih rezultata mikrobiološke analize može se zaključiti da dodatak ekstrudata obogaćenih sporednim proizvodima – pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke, nije uticao na mikrobiološku stabilnost čajnog peciva tokom skladištenja u periodu od 6 meseci.

## 4. ZAKLJUČCI

Prva faza - uticaj obezmašćene pšenične klice na kvalitet testa i čajnog peciva:

- Veličina čestica obezmašćene pšenične klice i sadržaj vlage testa značajno utiču na reološke i teksturalne karakteristike testa za čajno pecivo, dok sadržaj pšenične klice do ispitanih 15 % na bazi zamene pšeničnog brašna nema značajan uticaj. Kod svih uzoraka sa povećanjem veličine čestica pšenične klice smanjuju se maksimalne vrednosti popustljivosti sistema ( $J_{\max}$ ) i povećavaju vrednosti njutnovskog viskoziteta, što ukazuje na čvršću konzistenciju testa. Sa povećanjem sadržaja vode u testu vrednosti njutnovskog viskoziteta i modula elastičnosti ( $G'$ ) i viskoznosti ( $G''$ ) se smanjuju, dok se vrednosti maksimalne popustljivosti povećavaju.
- Relativne vrednosti elastične deformacije tokom faze oporavka uzoraka testa,  $J_e/J_{\max}$ , nalaze se u intervalu od 34,62 do 54,81 % i kod svih uzoraka su manje od vrednosti za kontrolni uzorak testa (60,62 %), a smanjuju se sa povećanjem veličine čestica pšenične klice i sa smanjenjem vlage testa.
- Rezultati reoloških karakteristika ispitivanih uzoraka testa su u skladu sa rezultatima teksturalnih merenja. Uzorci sa manjim sadržajem vlage (20 %) imaju najveće vrednosti  $G'$ , što ukazuje na veću otpornost na deformacije. Takođe, ovi uzorci imaju manje  $J_{\max}$  vrednosti i imaju najveće vrednosti za tvrdoću, dok su vrednosti za rastegljivost testa u ovom slučaju najmanje.
- Veličina čestica pšenične klice ima značajan uticaj na tvrdoća čajnog peciva, na boju i na zrnavost. Tvrdoća čajnog peciva se smanjuje sa povećanjem veličine čestica, a boja na površini postaje svetlija. Povećanje nivoa vlage testa pri zamesu utiče takođe na povećanje svetloće čajnog peciva i na smanjenje broja površinskih pukotina.
- Obezmašćena pšenična klica može biti korišćena u cilju povećanja nutritivne vrednosti čajnog peciva. Zamena pšeničnog brašna obezmašćenom pšeničnom klicom prilikom zamesa testa za čajno pecivo u količini do 15 % povećava sadržaj proteina 1,5 put, dok je količina vlakana i mineralnih materija povećava za približno 2 puta, u odnosu na kontrolni uzorak čajnog peciva.

## Karakterizacija ekstrudata:

- Sva tri ekstrudata kukuruzne krupice obogaćena sporednim proizvodima prehrambene industrije (pšenična klica, pivski trop i trop jabuke) sadrže značajnu količinu vlakana i proteina u čemu prednjači ekstrudat pivskog tropa sa udelom tropa od 45 %, gde je sadržaj ukupnih vlakana čak 34,07 %. Kod ekstrudata tropa jabuke, udeo proteina je najmanji u odnosu na ostale ekstrudate i smanjuje se sa povećanjem udela tropa u ekstrudatu.
- Ekstrudat sa dodatkom pšenične klice je najbogatiji mineralnim materijama, a kod svih ekstrudata se količina mineralnih materija značajno povećava sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu.
- Kod svih uzoraka ekstrudata ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija je manji u poređenju sa kukuruznom krupicom, što znači da je proces ekstrudiranja uticao na smanjenje broja ovih bakterija. Kvasci, plesni, kao i *Escherichia coli* i *Clostridium spp.* nisu detektovani u ovim uzorcima, dok je količina *Enterobacteriaceae*, sporogenih i lipolitičkih bakterija bila manja od 10 cfu/g.

Druga faza – uticaj ekstrudata obogaćenih pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke na kvalitet testa i čajnog peciva:

