



UNIVERZITET U NOVOM SADU

TEHNOLOŠKI FAKULTET



**EFEKAT ŠOK ZAMRZAVANJA TESTA
NA TEHNOLOŠKE OSOBINE LISNATOG
PECIVA OBOGAĆENOG VLAKNIMA ŠEĆERNE
REPE I SEMENOM ČIJE (*Salvia hispanica*)**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:

1. dr Dragana Šoronja-Simović
2. dr Olivera Šimurina

Kandidat:

Anastasija Selaković, dipl.inž.

Novi Sad, 2021. godine

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Анастасија Селаковић, дипл.инж.
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	др Драгана Шороња-Симовић, ванредни професор, Технолошки факултет, Нови Сад др Оливера Шимурина, виши научни сарадник, Научни институт за прехранбене технологије у Новом Саду
Наслов рада:	ЕФЕКАТ ШОК ЗАМРЗАВАЊА ТЕСТА НА ТЕХНОЛОШКЕ ОСОБИНЕ ЛИСНАТОГ ПЕЦИВА ОБОГАЂЕНОГ ВЛАКНИМА ШЕЋЕРНЕ РЕПЕ И СЕМЕНОМ ЧИЈЕ (<i>Salvia hispanica</i>)
Језик публикације (писмо):	Српски (латиница)
Физички опис рада:	Страница 224 Поглавља 8 Референци 390 Табела 55 Слика 30 Графикона 37 Прилога 20
Научна област:	Биотехничке науке, Прехрамбено инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Технологија хлађења и замрзавања пекарских производа
Кључне речи / предметна одредница:	Лиснато тесто, замрзавање, технолошки квалитет, влакна шећерне репе, чија семе
Резиме на језику рада:	У циљу задовољена трендова у пекарској производњи у овој дисертацији испитан је ефекат шок замрзавања на квалитет пецива са додатком интегралног пшеничног брашна обогашеног влакнима шећерне репе и чија семеном. Истраживања су спроведена у четири фазе, при чему је у прве три фазе испитиван утицај улазних фактора на технолошка својства теста и физичке (запремина, чврстоћа, нарастање, скупљање, елиптичност) и сензорске (метода бодовања и QDA метода) параметре квалитета пецива. У првој фази истраживања извршена је оптимизација сировинског састава основног и ламинираног теста. Применом фундаменталних реолошких мерења утврђено је да додаток 1% виталног глутена значајно доприноси постизању одговарајуће еластичности, деформационе прилагодљивости на дејство напона, максималне попустљивости пузања и најмањим њутновским вискозитетом основног и ламинираног теста. Испитивањем утицаја количине маргарина за ламинирање (40, 50 и 60%)

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

	<p>и адитива (0,5, 1 и 1,5%) као улазних фактора, утврђено је да се оптимална жилавост и растегљивост ламинираног теста, нарастање око 5, специфична запремина изнад 2,5 cm³/g, мала чврстоћа испод 20 kgs и врло добар сензорски квалитет лиснатог пецива постиже додатком 60% маргарина за ламинирање и 0,5% адитива.</p> <p>На бази резултата друге фазе истраживања применом функције пожељности извршена је оптимизација температуре замрзавања – t_z (-25, -30 и -35°C) и температуре у средишту тестаног комада – t_t (-10, -15 и -20°C). Замрзавање лиснатог теста на температури -35°C до постизања t_t -10°C је оптимални и најкраћи режим замрзавања (15 min и 30 s), са најмањим негативним ефектом на физичке и сензорске параметре квалитета лиснатог пецива.</p> <p>Трећа фаза укључила је оптимизацију сировинског састава замрзнутог лиснатог теста обogaћеног влакнима шећерне репе (0, 5 и 10%) и чија семеном (0, 3 и 6%). Трећи улазни фактор у овој фази истраживања био је ксантан (0, 0,25 и 0,5%). На основу експерименталних резултата и њихове статистичке обраде утврђено је да је у циљу смањења негативног ефекта шок замрзавања и складиштења на квалитет производа од замрзнутог лиснатог теста оптималан додаток 2,25% влакана шећерне репе, 3,6% чија семена и 0,5% ксантана. При поменутом саставу настају најмање промене реолошких својстава теста током замрзавања и складиштења у односу на контролни узорак. Поред врло добрих физичких особина и сензорског квалитета лиснатог пецива након 30 и 120 дана складиштења замрзнутог теста на температури -18°C, поменути сировински састав обезбеђује и побољшање нутритивне вредности пецива. Садржај укупних прехранбених влакана изнад 6,0 g/100 g, као и одговарајућа количина минерала Mn, Fe, Mg и Zn омогућава употребу нутритивних изјава „богат влакнима“, „богат манганом“ и „извор гвожђа, магнезијума и цинка“ при декларисању замрзнутог теста или пецива.</p> <p>У четвртој фази урађена је економска анализа производње лиснатог пецива оптималног садржаја влакана шећерне репе, чија семена и ксантана. Утврђено је да цена производа не може бити на нивоу цене стандардног пецива са додатком интегралног брашна, међутим, као носилац више нутритивних изјава, поменуто пециво припада групи функционалних производа чија је цена на тржишту много већа.</p>
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	22.12.2016.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	<p>Председник: др Биљана Пајин, редовни професор, Технолошки факултет, Нови Сад</p> <p>Члан: др Драгана Шороња-Симовић, ванредни професор, Технолошки факултет, Нови Сад</p> <p>Члан: др Оливера Шимурина, виши научни сарадник, Научни институт за прехранбене технологије у Новом Саду</p> <p>Члан: др Зита Шереш, редовни професор, Технолошки факултет, Нови Сад</p> <p>Члан: др Ивана Николић, доцент, Технолошки факултет, Нови Сад</p>
Напомена:	-

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OR CENTER**

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Anastasija Selaković, dipl.eng.
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Dr Dragana Šoronja-Simović, associate professor, Faculty of Technology, Novi Sad Dr Olivera Šimurina, research associate, Institute of Food Technology, Novi Sad
Thesis title:	EFFECT OF SHOCK FREEZING OF DOUGH ON THE TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PUFF PASTRY ENRICHED WITH SUGAR BEET FIBER AND CHIA SEED (<i>Salvia hispanica</i>)
Language of text (script):	Serbian language (latin)
Physical description:	Number of: Pages 224 Chapters 8 References 390 Tables 55 Illustrations 30 Graphs 37 Appendices 20
Scientific field:	Biotechnical sciences, Food engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Cooling and freezing technology on baking products
Subject, Key words:	Puff pastry, freezing, technological quality, sugar beet fiber, chia seed
Abstract in English language:	In the aim to meet the trends in baking industry, the influence of shock freezing on the quality of puff pastry with added whole wheat flour and enriched with sugar beet fibers and chia seeds was investigated in this doctoral thesis. The experiments were conducted in IV phases, while the effects of input factors on the technological properties of dough and physical (volume, firmness, lift, shrinkage, ellipticity) and sensory (point-based and QDA method) quality parameters of puff pastry were investigated in the first three phases. In the first phase, the raw material composition of base and laminated dough was optimized. By the application of fundamental rheological measurements it was established that the addition of 1% of vital gluten significantly contributes to achieving of adequate elasticity, deformational adaptability to stress, maximum creep compliance and the lowest Newtonian viscosity of the base and laminated dough. By the examination of the influence of input factors, quantity of roll-in margarine (40, 50 and 60%) and puff pastry additive (0.5, 1 and 1.5%), it was determined that the optimal toughness and extensibility of laminated dough, as well as lift around 5, specific volume above 2.5 cm ³ /g, low firmness under 20

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

5б – Statement on the authority,

5в – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5г – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	<p>kgs and very good sensory quality of puff pastry was achieved by the application of 60% of roll-in margarine and 0.5% of puff pastry additive.</p> <p>Based on the results from second phase of the investigation, freezing temperature – t_z (-25, -30 and -35°C) and temperature in dough center – t_t (-10, -15 and -20°C) was optimized using desirability function. The application of freezing temperature -35°C while reaching the t_t -10°C was the optimal and also shortest freezing regime (15 min and 30 s) and had the lowest negative effects on physical and sensory pastry quality parameters.</p> <p>The third phase consisted of the optimization of raw material composition of frozen puff pastry dough enriched with sugar beet fibers (0, 5 and 10%) and chia seeds (0, 3 and 6%). The third input factor in this phase of investigation was xanthan (0, 0.25 and 0.5%). Based on the results and statistical analysis it was determined that the addition of 2.25% of sugar beet fibers, 3.6% of chia seeds and 0.5% xanthan was optimal in terms of reducing the negative effect of shock freezing and storage on the quality of frozen product. With the mentioned composition, the smallest changes in the rheological properties of the dough occurred during freezing and storage in comparison to the control sample. Beside very good physical properties and sensory quality of puff pastry after 30 and 120 day of storage at -18°C, mentioned composition also provided the enhancement of nutritive value of puff pastry. Total dietary fiber content above 6.0 g/100 g, as well as corresponding amount of minerals Mn, Fe, Mg and Zn allows the use of nutritional statements “high-fiber”, “high in manganese” and “source of iron, magnesium and zinc” when writing the declaration for the frozen dough or pastries.</p> <p>In phase four the economic analysis of the production of puff pastry with optimal content of sugar beet fibers, chia seeds and xanthan was done. It was established that price of this product cannot be at the price level of a standard puff pastry with the addition of whole wheat flour. However, as a carrier of several nutritional statements, the mentioned pastry belongs to the group of functional products whose market price is much higher.</p>
Accepted on Scientific Board on:	22.12.2016.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>President: Dr Biljana Pajin, full professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Dr Dragana Šoronja-Simović, associate professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Dr Olivera Šimurina, research associate Institute of Food Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Dr Zita Šereš, full professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>Member: Dr Ivana Nikolić, professor assistant, Faculty of Technology, Novi Sad</p>
Note:	-

LISTA SKRAĆENICA

ALA – alfa linoleinska kiselina (alpha-linoleic acid)

ANOVA – analiza varijanse

ATP sporazum - Sporazum o međunarodnom prevozu lakokvarljivih namirnica i specijalnim sredstvima za njihov prevoz (na francuskom jeziku **Accord Relatif Aux Transports Internationaux de Denrées Périssables Et Aux Engins Spéciaux à Utiliser Pour Ces Transports**)

CAC – Komisija za Codex Alimentarius, međunarodna organizacija za hranu (Codex Alimentarius Commission)

DSC – diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (differential scanning calorimetry)

FDA – Agencija za hranu i lekove (Food and Drug Administration)

FTIR - infracrvena spektroskopija (fourier transform infrared spectroscopy)

HACCP – analiza rizika i kritične kontrolne tačke (hazard analysis critical control point)