- Kod svih uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata, nezavisno od vrste sporednog proizvoda u ekstrudatu (pšenična klica, pivski trop ili trop jabuke), veličina čestica ekstrudata ima najveći uticaj na reološke karakteristike testa. Sa smanjenjem veličine čestica i udela ekstrudata dolazi do smanjenja  $J_{max}$  vrednosti kod svih ispitivanih uzoraka testa što ukazuje na to da uzorci koji sadrže sitnije čestice ekstrudata imaju manje fleksibilnu strukturu pri delovanju napona.
- Sposobnost testa da se oporavi nakon delovanja napona, odnosno vrednost  $J_e/J_{max}$  (elastični deo  $J_{max}$ ) kod svih uzoraka testa smanjuje se sa povećanjem udela sve tri vrste ekstrudata, odnosno dolazi do smanjenja broja elastičnih veza u testu.
- Kao i kod reoloških karakteristika, veličina čestica ima najveći uticaj na teksturalne karakteristike kod svih uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata, bez obzira na vrstu ekstrudata, usled različitog afiniteta prema vodi čestica ekstrudata u odnosu na čestice brašna, kao i fizičkog ometanja kontinualne mreže glutena krupnijim česticama dodatih ekstrudata.
- Najveće vrednosti za tvrdoću testa kao i najmanje vrednosti za rastegljivost testa imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, u odnosu na vrednosti ovih teksturalnih

parametara kod uzoraka testa sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke i pšenične klice. Ekstrudati pivskog tropa sadrže veći udeo proteina i vlakana u poređenju sa ekstrudatima pšenične klice i tropa jabuke, a kapacitet vezivanja vode komponenta testa zavisi od sastava brašna i povećava se sa povećanjem udela proteina, vlakana i preželatinizovanog skroba.

- Sa povećanjem procenta zamene pšeničnog brašna ekstrudatima obogaćenim pivskim tropom i tropom jabuke, testo postaje tvrđe i ima manju tendenciju ka proticanju, čime se smanjuje elastičnosti i rastegljivost testa.
- Dodatak ekstrudata kukuruzne krupice obogaćenih pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke utiče na poboljšanje nutritivnog profila čajnog peciva. Dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa značajno se povećava udeo proteina i prehrambenih vlakana u čajnom pecivu.
- Dodatak ekstrudata obogaćenih tropom jabuke ima značajan uticaj na povećanje sadržaja ukupnih vlakana u čajnom pecivu i na povećanje udela rastvorljivih vlakana u ukupnoj masi vlakana.
- Svi uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa i tropa jabuke i neki uzorci sa dodatkom ekstrudata pšenične klice mogu nositi izjavu „izvor vlakana“, dok neki uzorci sa većim udelom ekstrudata pivskog tropa u čajnom pecivu i većim udelom ovog tropa u ekstrudatu mogu biti i nosioci izjave „visoko bogati vlaknima“.
- Sadržaj pepela, odnosno mineralnih materija u čajnom pecivu sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i tropa jabuke, povećava se proporcionalno povećanju udela sporednih proizvoda u ekstrudatu.
- Sa povećanjem veličine čestica i sa smanjenjem udela ekstrudata (nezavisno od vrste ekstrudata), tvrdoća čajnog peciva se smanjuje. Najveću tvrdoću imaju uzorci čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa, a najmanju uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke.
- Zamena pšeničnog brašna ispitivanim ekstrudatima sa sve tri vrste sporednih proizvoda, utiče na povećanje intenziteta tamnije boje uzoraka čajnog peciva i na povećanje udela crvenog tona.
- Vrednosti parametra  $b^*$  su pozitivne kod svih uzoraka, odnosno, kod svih uzoraka nijanse boje se kreću ka žutim tonovima, ali najveće vrednosti ovog parametra boje imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata kukuruzne klice, a najmanje uzorci sa dodatkom

ekstrudata tropa jabuke, za razliku od vrednosti udela crvenog tona, gde najveće vrednosti imaju uzorci sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke.

- Veličina čestica ekstrudata ima značajan uticaj na sve senzorske karakteristike uzoraka čajnog peciva sa dodatkom sve tri vrste ekstrudata. Sa povećanjem veličine čestica ekstrudata uzorci čajnog peciva su svetliji, imaju izraženije pukotine na površini, manju tvrdoću i veću zrnavost. Povećanje udela ekstrudata u čajnom pecivu ima uticaj na povećanje površinskih pukotina, zrnavosti i na ukus čajnog peciva. Udeo sporednog proizvoda u ekstrudatu ima značajan uticaj samo na ukus čajnog peciva kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata pšenične klice i pivskog tropa, dok kod uzoraka sa dodatkom tropa jabuke ovaj sporedni proizvod ima značajan uticaj samo na boju čajnog peciva.
- Ocene za ukus čajnog peciva su najveće kod uzoraka sa dodatkom ekstrudata tropa jabuke u odnosu na ocene za ukus uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa i pšenične klice, odnosno ocenjivači su najvećom ocenom ocenili ukus koji je izazvao dodatak ovog ekstrudata, a najniže ocene su dobili uzorci sa dodatkom ekstrudata pivskog tropa.
- Kod uzoraka čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata obogaćenih sporednim proizvodima sadržaj hidrosimetilfurfurala (HMF) se povećava sa povećanjem udela ekstrudata u čajnom pecivu i sa povećanjem udela sporednog proizvoda u ekstrudatu. Svi uzorci čajnog peciva imaju sadržaj HMF-a manji od 25 mg/kg, što znači da su zdravstveno bezbedni. Uzorci čajnog peciva sa dodatkom ekstrudata imaju znatno veći sadržaj HMF-a u odnosu na uzorke sa dodatkom obezmašćene pšenične klice.
- Ni kod jednog uzorka nakon 6 meseci skladištenja nije došlo do razvoja patogenih mikroorganizama. Dodatak ekstrudata obogaćenih sporednim proizvodima – pšeničnom klicom, pivskim tropom i tropom jabuke u čajno pecivo, nije uticao na mikrobiološku stabilnost finalnog proizvoda i svi uzorci su bezbedni za konzumiranje.



## 5. LITERATURA

1. Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J. J., Pacheco-Vargas, G., Osorio-Díaz, P., Bello-Pérez, L. A. (2012). Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 177-182.
2. Ahmad, S., Ahmed, M. (2014). A review on biscuit, a largest consumed processed product in India, its fortification and nutritional improvement. *International Journal of Science Inventions Today*, 3(2), 169-186.
3. Ainsworth, P., İbanoğlu, Ş., Plunkett, A., İbanoğlu, E., Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702-709.
4. Al-Hooti, S. N., Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. M., Al-Othman, A. (2002). Effect of raw wheat germ addition on the physical texture and objective color of a designer food (pan bread). *Molecular Nutrition Food Research*, 46(2), 68-72.
5. Alonso, R., Rubio, L. A., Muzquiz, M., Marzo, F. (2001). The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals. *Animal Feed Science and Technology*, 94(1), 1-13.
6. Amadò R, Arrigoni E. (1992). Nutritive and functional properties of wheat germ. *International Food Ingredient* 4, 30–34
7. Amemiya, J. I., Menjivar, J. A. (1992). Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs. *Journal of Food Engineering*, 16(1-2), 91-108.
8. Andersson, Y., Hedlund, B. (1990). Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. *Food quality and preference*, 2(4), 201-216.
9. Anderson, M. J., Whitcomb, P. J. (2007). *DoE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation*, second ed. Productivity Press, New York.
10. Angioloni, A., Collar, C. (2009). Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 742-748.
11. AOAC, (2000), *Official Methods of Analysis*, Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.
12. Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Kavousi, P. (2014). Validation of a HPLC method for determination of hydroxymethylfurfural in crude palm oil. *Food chemistry*, 154, 102-107.
13. Armour, K. M., Jones, R. L. (1998). *Physical education teachers' lives and careers: PE, sport, and educational status*. Psychology Press.

14. Arora, A., Camire, M. E. (1994). Performance of potato peels in muffins and cookies. *Food Research International*, 27(1), 15-22
15. Arshad, M. U., Anjum, F. M., Zahoor, T. (2007). Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food chemistry*, 102(1), 123-128.
16. Artz, W. E., Warren, C. C., Mohring, A. E., Villota, R. (1990). Incorporation of corn fiber into sugar snap cookies. *Cereal Chemistry*, 67(3), 303-305.
17. Bajaj, M., Kaur, A., Sidhu, J. S. (1991). Studies on the development of nutritious cookies utilizing sunflower kernels and wheat germ. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 41(4), 381-387.
18. Baldini, V. L. S., Iaderoza, M., Draetta, I. (1982). Chemical and biochemical characterization of wheat germ and maize germ. *Coletanea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, 12, 1-14.
19. Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D., Seaman, S. W., Hayward, S., Sahagian, M., ... Leclerc, Y. (2004). Acrylamide in French fries: influence of free amino acids and sugars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3801-3806.
20. Bhandari, B., D'Arcy, B., Young, G. (2001). Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 453-461.
21. Bhushan, S., Kalia, K., Sharma, M., Singh, B., Ahuja, P. S. (2008). Processing of apple pomace for bioactive molecules. *Critical reviews in biotechnology*, 28(4), 285-296.
22. Bloksma, A. J., Bushuk, W. (1988). Rheology and chemistry of dough. *Wheat Chemistry and Technology*. Vol. II. Y. Pomeranz,(Ed.), American Association of Cereal Chemists, pp. 131-200, St. Paul, Minnesota.
23. Bloksma, A.H., (1971) Rheology and chemistry of dough. In: Pomeranz Y, editor. *Wheat Chemistry and Technology*, 2nd edn, Am. Assoc. Cereal Chemistry, St Paul, Minn, pp. 550-560. ISBN 0913250651
24. Bogar, B., Szakacs, G., Tengerdy, R. P., Linden, J. C., Pandey, A. (2002). Production of  $\alpha$ -amylase with *Aspergillus oryzae* on spent brewing grain by solid substrate fermentation. *Applied biochemistry and biotechnology*, 102(1), 453-461.
25. Bookwalter, G. N., Mustakas, G. C., Kwolek, W. F., McGhee, J. E., Albrecht, W. J. (1971). Full-fat soy flour extrusion cooked: Properties and food uses. *Journal of food Science*, 36(1), 5-9.
26. Brandolini, A., Hidalgo, A. (2012). Wheat germ: not only a by-product. *International journal of food sciences and nutrition*, 63(sup1), 71-74.
27. Bucić-Kojić A. (2008). Utjecaj procesnih uvjeta i načina kruto-tekuće ekstrakcije na ekstraktibilnost fenolnih tvari iz sjemenki grožđa. Doktorska disertacija. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek.