LDL - "loš" holesterol / lipoprotein u krvi (low density lipoprotein)

MUFA - mononezasićene masne kiseline (monounsaturated fatty acids)

NMR - nuklearno magnetno rezonantna spektroskopija (nuclear magnetic resonance)

PB – ponderisani bodovi

PDU – prosečni dnevni unos

PUFA - polinezasićene masne kiseline (polyunsaturated fatty acids)

SAFA - Zasićene masne kiseline (saturated fatty acids)

SFC - sadržaj čvrstih triglicerida (solid fat content)

TFA - trans masne kiseline (trans fatty acids)

UAF – ultrazvučno zamrzavanje (ultrasound-assisted freezing)

WHO – Svetska zdravstvena organizacija (World Health Organization)

QDA – kvantitativna deskriptivna analiza (quantitative descriptive analysis)

LISTA SKRAĆENICA U *Rezultati i diskusija*

A – aditiv

BZ – brzina zamrzavanja

ČP – čvrstoća peciva

ČS – čija seme

D – vrednost željene funkcije (desirability)

DS – debljina slojeva

K – ksantan guma

KU – kontrolni uzorak

L – listanje

LT – lepljivost testa

M – margarin

MB – metoda bodovanja peciva

NP – narastanje peciva

OD – uzorak optimalan prema Design-Expert-u

OE – uzorak optimalan prema eksperimentu

OR – optimalni režim

QDAP – QDA peciva

RB – ravnomernost boje

RL – ravnomernost listanja

RT – rastegljivost testa

t_z – temperatura zamrzavanja

t_t – temperature u središtu testanog komada

VP – veličina pora / zapremina peciva

VŠR – vlakna šećerne repe

ZP – zapremina peciva

ŽT – žilavost testa

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1 PRIMENA ZAMRZAVANJA U PEKARSKOJ INDUSTRIJI.....	3
2.1.1 ZAMRZAVANJE TESTA	5
2.1.2 ZAMRZAVANJE DELIMIČNO PEČENIH ILI PEČENIH PROIZVODA.....	7
2.2 OSNOVNI PRINCIPI ZAMRZAVANJA TESTA	8
2.2.1 KINETIKA ZAMRZAVANJA	10
2.2.2 TERMOFIZIČKE PROMENE TOKOM ZAMRZAVANJA	11
2.2.3 FORMIRANJE KRISTALA LEDA.....	13
2.3 UTICAJ ZAMRZAVANJA NA KVALITET TESTA	17
2.3.1 STRUKTURA ZAMRZNUTOG TESTA	19
2.3.2 FERMENTATIVNA AKTIVNOST KVASCA.....	20
2.4 ZAMRZNUTI PROIZVODI OD LISNATOG TESTA	22
2.4.1 SPECIFIČNOSTI PROIZVODNJE LISNATOG TESTA	22
2.4.2 SIROVINSKI SASTAV U FUNKCIJI KVALITETA ZAMRZNUTOG LISNATOG TESTA	23
2.5 ULOGA ADITIVA	29
2.5.1 PREHRAMBENA VLAKNA KAO FUNKCIONALNI DODACI I POBOLJŠIVAČI KVALITETA PROIZVODA.....	33
2.5.2 OPTIMIZACIJA PROCESA ZAMRZAVANJA I USLOVA SKLADIŠTENJA	37
2.6 TRENDVI U ZAMRZAVANJU TESTA.....	39
2.7 ZAKONSKA REGULATIVA I STANDARDI	41
3. CILJ RADA	46
4. MATERIJALI I METODE.....	47
4.1 MATERIJAL	47
4.2 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA BRAŠNA.....	49
4.3 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA MARGARINA.....	49
4.3.1 SASTAV MASNIH KISELINA.....	49
4.3.2 SADRŽAJ ČVRSTIH TRIGLICERIDA	50
4.4 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA TESTA I PECIVA.....	50
4.4.1 POSTUPAK IZRADE PECIVA OD LAMINIRANOG TESTA.....	50
4.4.2 ODREĐIVANJE FIZIČKIH OSOBINA LAMINIRANOG TESTA PRI	

BIAKSIJALNOM ISTEZANJU.....	52
4.4.3 ODREĐIVANJE LEPLJIVOSTI LAMINIRANOG TESTA.....	53
4.4.4 ODREĐIVANJE FUNDAMENTALNIH REOLOŠKIH OSOBINA TESTA ...	53
4.4.5 ZAMRZAVANJE LISNATOG TESTA.....	56
4.5 DEFINISANJE KVALITETA PECIVA	57
4.5.1 MERENJE ZAPREMINE LISNATOG PECIVA	57
4.5.2 ODREĐIVANJE FIZIČKIH OSOBINA LISNATOG PECIVA.....	57
4.5.3 ODREĐIVANJE KINETIKE PROMENE KVALITETA LISNATOG PECIVA TOKOM SKLADIŠTENJA ZAMRZNUTIH UZORAKA	59
4.5.4 ODREĐIVANJE NUTRITIVNE VREDNOSTI PECIVA.....	60
4.6 EKONOMSKA ANALIZA	61
4.7 PLAN ESKPERIMENTA.....	62
4.8 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA, MATEMATIČKO MODELOVANJE I OPTIMIZACIJA	66
5. REZULTATI I DISKUSIJA	69
5.1 OPTIMIZACIJA SIROVINSKOG SASTAVA LISNATOG TESTA.....	69
5.1.1 OPTIMALNA KOLIČINA VITALNOG GLUTENA.....	69
5.1.2 OPTIMALNA KOLIČINA MARGARINA ZA LAMINIRANJE I ADITIVA	79
5.2 OPTIMIZACIJA REŽIMA ZAMRZAVANJA	86
5.2.1 UTICAJ REŽIMA ZAMRZAVANJA I VREMENA SKLADIŠTENJA NA FIZIČKE OSOBINE PECIVA	87
5.2.2 UTICAJ REŽIMA ZAMRZAVANJA I VREMENA SKLADIŠTENJA NA SENZORSKI KVALITET PECIVA	98
5.2.3 OPTIMIZACIJA REŽIMA ZAMRZAVANJA METODOM ŽELJENE FUNKCIJE.....	104
5.2.4 VERIFIKACIJA OPTIMIZACIONIH REŠENJA	118
5.2.5 KINETIKA PROMENE KVALITETA LISNATOG PECIVA U ZAVISNOSTI OD REŽIMA ZAMRZAVANJA I SKLADIŠTENJA 30 DANA	126
5.3 OPTIMIZACIJA SASTAVA FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA OBOGAĆENOG VLAKNIMA ŠEĆERNE REPE I ČIJA SEMENOM.....	128
5.3.1 FIZIČKE OSOBINE LISNATOG TESTA	129
5.3.2 KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA.....	132
5.4 UTICAJ ŠOK ZAMRZAVANJA TESTA NA KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA	139
5.4.1 GLAVNI I INTERAKCIJSKI EFEKTI FUNKCIONALNIH DODATAKA	148
5.5 VERIFIKACIJA OPTIMALNOG SASTAVA FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA.....	160

5.5.1 REOLOŠKA SVOJSTVA OPTIMALNIH UZORAKA TESTA	160
5.5.2 EFEKAT ŠOK ZAMRZAVANJA NA KVALITET LISNATOG PECIVA OPTIMALNOG SASTAVA.....	168
5.5.3 NUTRITIVNI KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA.....	171
5.6 EKONOMSKA ANALIZA OPTIMALNIH UZORAKA	174
6. ZAKLJUČAK.....	177
7. LITERATURA	183
8. PRILOG.....	206

1. UVOD

Ishrana i namirnice koje se unose u organizam imaju vrlo važnu ulogu u kvalitetu života ljudi. Potrošači veću pažnju posvećuju pravilnom načinu ishrane i dnevnom energetsom unosu nego ranije, zbog čega postoji opravdana potreba za kontinualnim ispitivanjima u oblasti primene novih sirovina i dodataka u prehrambenoj industriji. Pored pomenutih zahteva savremeni način života, naročito zaposlenih ljudi u urbanim sredinama nametnuo je potrebu, da se hrana priprema brže, a da bude sveža, ukusna i dostupna po prihvatljivoj ceni. U težnji da se zadovolje potrošači i obezbedi adekvatna ponuda, tokom poslednjih decenija došlo je do značajnih promena u industrijskoj proizvodnji hrane.

Proizvodi od žita, prvenstveno hleb, vekovima predstavljaju osnovne namirnice u ishrani svetske populacije, a pekarska industrija nastoji da obezbedi raznovrsne i sveže proizvode tržištu. Najbolji način da se zadovolje preporuke o dnevnom unosu hranljivih sastojaka je obogaćivanje onih proizvoda koji se konzumiraju svakodnevno. Budući da pekarski proizvodi predstavljaju grupu namirnica koje treba da obezbede čak 50% dnevno potrebne energije, njihovo obogaćivanje vlaknima i razvoj funkcionalnih pekarskih proizvoda je već decenijama u fokusu naučne i stručne javnosti. U cilju relaksacije industrijske kontinualne proizvodnje, ali i smanjenja mogućnosti narušavanja senzorskih svojstava pekarskih proizvoda od pečenja do prodajnih objekata, u savremenom pekarstvu se primenjuju postupci zamrzavanja.

Primenom zamrzavanja testa (*Bárcenas i sar., 2003*) poboljšavaju se uslovi rada, zahvaljujući boljoj organizaciji rada redukuju se troškovi proizvodnje, povećava se iskorišćenje opreme, smanjuju gubici, postiže se standardan kvalitet proizvoda i olakšava njihova distribucija. Sa druge strane postižu se određeni benefiti i za potrošače jer u ponudi imaju sveže pečene proizvode, ili ih sami peku u svojim domovima. Međutim, kvalitet zamrznutog testa ili proizvoda od testa se tokom skladištenja menja, testu se smanjuje moć zadržavanja gasa (*Autio, Sinda, 1992*), pa

proizvodi posle pečenja imaju manju zapreminu i lošija teksturna svojstva proizvoda (*Inoue, Bushuk, 1992*).

U želji da se kvalitet proizvoda zamrznutih testa ili poluproizvoda poboljša, istraživanja o uticaju efekta zamrzavanja i skladištenja na kvalitet zamrznutih proizvoda (*Friberg, 2002; Kontogiorgos, Goff, 2006; Yi, Kerr, 2009a, 2009b; Adams, 2015; Luo i sar., 2018; Zhu i sar., 2019*) i dalje su aktuelna.

Iako su inovacije naučne i stručne javnosti u pomenutoj oblasti stalne, ipak postoje novi izazovi jer je pored unapređenja kvaliteta zamrznutih pekarskih proizvoda veoma važno sagledati i ekonomsku isplativost i prihvatljivost novih proizvoda na tržištu.