28. Camire, M. E., Camire, A., Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 29(1), 35-57.
29. Camire, M.E. (2001), *Extrusion and nutritional quality, Extrusion Cooking: Technologies and Application* (edited by R. Guy), Pp. 108– 130, Cambridge: Woodhead Publishing Ltd
30. Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I., Serpen, A., Açar, Ö. Ç., Gökmen, V., Fogliano, V. (2009). Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42(9), 1295-1302.
31. Capuano, E., Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 793-810.
32. Chaovanalikit, A. (1999). Anthocyanin stability during extrusion cooking (Master's thesis, in Food Science and Human Nutrition, University of Maine).
33. Charrondiere, U. R., Chevassus-Agnes, S., Marroni, S., Burlingame, B. (2004). Impact of different macronutrient definitions and energy conversion factors on energy supply estimations. *Journal of food composition and analysis*, 17(3), 339-360.
34. Cheftel, J. C. (1990) *Extrusion cooking: Operation Principles, Research Trends and Food Applications. U: Processing and Quality of Foods* (Zeuten P, ur.). Elsevier, London and New York.
35. Cheftel, J.C. (1986), Nutritional effects of extrusion cooking, *Food Chemistry*, 20, 263–283.
36. Chuang, G.C.C., Yeh, A.I., (2006). Rheological characteristics and texture attributes of glutinous rice cakes (mochi). *Journal of Food Engineering* 74(3): 314-323
37. CIE (1976), International Commission on Illumination, *Colorimetry: Official Recommendation of the International Commission on Illumination Publication CIE No. (E- 1.31)*, Paris, France, Bureau Central de la CIE.
38. Dapčević Hadnadjev, T. (2013). Uticaj dodatka emulgujućih skrobova na tehnološke karakteristike testa i kvalitet hleba. *Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad*.
39. de la Hera, E., Talegón, M., Caballero, P., Gómez, M. (2013). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(4), 924-932.
40. Dehnavi, G. Z., Laucerica, J. L., Rodriguez, D., Beaton, M., Taherzadeh, M. J., Martin, C. (2011). Fractionation of the main components of barley spent grains from a microbrewery. *Cellulose Chemistry and Technology*, 45(5), 339.
41. Demirkesen I., Mert B., Sumnu G., Sahin S. (2010). Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 101, 329-336.

42. Demirkesen I., Sumnu G., Sahin S. (2011). Utilization of chestnut flour in gluten-free cakes, Proceedings of the 6th CIGR Section VI International Symposium "Towards a Sustainable Food Chain" Food Process, Bioprocessing and Food Quality Management Nantes, France.
43. Dexter, J. E., Preston, K. R., Martin, D. G., Gander, E. J. (1994). The effects of protein content and starch damage on the physical dough properties and bread-making quality of Canadian durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 20(2), 139-151.
44. Dhanasekharan, M., Wang, C. F., Kokini, J. L. (2001). Use of nonlinear differential viscoelastic models to predict the rheological properties of gluten dough. *Journal of Food Process Engineering*, 24, 193–216.
45. Dhillon, G. S., Kaur, S., Brar, S. K. (2013). Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 789-805.
46. Diplock A.T., Aggot P.J., Ashwel M. (1999), Scientific concept of functional foods in Europe, Consensus document, *Br J Nutr* 81, 1-27
47. Dobraszczyk, B. J., Morgenstern, M. P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of cereal Science*, 38(3), 229-245.
48. Doescher LC, Hosney RC, (1985)Effect of sugar type and flour moisture on surface cracking of sugar-snap cookies, *Cereal chemistry* 62(4): 263-266
49. Downes, F.P., Ito, K. (2001). Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4nd ed., DC: American Public Health Association, Washington.
50. Edwards, N. M., Peressini, D., Dexter, J. E., Mulvaney, S. J. (2001). Viscoelastic properties of durum wheat and common wheat dough of different strengths. *Rheologica Acta*, 40(2), 142-153.
51. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, 124(2), 411-421.
52. EPA, (2011). Generators of food waste.  
<http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/organics/food/fd-gener.htm#food-hier>
53. European Food Safety Authority (EFSA) (2012). Update on acrylamide levels in food from monitoring years 2007 to 2010. *EFSA Journal*, 10, 2938–2976.
54. FAO, (2003). Food energy—methods of analysis and conversion factors. Food and Agricultural Organization of the United Nation, Rome.
55. FAO, (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

56. Faridi, H. (1990). Application of rheology in the cookie and cracker industry. *Dough Rheology and Baked Product Texture*, 363-384
57. Faridi, H., Faubion, J. M. (2012). *Dough rheology and baked product texture*. Springer Science Business Media.
58. Farroni, A., del Pilar Buera, M. (2012). Colour and surface fluorescence development and their relationship with Maillard reaction markers as influenced by structural changes during cornflakes production. *Food chemistry*, 135(3), 1685-1691.
59. Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. pp. 177–182. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
60. Fernández-Ginés, J. M., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Sendra, E., Pérez-Alvarez, J. A. (2003). Effect of storage conditions on quality characteristics of bologna sausages made with citrus fiber. *Journal of Food Science*, 68(2), 710-714.
61. Foresight Project, 2011. *The Future of Food and Farming: Challenges and Choices for Global Sustainability*. The Government Office for Science, London, United Kingdom.
62. Fraser, J. R., Holmes, D. C. (1959). Proximate analysis of wheat flour carbohydrates. IV.—Analysis of wholemeal flour and some of its fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(9), 506-512.
63. Galanakis, C. M. (Ed.). (2015). *Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques*. Academic Press.
64. Gallagher, E. (Ed.). (2009). *Gluten-free food science and technology*. John Wiley & Sons.
65. Gautam, A., Choudhury, G.S. (1999), Screw configuration effects on starch breakdown during twin screw extrusion of rice flour, *Journal of Food processing and Preservation*, 23, 355–375.
66. Gavrilović, M. (2003). *Tehnologija konditorskih proizvoda*. Tehnološki fakultet, Novi Sad,
67. Ghannam, M. T., Esmail, M. N. (1997). Rheological properties of carboxymethyl cellulose. *Journal of applied polymer science*, 64(2), 289-301. *Journal of Applied Polymer Science*, 64 (2), 289–301.
68. Gökmen, V., Açar, Ö. Ç., Köksel, H., Acar, J. (2007). Effects of dough formula and baking conditions on acrylamide and hydroxymethylfurfural formation in cookies. *Food Chemistry*, 104(3), 1136-1142.
69. Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2231-2237.
70. Gómez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., Caballero, P. A. (2010). Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 43(1), 33-38.

71. Górecka, D., Pacholek, B., Dziedzic, K., Górecka, M. (2010). Raspberry pomace as a potential fiber source for cookies enrichment. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 9(4), 451-461.
72. Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zemser, M., ... Márín-Belloso, O. (2001). Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 952-957.
73. Guzman-Tello, R., Cheftel, J. C. (1990). Colour loss during extrusion cooking of  $\beta$ -carotene-wheat flour mixes as an indicator of the intensity of thermal and oxidative processing. *International journal of food science technology*, 25(4), 420-434.
74. Gyura, J., Šereš, Z., Šoronja-Simović, D., Pajin, B. (2016). *Proizvodnja i primena prehrambenih vlakana I deo*, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
75. Hall, K. D., Guo, J., Dore, M., Chow, C. C. (2009). The progressive increase of food waste in America and its environmental impact. *PloS one*, 4(11), e7940.
76. Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 327-347.
77. Hodges, R. J., Buzby, J. C., Bennett, B. (2011). Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. *The Journal of Agricultural Science*, 149(S1), 37-45.
78. Howe, M., Sullivan, B., Frederik, S. (1937). An explanation of the effect of heat treatment on wheat germ. *Cereal Chemistry*, 14, 489-590.
79. ISO 15213 (2010). *Horinzoltana metoda za određivanje broja Clostridium perfringens – Tehnika brojanja kolonija*.
80. ISO 16649-2 (2008). *Metoda za određivanje broja  $\beta$ -glukuronidaza pozitivne Escherichia coli - Tehnika brojanja kolonija na 44°C pomoću 5-bromo-4-hloro-3-indoil  $\beta$ -D-glukuronida*.
81. ISO 21527-2 (2011). *Horizontalna metoda za određivanje broja kvasaca i plesni – Tehnika brojanja kolonija u proizvodima sa aktivnošću vode manjim od 0,95 ili jednakom 0,95*.
82. ISO 21528-2 (2009). *Horinzontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja Enterobacteriaceae – metoda brojanja kolonija*.
83. ISO 4121 (2002). *Sensory analysis - Methodology - Evaluation of food product by methods of using scales*, International Organization for Standardization. Vienna: Austrian Standards Institute.
84. ISO 4833 (2014). *Horinzontalna metoda za određivanje broja mikroorganizama - Brojanje kolonija na 30°C tehnikom nalivanja*.