2. PREGLED LITERATURE

2.1 PRIMENA ZAMRZAVANJA U PEKARSKOJ INDUSTRIJI

Prema literaturnim podacima, u Evropi postoji preko 350 po obliku, sastavu i senzorskim osobinama različitih, a u isto vreme prepoznatljivih pekarskih proizvoda (Kovačević, 2011). Na osnovu rezultata istraživanja Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije (RZS RS) za 2012. godinu, prosečna godišnja potrošnja hleba po stanovniku iznosila je 107 kg, što je bilo oko tri puta više nego u zapadnoevropskim zemljama. U 2019. godini potrošnja hleba po stanovniku je smanjena za oko 38% i iznosila je 66,7 kg. Zahvaljujući pomenutom smanjenju potrošnja hleba u RS je na nivou potrošnje u većini zemalja EU. Na osnovu podataka iz 2015. godine, godišnja potrošnja hleba po stanovniku u Nemačkoj bila je maksimalna, veća za 290 g od potrošnje u Srbiji (www.makroekonomija.org).

Iako potrošnja hleba u RS opada, podaci RZS RS od 2013. godine ukazuju da je povećana potražnja za pekarskim proizvodima iz grupe peciva. Zaključno sa podacima iz 2016. godine prisutan je trend rasta proizvodnje peciva za 30% (www.stat.gov.rs). Ako se razmatra proizvodnja lisnatog peciva u RS, procenjuje se da je mesečna proizvodnja lisnatog testa najbliža količini od 5000 do 6000 t (Vujović, 2012). Godišnja potrošnja peciva po stanovniku u 2015. godini je iznosila oko 10 kg (www.poljomagazin.com), pri čemu RZS RS ne raspolaže podacima koji se odnose na proizvodnju i potrošnju pojedinih grupa peciva kao što su lisnato ili zamrznuto pecivo. Literaturni podaci ukazuju da je kod potrošača povećano interesovanje za zamrznute pizze. Na osnovu istraživanja koje je sprovedeno u 22 evropske države povećana je prodaja zamrznutih pizza za oko 10% u periodu od 2003. do 2006. godine (Šimurina, Filipčev, 2012).

Prema istraživanju iz 2017. godine jednog od najvećih proizvođača sirovina za pekarsku i poslastičarsku industriju, koje je sprovedeno u cilju sagledavanja razlika u kvalitetu proizvoda dobijenih standardnim postupkom (bez zamrzavanja) i proizvoda

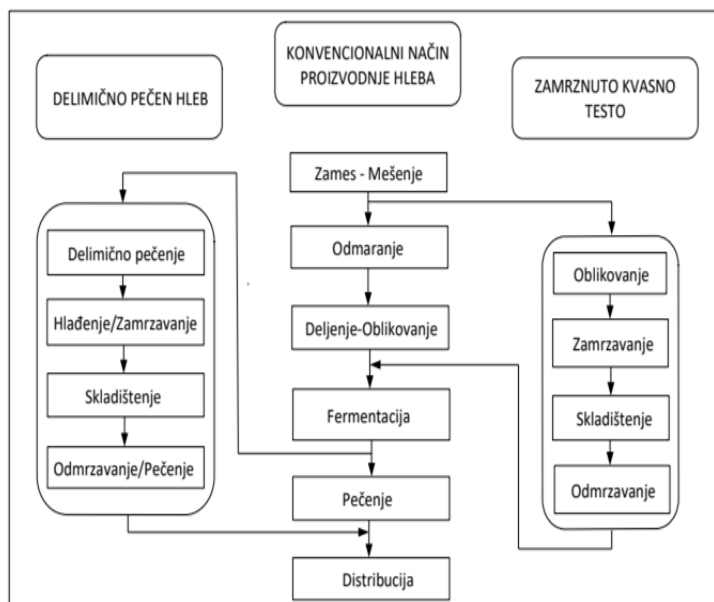
kod kojih je zamrzavanje primenjeno u različitim fazama proizvodnje, najveći broj ispitanika je imao pozitivno mišljenje o zamrznutim proizvodima kod kojih je primenjen proces zamrzavanja (www.puratos.rs).

Zamrzavanje je jedan od najstarijih i najšire primenjivanih fizičkih metoda konzervisanja, koja ukus, teksturu i hranljivu vrednost proizvoda čuva bolje od bilo koje druge metode (Šamšalović, 1994), a primena hlađenja i zamrzavanja u tehnologiji pekarskih proizvoda unela je revolucionarne promene u pekarstvu. Od prve primene postupka zamrzavanja u pekarstvu 1930. godine u SAD, zatim intenzivnijeg korišćenja u Evropi i Japanu šezdesetih godina prošlog veka, kada je nastao koncept pečenja u prodavnicama ("in-store bakery concept") (Kulp i sar., 1995), razvijen je niz tehnoloških postupaka proizvodnje i koncepata prodaje zamrznutih proizvoda. U periodu od 1983. do 1993. godine prijavljeno je više od 100 proizvodnih patenata u oblasti zamrzavanja pekarskih proizvoda.

Danas prisutna „bake off“ tehnologija (BOT) podrazumeva dve faze pečenja, prvu na mestu proizvodnje kada se proizvodi peku delimično, a drugu kada se na prodajnom mestu ili u domovima vrši dodatno pečenje proizvoda. Neke od prednosti ove tehnologije su poboljšana svežina proizvoda, ne previše stručno osoblje za dodatno pečenje, primenjivost na više različitih vrsta proizvoda što omogućava širenje prodajnog asortimana, stvaranje manje zaliha i otpada (www.puratos.rs). Dok ukupna potrošnja hleba stagnira, tržište BOT raste u proseku 10% godišnje (Le-Bail i sar., 2010; Šimurina, Filipčev, 2012). Izazovi BOT su obezbeđivanje hladnog lanca, kao i osoblja, koje u svakom slučaju mora biti obučeno za pravilno pečenje.

Na slici 2.1 prikazana je tehnološka šema primene postupka zamrzavanja u proizvodnji hleba.

Važeći *Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* (2016), na osnovu stepena finalizacije definiše zamrznute pekarske proizvode (pored gotovih, polupečenih i sušenih), kao i brzo zamrznuta testa (pored nepečenih, sušenih i pečenih).



Slika 2.1 Tehnološka šema primene zamrzavanja u proizvodnji hleba: zamrznuto kvasno testo i delimično pečen hleb (Balestra, 2009)

Tehnike zamrzavanja beskvasnog lisnatog testa, kvasnog testa (nefermentisanog i predfermentisanog), polupečenih proizvoda i pečenih proizvoda su specifične za svaku od navedenih grupa (Soupin, 2006).

2.1.1 ZAMRZAVANJE TESTA

Postupak zamrzavanja proizvođačima omogućava da dinamiku proizvodnje i isporuke prilagode zahtevima tržišta. Prema saznanjima Katalenića (2006) ključni razlozi ekspanzije zamrznutih proizvoda na tržištu su sledeći:

- način prodaje velike količine proizvedene hrane koja se ne može plasirati neposredno nakon proizvodnje i dovoljno bogato društvo;
- veliki broj konkurentnih proizvođača;
- nutritivni kvalitet brzo zamrznutih proizvoda nije značajno izmenjen u odnosu na sveže, nezamrzavane proizvode;
- zamrznuti proizvod skladišten pod optimalnim uslovima, zdravstveno je bezbedniji od proizvoda koji se ne zamrzavaju;
- u proizvodnji zamrznutog testa smanjuje se potreba za noćnim radom;

- male pekare, preko svojih proizvodnih sistema „in-out“, prodaju uvek sveže proizvode u prodavnicama koje se nalaze uz sam proizvodni pogon, skraćujući na taj način vreme distribucije i smanjujući rizik od sekundarne kontaminacije zamrznutih poluproizvoda;
- veliki trgovački lanci u ponudi uvek imaju sveže pečene pekarske proizvode dobijene finalizacijom zamrznutog testa i zamrznutih polupečenih proizvoda.

U pekarskoj industriji zamrzavaju se testani komadi, koji predstavljaju poluproizvode i proizvode, snižavanjem temperature ispod 0°C (od nekoliko stepeni ispod nule, pa do -70°C) (www.polj.uns.ac.rs). Tehnološki kvalitet proizvoda od zamrznutog testa nije na nivou kvaliteta proizvoda koji se ne zamrzavaju. Pad kvaliteta se manifestuje manjom zapreminom, neujednačenom strukturom sredine, pucanjem i/ili odvajanjem kore i neujednačenom bojom kore. Poznavanje uzroka pada kvaliteta za vreme zamrzavanja može u značajnoj meri doprineti ublažavanju negativnih efekata zamrzavanja (Kovačević, 2011).

Značajan uticaj na kvalitet proizvoda od zamrznutog testa imaju sirovinski sastav testa i procesni parametri (trajanje mešenja, brzina zamrzavanja, dužina skladištenja i brzina odmrzavanja). Promene kvaliteta proizvoda mogu nastati kao rezultat pojedinačnog ili kombinovanog uticaja navedenih faktora (Mazur, Schmidt, 1968; Varriano-Marston i sar., 1980; Inoue, Bushuk, 1991; Neyreneuf, Delpuech, 1993; Le-Bail i sar., 1998; Lu, Grant, 1999a; Rouille i sar., 2000), međutim brojna istraživanja ukazuju da procesni parametri imaju veći uticaj od sirovinskog sastava testa (Brümmer, Morgenstern, 1990; Nemeth, 1996; Sahlström, 1999).

Istraživanja iz oblasti zamrzavanja u pekarskoj industriji su pretežno usmerena na kvasna testa. Manji broj radova obuhvata istraživanja efekata zamrzavanja i vremena skladištenja na kvalitet beskvasnog testa (Indrani i sar., 2002) jer je i asortiman pekarskih proizvoda od beskvasnog testa manji. Uglavnom su to arapski i azijski ravni beskvasni hleb (flat bread), raženi beskvasni hleb sa kiselim testom i proizvodi od beskvasnog lisnatog testa (Šimurina, Filipčev, 2012). Međutim, na samom početku, primena zamrzavanja u pekarskoj industriji bila je usmerena na beskvasna lisnata testa (Wassermann, 1990). Prema Klariću (2017), beskvasno lisnato testo je idealno za zamrzavanje jer se nakon skladištenja može direktno, bez

odmrzavanja, peći. Indrani i sar. (2002) generalno ističu da zamrzavanje beskvasnog testa ima određene prednosti u odnosu na zamrzavanje kvasnog testa. Prema Šimurina, Filipčev (2012):

- proizvodnja beskvasnog testa je jednostavnija jer se testa bez kvasca lakše obrađuju;
- vreme skladištenja zamrznutog beskvasnog testa je duže (preporuka od 3 do 6 meseci) u odnosu na kvasno testo (preporuka od 2 do 4 nedelje);
- vreme potrebno za finalizaciju proizvoda od zamrznutog beskvasnog testa je kraće (nema završne fermentacije, nepotrebno odmrzavanje);
- negativan uticaj zamrzavanja na kvalitet proizvoda od zamrznutog beskvasnog testa je manje izražen u odnosu na kvalitet proizvoda od kvasnog testa.