85. ISO 5492 (1992). Terms relating to sensory analysis. International Organization for Standardization. Vienna: Austrian Standards Institute.
86. ISO 8586 (2012). Sensory analysis - General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. International Organization for Standardization. Vienna: Austrian Standards Institute.
87. ISO 8589 (2007), Sensory analysis–General guidance for the design of test rooms. International Organization for Standardization. Vienna: Austrian Standards Institute.
88. Iwe, M.O., Van zuilichem D.J., Ngoddy P.O., Lammers W., Stolp W. (2004), Effect of extrusion cooking of soy–sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates, *Journal of Food Engineering*, 62, 143–150
89. Jozinović, A. (2015). Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek.
90. Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Miličević, B., Babić, J., Jašić, M., Valek Lendić, K. (2014). Food industry by-products as raw materials in functional food production. *Hrana u zdravlju i bolesti*, 3(1), 22-30.
91. Kan, A. (2012). Chemical and elemental characterization of wheat germ oil (*Triticum spp. L.*) cultivated in Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 7(35), 4979-4982.
92. Kapsak, W. R., Rahavi, E. B., Childs, N. M., White, C. (2011). Functional foods: consumer attitudes, perceptions, and behaviors in a growing market. *Journal of the American Dietetic Association*, 111(6), 806.
93. Kerckhoffs, D. A., Hornstra, G., Mensink, R. P. (2003). Cholesterol-lowering effect of  $\beta$ -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when  $\beta$ -glucan is incorporated into bread and cookies. *The American journal of clinical nutrition*, 78(2), 221-227.
94. Kethireddipalli, P., Hung, Y. C., Phillips, R. D., McWatters, K. H. (2002). Evaluating the role of cell wall material and soluble protein in the functionality of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes. *Journal of Food Science*, 67(1), 53-59.
95. Kichline, T. P., Conn, J. F. (1970). Some fundamental aspects of leavening agents. *Bakers Digest*, 44(4), 36-40.
96. Killeit, U. (1994). Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*, 49(2), 149-155.
97. Kim, C.T., Hwang, E.S., Lee, H.J. (2005), Reducing acrylamide in fried snack products by adding amino acids, *Journal of Food Science*, 70, 354–358
98. Kopjar, M., Šubarić, D., Piližota, V. (2012). Glukozinolati: Biodostupnost i utjecaj na zdravlje ljudi. *Hrana u zdravlju i bolesti*, 1(1), 22-35.

99. Ktenioudaki, A., O'Shea, N., Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116(2), 362-368.
100. Larrauri, J. A. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science Technology*, 10(1), 3-8.
101. Laurikainen, T., Härkönen, H., Autio, K., Poutanen, K. (1998). Effects of enzymes in fibre-enriched baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 239-249.
102. Majzoobi, M., Darabzadeh, N., Farahnaky, A. (2012). Effects of percentage and particle size of wheat germ on some properties of batter and cake. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4), 827-836.
103. Manley D. (2001). *Technology of biscuits, crackers and cookies*, 3th ed, Woodhead Publishing, UK.
104. Masoodi, F. A., Sharma, B., Chauhan, G. S. (2002). Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 57(2), 121-128.
105. McCarthy, A. L., O'Callaghan, Y. C., Piggott, C. O., FitzGerald, R. J., O'Brien, N. M. (2013). Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 117-125.
106. Menjivar, J. A., Faridi, H. (1994). Rheological properties of cookie and cracker doughs. *U: The Science of Cookie and Cracker Production*, H. Faridi (Ed.), Chapman and Hall: New York, 283-322.
107. Milašinović Šeremešić, M., Dokić, L., Nikolić, I., Radosavljević, M., Šoronja Simović, D. (2013). Rheological and textural properties of short (cookie) dough made with two types of resistant starch. *Journal of Texture Studies*, 44(2), 115-123.
108. Mildner-Szkudlarz, S., Bajerska, J., Zawirska-Wojtasiak, R., Górecka, D. (2013). White grape pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on physical and nutraceutical characteristics of wheat biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 389-395.
109. Miletić I., Šobajić S., Đorđević B. (2008). Funkcionalna hrana- uloga u unapređivanju zdravlja. *Journal of Medical Biochemistry*, 27, 3, 367-370.
110. Mišan, A., Šarić, B., Nedeljković, N., Pestorić, M., Jovanov, P., Pojić, M., ... Mandić, A. (2014). Gluten-free cookies enriched with blueberry pomace: Optimization of baking process. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 8(4), 340-343.
111. Montgomery, D. C. (2001). *Design and Analysis of Experiments*, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York.



112. Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D. (2011). Effect of sodium chloride, sucrose and chestnut starch on rheological properties of chestnut flour doughs. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1041-1050.
113. Moreira, R., chenlo, F., Torres, M.D., Prieto, D.M. (2010). Influence of the particle size on the rheological behaviour of chestnut flour doughs. *Journal. Food Engineering*, a 100 , 270–277.
114. Móscicki, L. (2011). *Extrusion - Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. WILEY-VCH, Weinheim, Germany.
115. Mussatto, S. I., Roberto, I. C. (2005). Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce xylitol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2453-2460.
116. Mussatto, S. I., Dragone, G., Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1-14.
117. Myers, R.H., Montgomery, D.C. (2008). *Response Surface Methodology – Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 2nd ed., John Wiley Sons Inc., Canada.
118. Nasir, M., Siddiq, M., Ravi, R., Harte, J. B., Dolan, K. D., Butt, M. S. (2010). Physical quality characteristics and sensory evaluation of cookies made with added defatted maize germ flour. *Journal of Food Quality*, 33(1), 72-84.
119. Nelson A. (2001). *High-Fiber Ingredients*, Eagan Press, St.Paul, Minnesota.
120. Nikolić, I., (2015). Fizičke i senzorske karakteristike funkcionalnih prehrambenih namaza na bazi celuloznih hidrokoloida i brašna pogače uljane tikve. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet Novi Sad.
121. Noguchi, A., Cheftel, J. C. (1983). Extrusion-cooking of protein-enriched cookies. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 30(2), 114-124.
122. O'Shea, N., Arendt, E. K., Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 16, 1-10.
123. Öztürk, S., Özboy, Ö., Cavidoğlu, İ., Köksel, H. (2002). Effects of brewer's spent grain on the quality and dietary fibre content of cookies. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(1), 23-27.
124. Pajin, B. (2009). *Prektikum iz Tehnologije konditorskih proizvoda*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
125. Pejin, J. D., Radosavljević, M. S., Grujić, O. S., Mojović, L. V., Kocić-Tanackov, S. D., Nikolić, S. B., Đukić-Vuković, A. P. (2013). Possible application of brewer's spent grain in biotechnology. *Hemijaska industrija*, 67(2), 277-291.

126. Petisca, C., Henriques, A. R., Perez-Palacios, T., Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2014). Assessment of hydroxymethylfurfural and furfural in commercial bakery products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1), 20-25.
127. Pomeranz, Y., Carvajal, M. J., Hosney, R. C., Ward, A. B. (1970). Wheat germ in breadmaking. I. Composition of germ lipids and germ protein fractions. *Cereal chemistry*.
128. Posner, E.S. (1985). The technology of wheat separation in flour mills, *Association of Operative Millers-Bulletin* (October), 4577-4592.
129. Posner, E. S., Hibbs, A. N. (2005). *Wheat flour milling* (No. Ed. 2). American Association of Cereal Chemists, Inc.
130. Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane, Službeni glasnik RS, br. 85/2013 i 101/2013.
131. Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za fine pekarske proizvode, žita za doručak i snek proizvode, Službeni list SCG, 12/2005 i Službeni glasnik RS, 43/2013 i 68/2016.
132. Prentice, N., Kissell, L. T., Lindsay, R. C., Yamazaki, W. T. (1978). High-fiber cookies containing brewers' spent grain. *Cereal Chem* 55, 712–721.
133. Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products—A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239-249.
134. Qu, D., Wang, S.S. (1994), Kinetics of the formation of gelatinised and melted starch at extrusion cooking conditions, *Starch/Starke*, 46, 225–229
135. Regulation, E. C. (2007). No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, 3-18.
136. Riaz, M. N. (2000). Introduction to extruders and their principles. *Extruders in food applications*, CRC Press, Taylor Francis Group, Boca Raton, Philadelphia 1-23.
137. Rinaldi, V. E. A., Ng, P. K. W., Bennink, M. R. (2000). Effects of extrusion on dietary fiber and isoflavone contents of wheat extrudates enriched with wet okara. *Cereal Chemistry*, 77(2), 237-240.
138. Rodriguez, N. R., DiMarco, N. M., Langley, S. (2009). Position of the American dietetic association, dietitians of Canada, and the American college of sports medicine: nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(3), 509-527.
139. Rufian-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C., Morales, F. J. (2006). Application of a fast high-performance liquid chromatography method for simultaneous determination of furanic compounds and glucosylisomaltol in breakfast cereals. *Journal of AOAC International*, 89(1), 161-165.