2.1.2 ZAMRZAVANJE DELIMIČNO PEČENIH ILI PEČENIH PROIZVODA

Primenom zamrzavanja nakon delimičnog pečenja proizvoda poboljšava se kvalitet proizvoda u odnosu na proizvode koji se dobiju pečenjem zamrznutog testa (*Labutina 1981; Morgenstern, 1985; Bhattacharya i sar., 2003; Rosell, Gómez, 2007*). Prema Kataleniću (2006), pomenuta grupa proizvoda je postigla najveći rast u ponudi novijih zamrznutih proizvoda, zahvaljujući mogućnosti brze finalizacije, odnosno kratkog dodatnog pečenja kako na prodajnim mestima tako i u domaćinstvu. U tehnološkom postupku proizvodnje zamrznutih delimično pečenih proizvoda, najvažnija je faza pretpečenja, prilikom koje se formira struktura sredine pečenog proizvoda ali ne i hrskava kora, a optimalno trajanje pretpečenja je oko 2/3 od vremena potrebnog za potpuno pečenje (*Fik, Surowka, 2002*). Šok zamrzavanje, odnosno brzo zamrzavanje ovih proizvoda u šok komorama na temperaturama -20°C i nižim, omogućuje im održivost od 3 nedelje (*Oesterwind, Pagenstedt, 1982*) do 12 meseci (*Stear, 1990; Ferreira i sar., 1999; Fik, Surowka, 2002; Le-Bail i sar., 2005*) skladištenjem na temperaturi od -18 do -20°C . Nedostatak kvaliteta proizvoda dobijenog finalizacijom zamrznutog delimično pečenog proizvoda je odvajanje pojedinih delova kore od sredine (*Lucas i sar., 2005a; 2005b*).

Postupak zamrzavanja pečenih proizvoda najčešće se koristi pri zamrzavanju finih pekarskih i poslastičarskih proizvoda ili peciva sa bogatijim sirovinskim

sastavom, masnih peciva, biskvita, kolača, proizvoda od sipkavog testa, torti kao i specijalnih vrsta hleba masa od 250 do 350 g (*Šimurina, Filipčev, 2012*). Zamrzavanjem pečenih proizvoda usporava se starenje, odnosno održava se svežina, ukus i aroma proizvoda. Preporuka je da se zamrzavanje sprovodi odmah nakon procesa pečenja i da se temperaturna zona od 30 do -7°C , u kojoj se retrogradacija skroba najbrže odvija, tokom zamrzavanja što brže pređe (*Jurgensen, 1998*). Svojstva sveže pečenog hleba se na temperaturi skladištenja -34°C mogu očuvati u periodu od blizu godinu dana, što je eksperimentalno dokazano (*Kovačević, 2011*). Prilikom zamrzavanja pečenih proizvoda nedostatak može da bude pucanje kore proizvoda, a da bi se odvajanje i pucanje kore izbeglo, ona bi trebala da je što tanja i mekša (*Stephan, 1977; 1980*). Proces zamrzavanja se ne primenjuje na gotovo ispečeno lisnato beskvasno pecivo, jer se tokom skladištenja oštećuje prhka struktura istih (*Schünemann, Treu, 2012*).

2.2 OSNOVNI PRINCIPI ZAMRZAVANJA TESTA

Pre zamrzavanja važan je postupak hlađenja testa. Izjednačavanjem temperature na površini i u sredini testa izjednačava se unutrašnji pritisak u testu, a time se prilikom zamrzavanja sprečava migracija vlage prema sredini testa, stvaranje velikih kristala i površinsko isušivanje (*Šimurina, Filipčev, 2012*).

Prema Kulpu i sar. (1995) zamrzavanje obuhvata dva značajna, međusobno povezana fizička procesa: smanjenje temperature i promenu faza od tečne u čvrstu. Da bi se dobili zamrznuti proizvodi što boljeg kvaliteta, najvažnije je što brže odvijanje ovih procesa. Osnovni princip svih postupaka brzog zamrzavanja je brzo uklanjanje toplote iz testa (*Petrović, 1987*). Da bi se izbegli ili umanjili nedostaci kvaliteta, pri zamrzavanju testanih komada primenjuje se šok zamrzavanje. Temperatura u isparivaču pri šok zamrzavanju mora iznositi bar -30°C (bolje -40°C). Snaga šok komore meri se vremenom koje je potrebno da se temperatura u centru testanog komada spusti na -7°C (*Schünemann, Treu, 2012; Klarić, 2017*).

Lovrić (2003) daje generalnu podjelu postupaka zamrzavanja na dve grupe, i to prema: brzini prodiranja toplote i načinu odvođenja toplote. Prema načinu odvođenja toplote postupci se dele na:

- zamrzavanje strujom ohlađenog vazduha,
- zamrzavanje kontaktom sa hlađenim (metalnim) površinama i
- zamrzavanje imerzijom odnosno uranjanjem u rashladno sredstvo.

Kako se za zamrzavanje koriste rashladni fluidi koji ključaju, Šamšalović (1994) načine zamrzavanja deli prema osobinama i prisustvu posrednika koji odvajaju rashladni fluid od proizvoda, na sledeće tri grupe:

- zamrzavanje u rashladnom fluidu koji ključa,
- zamrzavanje u tečnosti i
- zamrzavanje u vazduhu,

navodeći da se svaki od ovih postupaka može izvoditi kontaktno (kada nema posrednika pri razmeni toplote između proizvoda i rashladnog fluida) ili indirektno (posrednik je metalni zid ili elastično tkivo).

Postupak zamrzavanja strujom ohlađenog vazduha, pri kojem se rashladnim sredstvom hladi vazduh, koji zatim oduzima toplotu proizvodu koji se zamrzava, najduže i najčešće je u primeni (Šamšalović, 1994; Lovrić 2003). U zavisnosti od veličine sistema, postupak se izvodi ili u izolovanim rashladnim komorama, u kojima se isparivač sa ventilatorima tako postavlja da obezbedi ravnomernu cirkulaciju vazduha oko proizvoda koji se zamrzavaju, ili u obliku tunela, kod kojih su isparivači postavljeni tako da vazduh vertikalno struji na proizvod (Šamšalović, 2012). Tuneli mogu da se izvedu i kontinualno, sa pokretnim trakama. U rashladnim komorama, proizvodi se zamrzavaju postavljeni na perforirane tacne ili police, ili se zamrzavaju prolaskom kroz tunel na pokretnoj traci, a u oba slučaja su poslagani isključivo u jednom redu. Zamrzavanje se vrši dok se ne dostigne željena temperatura u središtu testanog komada, a u slučaju zamrzavanja na transportnoj traci vreme potrebno za zamrzavanje proizvoda reguliše se podešavanjem brzine kretanja trake.

2.2.1 KINETIKA ZAMRZAVANJA

Brzina zamrzavanja proizvoda zavisi od intenziteta odvođenja toplote. Brack i Hanneforth (1991) su precizirali da brzina zamrzavanja podrazumeva vremenski period u kojem se temperatura izmerena u unutrašnjosti komada testa sa 10 spusti na -10°C . Brzina zamrzavanja se najčešće izražava u cm/h, a neki autori je označavaju kao $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Na osnovu brzine zamrzavanja razlikuju se (Janković, 2002; Lovrić 2003):

- **sporo zamrzavanje** - brzina zamrzavanja od 0,1 do 0,2 cm/h;
- **brzo zamrzavanje** - brzina zamrzavanja od 0,5 do 3 cm/h;
- **vrlo brzo zamrzavanje** - brzina zamrzavanja od 5 do 10 cm/h;
- **ultra brzo zamrzavanje** - brzina zamrzavanja od 10 do 100 cm/h.

U procesu proizvodnje zamrznutog testa, brzina zamrzavanja zavisi od: popunjenosti kapaciteta prostora za zamrzavanje, veličine komada testa, temperature testa, sirovinskog sastava (Brack, Hanneforth, 1991). Brzina zamrzavanja znatno utiče na gubitke u masi zamrznutog testa, tako da su pri sporijem zamrzavanju gubici veći, jer su u tom slučaju duži vremenski period prisutne relativno velike razlike u parcijalnom pritisku vodene pare što dovodi do većih gubitaka u masi (Bebić, 1974; Čizov, 1979; Volkov, 1982; Vujić, 1983). Brzina zamrzavanja se može menjati variranjem temperature zamrzavanja, brzine rada ventilatora (delimično) i početne temperature komada testa (Brack, Hanneforth, 1991).

U literaturi se mogu naći veoma različita mišljenja o uticaju brzine zamrzavanja na kvalitet zamrznutog testa (Meryman, 1960). Neki autori ukazuju da brzina zamrzavanja u intervalu od 0,17 do 0,43 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ uzrokuje veće smanjenje fermentativne aktivnosti kvasca i značajnije oštećenje glutenske mreže (Havet i sar., 2000). Krenić (1989) je ustanovio da se optimalni kvalitet zamrznutih kvasnih testa dobija snižavanjem temperature brzinom od 0,3 do 0,7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. El-Hady i sar. (1996) su na osnovu izvršenih istraživanja zaključili da su optimalni uslovi zamrzavanja: brzina kretanja vazduha od 3 m/s i temperatura u centru zamrznutog komada -20°C . Razlike u stavovima ukazuju na neophodnost standardizacije i optimizacije procesa zamrzavanja za svaki konkretan slučaj (Dodić, 2007; Šimurina, Filipčev, 2012).

Aktivnost enzima prouzrokuje složene biohemijske promene, koje su slabije izražene pri brzom, nego pri sporom zamrzavanju proizvoda. Maksimalna denaturacija belančevina nastaje između -2 i -3°C, usled kombinovanog delovanja reakcije sredine i povećanja koncentracije u rastvorima zbog pretvaranja vode u led. Nezavisno od brzine kojom se zamrzavanje izvodi, u tom temperaturnom intervalu dolazi do najveće kristalizacije, 60 do 70% (Šamšalović, 1994).

Period potreban da se temperatura u centru proizvoda snizi od početne do krajnje odnosno zahtevane je efektivno vreme zamrzavanja (Šamšalović, 1994; Lovrić, 2003). Pomenuto vreme zavisi od početne temperature proizvoda, mase, oblika i sirovinskog sastava proizvoda, od popunjenosti kapaciteta komore za zamrzavanje, brzine strujanja hladnog vazduha, da li su proizvodi upakovani ili ne (Klarić, 2017).

2.2.2 TERMOFIZIČKE PROMENE TOKOM ZAMRZAVANJA

U početku zamrzavanja, temperatura brzo opada u svim slojevima testa, formiraju se kristali leda i dolazi do pomeranja granice voda/led ka centru proizvoda (Kremić, 1989; Kovačević, 2011). Pri konstantnoj temperaturi rashladnog medijuma i koeficijentu razmene toplote, intenzivnim odvođenjem toplote temperatura se na površini testa snižava ravnomerno, dok je pad temperature u unutrašnjosti znatno sporiji usled zamrzavanja vode. U centru testa temperatura ostaje konstantna do trenutka dostizanja tačke mržnjenja i to u uslovima kada je hlađenje završeno, a zamrzavanje vode još nije počelo. Smanjenje temperature se ubrzava kada je najveći deo vode u centru testa pretvoren u led. Kad granica podele između zamrznutog i nezamrznutog dela dospe do centra testa i u njemu započne formiranje leda, brže se odvija unutrašnja razmena toplote i izjednačavanje temperature u celom testu, jer je njegova temperaturna provodljivost pojačana, a odavanje temperature sa površine je minimalno (Kremić, 1989).

Prema Kulpu i sar. (1995) promena temperature tokom procesa zamrzavanja prikazuje se tipičnom krivom zamrzavanja (slika 2.2), na kojoj se uočavaju tri faze:

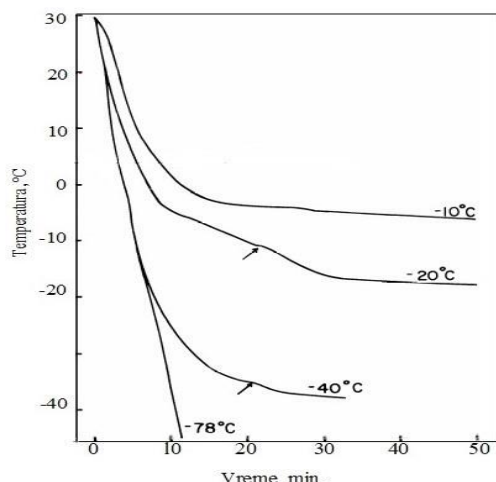
- znatno smanjenje temperature testa u fazi **hlađenja iznad zone mržnjenja proizvoda,**

- minimalna promena temperature testa tokom formiranja kristala leda u fazi **hlađenja u zoni mržnjenja proizvoda** i
- znatno smanjenje temperature testa u fazi **hlađenja ispod zone mržnjenja proizvoda**.

Na brzinu hlađenja iznad zone mržnjenja proizvoda utiče toplotna provodljivost, koja zavisi od sastava testa, strukture i veličine čestica. Brzina hlađenja testa zavisi od temperaturne razlike između komada testa i rashladnog medijuma, a zbog toplotne provodljivosti površinski slojevi komada testa hladniji su od slojeva bližih centru. Prilikom hlađenja iznad zone mržnjenja odvodi se specifična toplota, što u testu dovodi do porasta viskoziteta tečne faze i redukcije nivoa raznih reakcija.

Kada se temperatura testa ohladi do temperature mržnjenja, odvodi se pored specifične toplote i latentna toplota fazne transformacije, kako bi došlo do prelaza vode iz tečnog u čvrsto agregatno stanje. Ovaj prelaz zahteva veće ulaganje energije u hlađenje, usled čega dolazi do smanjenja brzine zamrzavanja, što na krivi zamrzavanja potvrđuje zaravan u okolini tačke mržnjenja. Dužina zaravni se skraćuje ukoliko se temperaturna razlika između komada testa i rashladnog medijuma poveća, odnosno temperatura zamrzavanja snizi, čime se postiže brže hlađenje i niži stepen nastajanja leda.

Na krivi zamrzavanja može da se identifikuje eutektička tačka, u kojoj teoretski, tečna faza testa u potpunosti prelazi u čvrstu fazu. Na slici strelice označavaju eutektičke tačke na oko -12 i -35°C . Potpuni prelaz testa iz tečne u čvrstu fazu je usled prisustva raznih rastvorenih materija (kuhinjska so kristališe u eutektičkoj tački, dok šećer prilikom ugušćivanja formira sirup) onemogućen, tako da je eutektički sistem u testu smeša leda, kristalisanih rastvorenih supstanci i rezidualne tečne faze sa nekristalisanim rastvorenim supstancama.



Slika 2.2 Krive zamrzavanja hlebnih testa u vodenom kupatilu pod naznačenim, kontrolisanim temperaturnim uslovima (Kulp i sar., 1995)

Tokom zamrzavanja proizvoda, koeficijent provodljivosti toplote se povećava, dok se specifična toplota i specifična težina smanjuju, i to specifična težina zbog širenja leda čak 5 do 6%. Iz toplote koja se odvodi isparavanjem, a koja predstavlja razliku ukupne toplote koja se odvodi od proizvoda i toplote koja se odaje konvekcijom i zračenjem, mogu se izračunati maseni gubici prilikom zamrzavanja proizvoda. Srednja vrednost masenih gubitaka prilikom običnog zamrzavanja u vazduhu iznosi 1 do 3% od prvobitne mase proizvoda. Veličina masenih gubitaka zavisi od uslova pod kojim se zamrzavanje izvodi, dužine procesa, hemijskog sastava proizvoda, prisustva ambalaže i stanja površine. Maseni gubici pri brzom zamrzavanju neupakovanog proizvoda su znatno manji od gubitaka pri sporom zamrzavanju (Šamšalović, 1994).

2.2.3 FORMIRANJE KRISTALA LEDA

Zamrzavanje je kristalizacija tečne vode u čvrsto stanje odnosno led, koja nastupa kada temperatura vode padne ispod 0°C, ili u testu, kada temperatura dostigne temperaturu mržnjenja tečne faze.

Kristali leda formirani tokom zamrzavanja mogu znatno uticati na integritet ćelija, što dovodi do pogoršanja i gubitka kvaliteta proizvoda. Generalno je utvrđeno da su veličina, morfologija i distribucija kristala leda u velikoj meri povezani sa

uslovima zamrzavanja poput brzine zamrzavanja, koja utiče na nukleaciju i stvaranje ledenih kristala. Stvaranje izuzetno velikih kristala leda i neravnomerna raspodela istih u proizvodu može nepovratno da ošteti ćelijsku strukturu, uzrokujući loša senzorska svojstva i gubitak hranljivih sastojaka, dok finiji i pravilniji kristali leda nastali pri velikoj brzini zamrzavanja dovode do manjih oštećenja (*Anese i sar. 2012; Su i sar., 2014; Liang i sar., 2015; Mok i sar., 2015; Dalvi-Isfahan i sar., 2017; Jia i sar., 2017; Muñoz i sar., 2017; Kiani, Sun, 2018*). Da bi se bolje upravljalo kristalizacijom i postiglo željeno stanje kristala, presudna je pravilna karakterizacija i kontrola kristalne strukture (*Zhu i sar., 2019*).

Zamrzavanje proizvoda odvija se u tri faze: predhlađenja radi odvođenja osetne toplote i snižavanja temperature proizvoda na početnu tačku zamrzavanja, odvođenja latentne toplote fuzije i prelaz vode u kristale leda, i kontinualnog hlađenja ispod tačke mržnjenja do snižavanja temperature proizvoda na željenu temperaturu zamrznutog skladištenja. Kristalizacija leda tokom druge faze sastoji se od dva uzastopna procesa nukleacije i rasta kristala, dok u trećoj fazi prilikom naknadnog skladištenja dolazi do rekristalizacije (*Sun, 2016*). Rekristalizacija je proces u kojem nastaju promene karakteristika kristala leda, kao što su oblik, veličina, broj, orijentacija i savršenost (*Fennema i sar., 1973*). Do rekristalizacije tokom zamrznutog skladištenja dolazi nakon početne kristalizacije, pri kojoj se na površini većih kristala formiraju stabilniji kristali, smanjujući slobodnu površinsku energiju celokupnog kristalnog sistema.

Nukleacija je stohastički proces, u kojem se veliki broj molekula iz trodimenzionalnog prostora grupiše formirajući termodinamički stabilnu agregaciju, a kritično jezgro predstavlja jezgro za dalji rast kristala leda (*Russo Krauss i sar., 2013*). Na početku, molekuli se međusobno sudaraju i formiraju amorfne grupe. Daljim sudarima amorfnih grupa, monomeri se grupišu u kristalnu rešetku i nastaju stabilna jezgra. Nukleacija se sastoji od primarne i sekundarne nukleacije, a u primarnoj nukleaciji postoje i homogena i heterogena nukleacija. Nečistoće pomažu u obezbeđivanju dela energije neophodne za nukleaciju, potrebno je niže superhlađenje, što olakšava heterogenu nukleaciju (*Sun, 2016*). Superhlađenje je hlađenje ispod tačke mržnjenja odnosno formiranje leda nakon što proizvod dostigne

temperaturu ispod tačke mržnjenja. U višekomponentnom sistemu kao što je hrana, heterogena nukleacija je poželjnija. Novije studije bave se istraživanjima kinetike nukleacije i rasta kristala, posebno primarnom nukleacijom. Kinetiku sekundarne nukleacije je na molekularnim nivoima teško postići, pretpostavlja se zbog toga, što možda postoji mnogo mehanizama sekundarne nukleacije (*Kiani, Sun, 2011*). Na brzinu rasta kristala leda utiču dva faktora: prenos toplote i prenos mase. Tokom kristalizacije leda oslobađa se latentna toplota, što uzrokuje smanjenje slobodne energije na površini čvrsto/tečno i formiranje stepena superhlađenja. Nakon formiranja stabilnog jezgra, molekuli veći od kritične veličine grupišu se u kristale vidljive veličine, što predstavlja proces rasta kristala leda.

Homogena nukleacija podrazumeva kristalizaciju leda nakon spontanog formiranja nukleusa, a zamrzavanje bez efekta nukleacije može da se desi tek na temperaturi oko -40°C . Na temperaturama mnogo višim od -40°C razne čestice prisutne u tečnoj fazi testa postaju nukleusi kristalizacije, a ova se vrsta kristalizacije naziva heterogenom. Nukleacija zahteva znatno smanjenje temperature, međutim kada nukleus jednom nastane, kristal leda može da raste i uz minimalno hlađenje. Prisustvo različitih rastvorenih materija u tečnoj fazi testa dodatno komplikuje proces nastajanja leda, koji je složen proces i inače, kada se odvija u čistoj vodi (*Chandrasekaran, King, 1971; King, 1975; Hsu i sar., 1979; Reid, 1983; Mallett, 1992; Kulp i sar., 1995; Sharadanant, Khan, 2003; Kiani, Sun, 2011; Klarić, 2017*).