140. Rupasinghe, H. V., Wang, L., Huber, G. M., Pitts, N. L. (2008). Effect of baking on dietary fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin powder. *Food Chemistry*, 107(3), 1217-1224.
141. Russ, W. i Meyer-Pittroff, R. (2004). Utilizing waste products from the food production and processing industries. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(1), 57-62.
142. Schanot, M. A. (1981). Sweetener Functionality. AIB Research Dept. Technical Bulletin, 3(4).
143. Schneeman, B. O. (1987). Soluble vs insoluble fiber: different physiological responses. *Food Technology*.
144. Segrè, A., Falasconi, L. (2011). *Il libro nero dello spreco in Italia: il cibo* (Vol. 12). Edizioni Ambiente.
145. Semwal, A. D., Sharma, G. K., Arya, S. S. (1994). Factors influencing lipid autooxidation in dehydrated precooked rice and bengalgram dhal. *Journal of Food Science and Technology (India)*.
146. Serena, A., Knudsen, K. B. (2007). Chemical and physicochemical characterisation of co-products from the vegetable food and agro industries. *Animal Feed Science and Technology*, 139(1), 109-124.
147. Siljeström, M., Westerlund, E., Björck, I., Holm, J., Asp, N. G., Theander, O. (1986). The effects of various thermal processes on dietary fibre and starch content of whole grain wheat and white flour. *Journal of Cereal Science*, 4(4), 315-323.
148. Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L. (2007), Nutritional aspects of food extrusion: a review, *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 916–929
149. Sollars, W. F., Rubenthaler, G. L. (1971). Performance of wheat and other starches in reconstituted flours. *Cereal chemistry*, 48, 397-410.
150. Stauffer, C. E. (1993). Dietary fiber: analysis, physiology and calorie reduction. In: *Advances in baking technology* (pp. 371-399), Ed. Kamel, B. S. Springer US.
151. Stella, P., Cerf, O., Hugas, M., Koutsoumanis, K. P., Nguyen-The, C., Sofos, J. N., Zwietering, M. H. (2013). Ranking the microbiological safety of foods: A new tool and its application to composite products. *Trends in Food Science & Technology*, 33(2), 124-138.
152. Stojanović, Z., Marković, S., Uskoković, D. (2010). Measurement of particle size distribution using laser light diffraction. *Tehnika-Novi materijali*, 19(5), 1-15.
153. Stojceska, V., Ainsworth, P. (2008). The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads. *Food Chemistry*, 110(4), 865-872.
154. Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanog˘lu, S. (2008). The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469-479.

155. Sudha, M. L., Baskaran, V., Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food chemistry*, 104(2), 686-692.
156. Škaljac, S. (2014), Uticaj različitih tehnoloških parametara na formiranje boje tradicionalne fermentisane kobasice (Petrovačka kobasica) tokom standardizacije bezbednosti i kvaliteta, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univezitet u Novom Sadu.
157. Teixido, E., Moyano, E., Santos, F. J., Galceran, M. T. (2008). Liquid chromatography multi-stage mass spectrometry for the analysis of 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Journal of Chromatography A*, 1185(1), 102-108.
158. Teixidó, E., Núñez, O., Javier Santos, F., Teresa Galceran, M. (2011). 5-Hydroxymethylfurfural content in foodstuffs determined by micellar electrokinetic chromatography. *Food Chemistry*, 126, 1902–1908.
159. Tomasini, D., Sampaio, M. R., Caldas, S. S., Buffon, J. G., Duarte, F. A., Primel, E. G. (2012). Simultaneous determination of pesticides and 5-hydroxymethylfurfural in honey by the modified QuEChERS method and liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Talanta*, 99, 380-386.
160. Tomlinson, I. (2013). Doubling food production to feed the 9 billion: a critical perspective on a key discourse of food security in the UK. *Journal of Rural Studies*, 29, 81-90.
161. Troise, A. D., Fogliano, V. (2013). Reactants encapsulation and Maillard reaction. *Trends in food science & technology*, 33(1), 63-74.
162. Tumbas-Šaponjac, V., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Pajin, B., Djilas, S., Petrović, J., Lončarević, I., Vulić, J. (2016). Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies. *Food chemistry*, 207, 27-33.
163. Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J., Li, J. (2002). Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77(1), 35-40.
164. Vergara-Valencia, N., Granados-Pérez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., Bello-Pérez, L. A. (2007). Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *LWT-Food Science and Technology*, 40(4), 722-729.
165. Vukobratović, R., Beleslin, D. (1991). A new wheat product in the nutrition of elderly persons. *Noviproizvo diodzita vishrani Hranai Ishrana* 32,133–137.
166. Wang, F. C., Sun, X. S. (2002). Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, 79(4), 567.
167. Wang, H. J., Thomas, R. L. (1989). Direct use of apple pomace in bakery products. *Journal of Food Science*, 54(3), 618-620.

168. Wang, M., Oudgenoeg, G., van Vliet, T., Hamer, R. J. (2003). Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. *Journal of Cereal Science*, 38(1), 95-104.
169. Weipert, D. (1990). The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal chemistry*, 67(4), 311-317.
170. World Health Organization (2003). Diet, nutrition and prevention of chronic diseases, Report of Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series, No. 894, Geneva.
171. Yağcı, S., Göğüş, F. (2009). Effect of incorporation of various food by-products on some nutritional properties of rice-based extruded foods. *Revista de Agarquimica y Tecnologia de Alimentos*, 15(6), 571-581.
172. Zhang, D., Moore, W. R. (1997). Effect of wheat bran particle size on dough rheological properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(4), 490-496.
173. Zhokhov, S. S., Jastrebova, J. A., Kenne, L., Broberg, A. (2009). Antioxidant hydroquinones substituted by  $\beta$ -1, 6-linked oligosaccharides in wheat germ. *Journal of natural products*, 72(4), 656-661.
174. Zhu, K. X., Lian, C. X., Guo, X. N., Peng, W., Zhou, H. M. (2011). Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 126(3), 1122-1126.
175. Zucco, F., Borsuk, Y., Arntfield, S. D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2070-207.