Brzina kristalizacije zavisi od brzine odvođenja toplote i morfologija kristala kontrolisana je brzinom odvođenja toplote. Odnos brzine nukleacije i brzine rasta kristala leda definiše oblik i veličinu u testu formiranih kristala leda, a na kristalizaciju leda utiče značajnije od brzine zamrzavanja (*Kulp i sar., 1995*). Ban i sar. (2016) ističu, da je ključni faktor veličine kristala leda u zamrznutom testu brzina zamrzavanja. Osnovna razlika između sporog i brzog zamrzavanja je u veličini, broju i lokaciji nastalih kristala leda u zamrznutom proizvodu. Kod većine proizvoda formiranje kristala leda započinje na temperaturi nešto ispod 0°C , a najveći broj njih se formira između -1 i -4°C . Određena količina vode zadržava se u tečnom stanju čak i pri -40°C . Pri brzom zamrzavanju inicirana je brza nukleacija i formiranje sitnijih kristala koji manje oštećuju strukturu ćelija, a promene koje nastaju u testu usled

zamrzavanja su manje (Lovrić, 2003). Brzo zamrznuti proizvodi prilikom odmrzavanja gube manje tečnosti od sporo zamrznutih, što doprinosi njihovom boljem kvalitetu (Čizov, 1979., Šamšalović, 2012). Prilikom sporog zamrzavanja testa, nukleacija je spora (Kulp i sar., 1995), veličina formiranih kristala leda je u proseku 100 μm . Veličina kristala leda koji nastaju tokom zamrzavanja zavisi i od temperature rashladnog sredstva (veličina kristala leda je nekoliko mikrometara pri temperaturi rashladnog sredstva od -50 do -100°C , a ukoliko je temperatura rashladnog sredstva između -150 i -180°C veličina kristala je u intervalu 20 - 200 μm) (Vereš, 1991).

Tokom skladištenja testa u zamrznutom stanju, rast kristala leda zavisi od količine neapsorbovane ili slobodne vode. Po Räsänen (1998), potrebno je da se količina slobodne vode u testu koje se zamrzava svede na minimum, smanjivanjem ukupne količine dodate vode u zames. Za vreme skladištenja u zamrznutom stanju veličina kristala leda raste, posle 6 meseci kristali dostižu dužinu od skoro 500 μm . U slučaju primene velikih brzina zamrzavanja (100cm/h), fenomen rasta kristala leda (rekristalizacija leda) u porama testa inhibiran je skoro u potpunosti (Baier-Schenk, 2005). Kalorimetrijska (DSC) merenja zamrznutog testa pokazala su da pri praktičnim uslovima oko 53% od ukupnog sadržaja vode prelazi u oblik leda a da se tokom skladištenja testa u zamrznutom stanju količina leda ne menja (Baier-Schenk, 2005). Deo vode prisutne u zamrznutom testu ne kristališe tokom skladištenja, zato što relevantna faza postaje previše viskozna da bi se omogućila nukleacija i rast čvrste faze (leda). Ovo je rezultat procesa koncentrovanja matriksa testa tokom procesa zamrzavanja. Proces koncentrovanja tokom zamrzavanja izaziva napone unutar strukture testa koji, ako je postupak hlađenja dovoljno brz, ne mogu da se opuste. Detalji ovog mehanizma u multikomponentnom i multifaznom sistemu, kao što je testo, velikim delom su još uvek nerazjašnjeni (Cauvain, 2003).

Temperatura "staklastog prelaza" obuhvata temperaturnu oblast u kojoj je viskozitet sistema maksimalan i više nije moguć prelaz molekula vode iz tečne u čvrstu fazu, odnosno nema daljeg rasta kristala leda. Pri temperaturi nižoj od temperature "staklastog prelaza", kretanje molekula je skoro sasvim onemogućeno. U delu istog sistema, koji još nije dostigao temperaturu "staklastog prelaza", odvija se i dalje rekristalizacija leda (Cauvain, 2003). Svaki postupak, koji može da dovede do

smanjenja rekristalizacije leda u testu, kao što su brzo zamrzavanje ili skladištenje u zamrznutom stanju na temperaturi ispod temperature "staklastog prelaza" testa, a to je -13°C , poboljšava pecivne osobine zamrznutog testa (Baier-Schenk, 2005).

2.3 UTICAJ ZAMRZAVANJA NA KVALITET TESTA

Ako postupak pripreme i zamrzavanja nije odgovarajući ili uslovi skladištenja nisu optimalni, promene u testu nastale usled prelaska vode u led mogu da prouzrokuju pogoršavanje kvaliteta gotovih proizvoda (Zhu, 2019). Brojni radovi istražuju mogućnosti poboljšanja kvaliteta hleba od zamrznutog testa kontrolisanjem procesnih parametara: brzine zamrzavanja, uslova skladištenja zamrznutog testa, vremena predfermentacije (Yi, Kerr, 2009a; Yi, Kerr, 2009b; Le-Bail i sar., 2010; Luo i sar., 2018).

Generalno, zamrznuti proizvod ima tamniju boju zbog optičkih efekata koje izazivaju kristali leda, manju gustinu zbog širenja pri zamrzavanju i izmenjene toplotne karakteristike. Međutim, sitniji kristali leda imaju veću sposobnost odbijanja i veći koeficijent prelamanja svetlosti, te su brzo zamrznuti proizvodi svetlije boje u odnosu na sporo zamrznute (Šamšalović, 1994).

Hleb proizveden od zamrznutog kvasnog testa ima manju zapreminu i lošiju teksturu finalnog proizvoda što je posledica negativnog efekta zamrzavanja na fermentativnu aktivnost kvasca i kapacitet zadržavanja nastalog ugljen dioksida (Selomulyo, Zhou, 2007). Oštećenje glutenske strukture testa i smanjenje fermentativne aktivnosti kvasca su dva najbitnija faktora koja dovode do pogoršanja kvaliteta hleba.

Niske temperature tokom zamrzavanja inhibiraju mikroorganizme, redukuju hemijske reakcije i zaustavljaju ćelijski metabolizam (Delgado, Sun, 2001). Efekat zamrzavanja na inhibiciju mikroorganizama se prema Šimurina, Filipčev (2012) može objasniti vrednostima minimalnih temperatura na kojima se patogeni mikroorganizmi razvijaju, tabela 2.1.

Kada su u pitanju proizvodi od beskvasnog testa do promena u kvalitetu dolazi isključivo zbog efekata zamrzavanja na glutensku strukturu testa. Proizvodi od zamrznutog beskvasnog lisnatog testa, u periodu skladištenja do dve nedelje, nemaju lošiji senzorski kvalitet u odnosu na proizvod od nezamrznutog testa, jer je struktura sredine proizvoda uslovljena samo karakterističnom slojevitošću lisnatog testa. Međutim, nakon dužeg skladištenja od dve nedelje, dolazi do oštećenja strukture glutena i pogoršanja kvaliteta gotovih proizvoda od lisnatog testa (Friberg, 2002; Zounis i sar., 2002). Nastale promene smanjuju moć zadržavanja vodene pare i aromatičnih materija koje nastaju tokom pečenja, što dovodi do smanjenja visine proizvoda (Friberg, 2002).

Tabela 2.1 Minimalne temperature rasta patogenih mikroorganizama

Klasa	Vrsta mikroorganizma	Minimalna temperatura rasta (°C)
Mesofili	<i>Salmonella spp.</i>	5,1 – 8,7
	<i>Staphylococcus aureus</i>	9,5 – 10,4
Psihrotrofi	<i>Escherichia coli</i>	7,1
	<i>Listeria monocytogenes</i>	-0,1 do +1,2
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	-0,9 do -1,3
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	-0,1 do +1,2

Elektroforetskom analizom je ustanovljeno da u zamrznutom testu ima manje glutenina velike molekulske mase nego u svežem testu, što je posledica njegove depolimerizacije tokom zamrzavanja (Keneddy, 2000). U zamrznutom testu jedan deo vode je u čvrstom stanju (led), a drugi deo vode je vezan adsorpciono unutar proteinskog i ugljenohidratnog kompleksa (Šimurina, Filipčev, 2012). Preraspodela vode, povećan sadržaj slobodne vode i rekristalizacija leda je razlog pomenute depolimerizacije frakcije glutenina velike molekulske mase (Sharadanant, Khan, 2006).

Slabljenje glutenske mreže može da bude prouzrokovano i delovanjem enzima proteaza, koji se prirodno nalaze u brašnu. Visok nivo ovih enzima u brašnu od celog zrna pšenice dodatno otežava proizvodnju zamrznutog lisnatog testa (Gélinas i sar., 1995). Međutim, novija istraživanja (Adams i sar., 2015) pokazuju da dodatak

vlaknastih komponenti smanjuje redistribuciju vode u testu tokom zamrzavanja i na taj način smanjuje narušavanje glutenske strukture.

2.3.1 STRUKTURA ZAMRZNUTOG TESTA

Zahvaljujući formiranju glutenske strukture tokom zamesa pšenično testo ima sposobnost da zadržava gasove nastale tokom fermentacije, što povoljno utiče na zapreminu i teksturu pekarskih proizvoda. Od stepena oštećenja glutenske strukture tokom zamrzavanja zavise i promene kvaliteta proizvoda od zamrzanog testa u odnosu na nezamrzavane proizvode (*Wassermann, 1990*). Prema istraživanjima Akbariana i sar. (2015) promene u strukturi zamrznutog testa takođe mogu uticati na senzorske karakteristike hleba, kao što su čvrstoća i osobine pri žvakanju. Ukoliko je vreme skladištenja zamrznutog hlebnog testa kratko, u glutenskoj mreži ostaju brojne sitne sferne granule skroba. Nakon nekoliko nedelja skladištenja, granule skroba pokazuju tendenciju odvajanja od glutenske mreže koje može izazvati njihovo oštećenje. Sadržaj oštećenog skroba povećava se nakon zamrzavanja i tokom skladištenja zamrznutog testa. Određeni sadržaj oštećenog skroba predstavlja benefite za zamrznuto testo.

Distribucija kristala leda može se proučavati različitim tehnikama mikroskopiranja. Ranije istraživanja su potvrdila da kristali leda nastaju uglavnom na spoljnim ćelijama gasa (*Gan i sar., 1990*). Međutim, za razliku od zamrzavanja druge porozne hrane, nakon nekoliko nedelja skladištenja zamrznutog testa, kristali leda otkriveni su u gasnim ćelijama i smatrani su oštećenjima mrežaste strukture testa (*Efi i sar., 2003*).

Prema Zounisu i sar. (2002) na elektronskom mikroskopu se jasno uočavaju razlike u strukturi nezamrznutog i zamrznutog testa. Nezamrznuto testo poseduje kompaktnu strukturu, sa velikim brojem sfernih šupljina i skrobnih granula priljubljenih uz gluten koji se uočava u vidu dugačkih niti. U zamrznutom testu, zbog formiranja kristala leda, gasni mehurići inkorporirani u skrob/glutenskom matriksu su u obliku sfernih ali i deformisanih višeuugaonih šupljina. Glutenske niti na snimku su malo više rastegnute u odnosu na nezamrznuti uzorak testa. Isti autori pratili su uticaj

skladištenja zamrznutog testa na -20°C na strukturu testa. Nakon 24 h skladištenja testo poseduje znatno porozniju strukturu, sa značajno većim brojem sfernih i deformisanih šupljina. Posle 10 nedelja broj šupljina u strukturi raste, raspodela veličina postaje neujednačenija, znatno je veći broj uglastih šupljina nego sfernih, a dugačke niti glutena nisu uočljive. Kontinualna struktura testa se dodatno narušava ukoliko se zamrznuto testo skladišti do 27 sedmica, jer se pri dužem skladištenju granule skroba izdvajaju iz glutenske mreže, što dodatno utiče na povećanje veličine i broja deformisanih šupljina u strukturi testa. Nesumnjivo je, da skladištenjem zamrznutog testa dolazi do oštećenja njegove strukture usled rasta kristala leda i migracije vode.

Esselink i sar. (2003) objašnjavaju da tokom skladištenja zamrznutog testa dolazi do postepene dehidracije glutena. Oslobođena voda doprinosi formiranju krupnijih kristala leda koji mehanički oštećuju strukturu glutena. Preraspodela vode i rekristalizacija leda u zamrznutom testu za vreme njegovog skladištenja može indukovati i promene u strukturi i rasporedu molekula amiloze i amilopektina, a takve promene se kasnije odražavaju na želatinizaciju i retrogradaciju skroba. Pri dužem skladištenju zamrznutog testa pomenute promene na skrobu su intenzivnije (Ribotta i sar., 2001, 2003a).

2.3.2 FERMENTATIVNA AKTIVNOST KVASCA

Za proizvodnju kvasnog testa koje će se zamrzavati, koriste se namenski sojevi pekarskog kvasca, kriorezistentni i osmotolerantni kvasac (Casey, Foy, 1995), sa desetak procenata višim ili nižim sadržajem proteina u suvoj materiji od uobičajenih sojeva i visokim sadržajem trehaloze (Filipović, Kaluđerski, 2000), koja je efikasan zaštitni agens za očuvanje celovitosti ćelijske membrane i unutrašnje strukture kvasca od oštećenja (Yokoigawa i sar., 2006; Shima, Takagi, 2009). Prema Kulpu i sar. (1995), moguća je i primena standardnog pekarskog kvasca ali pod uslovom, da se isključi prevremena aktivacija kvasca održavanjem temperature testa na 25°C . Zbog prevremene aktivacije, tokom skladištenja zamrznutog testa, dolazi do smanjenja fermentativne aktivnosti kvasca (Stauffer, 1993a). Prema nekim autorima, pekarski kvasac manje fermentativne aktivnosti, kao što je suvi kvasac, daje bolje

rezultate u pogledu trajnosti zamrznutog testa (*Kulp i sar., 1995; El-Hady i sar., 1999*). Ali, skladištenjem dužim od 20 nedelja, vreme fermentacije je kod suvog kvasca uvek duže nego kod svežeg kvasca (*Wolt, 1984*).

Tokom zamrzavanja kvasnog testa dolazi do cepanja kvasnih ćelija (*Čizov, 1979; Volkov, 1982*), što je više izraženo pri sporom zamrzavanju kada nastaju veći kristali leda, koji oštećuju i glutensku mrežu i ćelije kvasca, smanjujući time stabilnost testa i vitalnost kvasca. Aglomeracijom intracelularnih kristala leda dolazi do oštećenja ćelijskih membrana i time smrti ćelije kvasca (*Acker, McGann, 2003*), dok aglomerati ekstracelularnih kristala leda mogu povećati osmotski pritisak unutar ćelije dovodeći do dehidracije, odnosno osmotskog oštećenja ćelija kvasca (*Devireddy i sar, 2000*). Sa druge strane, kristali leda uzrokuju mehaničko oštećenje glutenske strukture testa što značajno narušava svojstva kvasnog testa (*Baier-Schenk i sar., 2005b*). Zamrzavanjem u šok komorama u temperaturnom opsegu od -20 do -70°C obezbeđuje se najbolja održivost kvaliteta zamrznutog testa tokom skladištenja preko dve nedelje (*Kovačević, 2001*). U zavisnosti od uslova skladištenja (temperature), nastale negativne promene u testu tokom zamrzavanja mogu imati veće ili manje posledice na kvalitet proizvoda nakon odmrzavanja i pečenja (*Ribotta i sar., 2003b*). Pretpostavlja se da su posledice zamrzavanja na kvaščeve ćelije koje predstavljaju strukturne komponente testa, veće u odnosu na oštećenja koja bi nastala direktnim zamrzavanjem kvasca, jer je kvasac u testu izložen većim promenama usled zamrzavanja/odmrzavanja, visokog osmotskog pritiska i oksidativnog stresa (*Tsolmonbaatar i sar., 2016*).

2.4 ZAMRZNUTI PROIZVODI OD LISNATOG TESTA

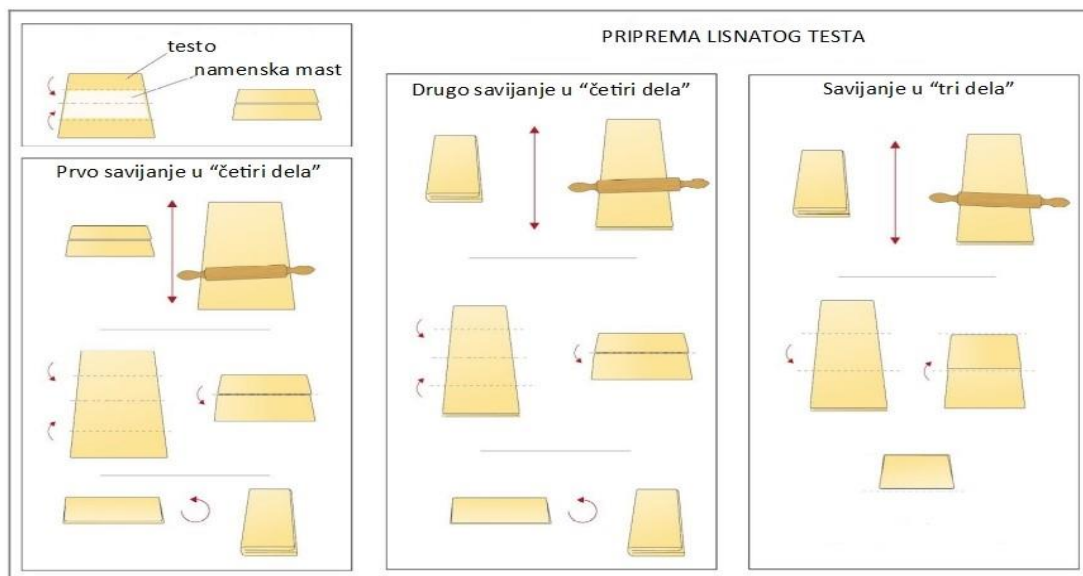
Sa neznatnim izmenama i danas se primenjuju receptura i postupak proizvodnje lisnatog testa koje je Englez Hog Plat opisao u knjizi "Ženska radost" početkom XVII veka (Kovačević, 2011). Osnovna karakteristika lisnatog testa je slojevita struktura, koja se postiže unošenjem namenske masti u testo i karakterističnom obradom. Pravilna i ravnomerna slojevitost testa obezbeđuje bolje narastanje testa tokom pečenja (Albrecht i sar., 2010), iako ne sadrži kvasac ili neka druga sredstva za fermentaciju (Silow et al. 2016). Lisnato pecivo je dobrog kvaliteta ukoliko je visina peciva povećana u odnosu na debljinu lisnatog testa šest puta (Kovačević, 2011). Karakteristične osobine lisnatog peciva su vazdušasto-pahuljasta struktura, lak zagriz i odlična topivost (Šoronja Simović, 2012).

Zamrzavanje lisnatog testa vrši se nakon završnog oblikovanja. U slučaju kvasnog lisnatog testa pre zamrzavanja obavlja se fermentacija.

2.4.1 SPECIFIČNOSTI PROIZVODNJE LISNATOG TESTA

U odnosu na proizvodnju peciva od fermentisanog (kvasnog) testa proizvodnja lisnatog testa se razlikuje po većem udelu namenskih masti u sastavu i karakterističnoj obradi koja doprinosi formiranju slojevite strukture testa, a kasnije i samog peciva. Slojevita struktura lisnatog testa formira se u dve karakteristične faze. Prva faza je unošenje namenske masti za laminiranje u osnovno testo koje je prethodno, po završetku zamesa i kratkog odmaranja, istanjeno na određenu debljinu. Namenska mast za laminiranje može se u osnovno testo uneti ručno, zanatski ili industrijski. U zavisnosti od načina, McGill (1981) razlikuje tri osnovna postupka unošenja namenske masti: engleski, francuski i blic (škotski). Druga faza obuhvata uzastopne postupke postepenog istanjivanja i savijanja testa, koji se nekoliko puta ponavljaju. Cilj pomenute faze je postizanje kontinualne i naizmenične slojevitosti testa i namenske masti za laminiranje. Dve osnovne metode savijanja

testa, koje se u literaturi najčešće pominju (Šoronja Simović, 2009) su savijanje u „tri dela“ i savijanje u „četiri dela“ (slika 2.3).



Slika 2.3 Formiranje slojevite strukture lisnatog testa prema šemi savijanja 4 x 4 x 3 sloja (izmenjeno sa pastryandsports.blogspot.com.es)

Između naizmeničnih postupaka istanjivanja i savijanja testa, vrši se međufazno odmaranje testa u hladnim komorama, da bi se smanjili naponi nastali u fazi laminiranja testa i izbegle deformacija proizvoda tokom pečenja i da bi se povećala tvrdoća namenske masti (Kovačević, 2011).

Karakteristična, željena slojevitost testa postiže se usklađivanjem debljine testane trake sa brojem i debljinom slojeva namenske masti za laminiranje. Sa povećanjem debljine testane trake neophodno je povećati i broj savijanja, odnosno broj slojeva namenske masti za laminiranje (Šoronja Simović, 2012).

2.4.2 SIROVINSKI SASTAV U FUNKCIJI KVALITETA ZAMRZNUTOG LISNATOG TESTA

Visoki zahtevi koji se postavljaju za kvalitet brašna i masti za laminiranje, veliki broj dodatnih sirovina, ali pre svega specifična obrada testa, proizvodnju lisnatog peciva čine najsloženijim postupkom u tehnologiji pekarskih proizvoda (Šoronja Simović 2012). Uvođenje procesa zamrzavanja u tehnološki postupak proizvodnje lisnatog testa uzrokuje dodatne zahteve za izbor sirovina sa aspekta postizanja

željenog kvaliteta. Minimizaciju negativnih uticaja zamrzavanja na kvalitet zamrznutog testa, kao i odgovarajući i ujednačen kvalitet peciva moguće je postići samo uz primenu osnovnih sirovina odgovarajućeg tehnološkog kvaliteta, optimizaciju sastava testa i pravilan izbor procesnih parametra (*Schiraldi i sar., 1996*).

Osnovne sirovine u izradi zamrznutog beskvasnog lisnatog testa su brašno, voda, kuhinjska so, namenska mast za poboljšanje obradivosti testa i namenska mast za laminiranje (*Šoronja Simović, 2012*). U cilju poboljšanja pecivnih osobina proizvoda, najčešće upotrebljene dodatne sirovine su vitalni pšenični gluten, mlečni proizvodi, zaslađivači, aditivi (emulgatori, hidrokoloidi, oksidansi, enzimi, šorteninzi, glicerol) i ostali poboljšivači (*Šimurina, Filipčev, 2012*).

Osnovne sirovine

Brašno - Najbolji kvalitet proizvoda se postiže upotrebom namenskog brašna, od odabranih sorti pšenice koje imaju kvalitetan gluten (visok gluten indeks) i visoku vrednost energije deformacije testa (*Gélinas i sar., 1996; Perron i sar., 1998; Lu, Grant, 1999b; Boehm i sar., 2004*). Ispitujući ulogu pojedinih strukturnih komponenti brašna (glutenina, glijadina i skroba) koje potiču iz dve, po kvalitetu, različite sorte pšenica (jake i slabe) na pecivne karakteristike zamrznutog testa, Lu i Grant (*1999b*) su došli do zaključka, da sorta bitno utiče na gluteninsku frakciju dok je uticaj na glijadin i skrob manje izražen. Na osnovu pomenutih istraživanja zaključeno je da se supstitucijom glutenina slabije sorte sa gluteninom jače sorte, dobija znatno veći porast zapremine u odnosu na rezultate koji se postižu supstitucijom glijadina i skroba (*Šimurina, Filipčev, 2012*).

Na osnovu dostupnih literaturnih podataka namensko brašno treba da ima sadržaj proteina od 11,5 do 14,5%, sedimentacionu vrednost veću od 35 i sadržaj vlažnog glutena u granicama od 25 do 35%, pa čak i do 40%. Veća količina i bolji kvalitet vlažnog glutena povećava moć upijanja vode brašna, čime se obezbeđuje veća količina pare u testu za vreme pečenja i dobija proizvod razlistane, nežne i topive sredine. Elastična svojstva glutena iz namenskog brašna, odgovorna su i za postizanje optimalnog prinosa testa (*Vukobratović i sar., 1999*). Ispitivanjem uticaja kvaliteta glutena na kvalitet proizvoda, zaključeno je da gluten mora biti istovremeno i

dovoljno čvrst i elastičan (Frazier i sar. 1985) da bi sprečio pucanje testa tokom laminiranja i narušavanje ravnomerne slojevitosti u strukturi proizvoda, ali da mora imati i dobru rastegljivost (Hay, 1993). Brašnu sa niskim sadržajem proteina dodaje se vitalni pšenični gluten (Majzobi, Adebil 2014; Ortolan, Steel 2017; Sayaslan i sar., 2018; Tebben i sar., 2018), čime se zapremina proizvoda od zamrznutog testa povećava u odnosu na proizvod od zamrznutog testa u koji nije dodavan gluten (Wang, Ponte, 1994, 1995), kao i kompleksni poboljšivač čijim delovanjem se kvalitet proizvoda može dovesti na nivo koji može zadovoljiti potrebe potrošača (Bojat i sar., 2001). Prema Kovačeviću (2011), za proizvodnju finih pekarskih proizvoda od lisnatih testa dodaje se 4% vitalnog pšeničnog glutena. Međutim, kvalitet proizvoda od zamrznutog testa ne može se predvideti samo na osnovu sadržaja proteina korišćenog brašna. Jedina karakteristika brašna za koju je utvrđeno da je u visokoj pozitivnoj korelaciji sa pecivnim svojstvima zamrznutog testa je odnos supstanci rastvorljivih u vodi i vlažnog glutena (proteina nerastvorljivog u vodi) (Cauvain, 2003).

Od relevantnih parametara koji definišu kvalitet glutena, u literaturi se ističu ekstenzografski parametri – rastegljivost (min 150 mm) i otpor testa (min 320 E_J). Pecivna svojstva brašna sa nepovoljnim reološkim osobinama, a posebno sa niskom energijom mogu se poboljšati mešanjem slabog brašna sa jakim brašnom ili dodatkom odgovarajućih poboljšivača (Šimurina i sar., 2004). Autori malog broja naučnih radova iz oblasti lisnatog peciva su relativno saglasni, da su ključni parametri kvaliteta brašna sadržaj proteina i/ili sadržaj vlažnog glutena (Doerry, Meloan 1986; Hay, 1993; Picard 1997; Šoronja Simović 2012). Wickramarachchi i sar. (2015), međutim, ističu da su reološka svojstva glutena daleko značajnija od količine proteina.

Primena integralnog pšeničnog brašna u proizvodnji zamrznutog lisnatog testa svakako utiče na kvalitet testa, a samim tim i na zahteve kvaliteta koji se postavljaju pri njegovom izboru. Međutim, znatno manji broj naučnih istraživanja vezan je za zamrznute pekarske proizvode od integralnog brašna, a može se reći da praktično nedostaju podaci o zamrznutom lisnatom testu sa dodatkom integralnog brašna. Svakako je opšte poznata činjenica da integralno brašno, usled većeg udela prehrambenih vlakana, ima veća hidrataciona svojstva u odnosu na belo brašno. Takođe testo dobijeno od mešavine ekvivalentne količine belog i integralnog brašna

ima duži razvoj, manji stabilitet, manju rastegljivost i otpor na rastezanje. Primena vitalnog glutena kao poboljšivača reoloških svojstava testa je aktuelna i kod proizvoda kod kojih je deo pšeničnog belog brašna zamenjen integralnim brašnom. Na osnovu naučnih istraživanja, koja su bazirana na rezultatima infracrvene spektroskopije (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) razlike reoloških osobina testa sa dodatkom integralnog brašna u odnosu na testo od belog brašna se mogu dovesti u vezu sa promenama u sekundarnoj strukturi glutena (Wellner i sar., 2005; Li i sar., 2006; Robertson i sar., 2006; Mejia i sar., 2007). Dodavanje mekinja u testo uzrokuje preraspodelu vezane vode u sistemu testa gluten-mekinje, koja dalje utiče na sekundarnu strukturu glutena, jer preostaje manja količina vode dostupne proteinima da hidratišu. Kod glutenskih proteina (u hidratisanom stanju) 60% sekundarne strukture je u obliku β -spirale. Dodatak mekinja u testo izaziva konverziju β -spiralne strukture u β -ploču i nasumičnu neuređenu strukturu, pri čemu je stepen konverzije usled prisustva mekinja obrnuto srazmeran sadržaju vlage u testu. Minimalizuju se promene u sekundarnoj strukturi ukoliko se sadržaj vlage u testu poveća sa 35 na 50% (Bock, Damodaran, 2013). Dodatak vitalnog glutena može umanjiti negativne efekte vlakana na glutensku strukturu (Šoronja Simović i sar., 2009), povećati količinu vezane vode što na kraju rezultuje većom konzistencijom i boljom stabilnošću testa (Codina i sar., 2008).

Namenske masti – puter je dugo bio nezaobilazna mast u proizvodnji lisnatog peciva. U drugoj polovini XIX veka u nastojanju da se puter zameni jeftinijim mastima, pojavljuju se prvi namenski margarin. Usavršavanjem tehnoloških postupaka znatno se poboljšavaju tehnološka svojstva namenskih margarina i oni postaju dobra alternativa puteru. U savremenoj industrijskoj proizvodnji lisnatog peciva danas preovlađuju industrijski namenski margarin koji su svojim fizičko-hemijskim sastavom prilagođeni tehnološkim zahtevima proizvođača, a nutritivnim kvalitetom zahtevima vezanim za sniženje sadržaja *trans* masnih kiselina (Šoronja Simović, 2012). Uz mast i vodu namenski margarin sadrže i druge komponente kao što su emulgator (lecitin), provitamin A ili karoten (daje specifičnu žuto-narandžasto boju), kuhinjska so (nosilac ukusa), vitamin E (antioksidans) (Albrecht i sar., 2010). Prosečan sastav namenskih margarina dat je u tabeli 2.2.

Tabela 2.2 Sastav masne faze namenskog margarina za laminiranje

Vrsta masne kiseline	Sadržaj (%)
Zasićene masne kiseline (saturated fatty acids, SAFA)	30 – 55
Mononezasićene masne kiseline (monounsaturated fatty acids, MUFA)	30 – 50
Polinezasićene masne kiseline (polyunsaturated fatty acids, PUFA)	oko 15
Trans masne kiseline (trans fatty acids, TFA)	< 1 – 25

Šoronja Simović (2012) navodi da su fizička svojstva margarina uslovljena veličinom, brojem i oblikom kristala čvrste faze, kao i čvrstoćom i jačinom kristalne rešetke, masnokiselinskim sastavom, viskozitetom tečne faze i odnosom čvrste i tečne faze triglicerida na određenoj temperaturi.

Optimalno raslojavanje lisnatog testa, koju omogućava ekspanzija vodene pare tokom pečenja, može da se postigne odgođenim i postepenim topljenjem margarina koji je slojevito raspoređen u testu. Na tačku topljenja masti uticaj imaju masnokiselinski sastav masti odnosno udeo zasićenih masnih kiselina dugog ugljovodoničnog lanca i delimično sastav triglicerida (*Ghotra i sar., 2002*). Šoronja Simović (2012) navodi da je tačka topljenja prvih industrijskih margarina za laminiranje bila 52°C što je negativno uticalo na senzorska svojstva margarina (loša topivost, lepljenje za nepce i neprijatan lojav ukus). Razvojem tehnologije nastali su margarini tačke topljenja između 42 i 44°C i ispod 39°C (*McGill, 1981*), pri čemu su margarini tačke topljenja ispod 39°C boljih senzorskih a lošijih tehnoloških karakteristika. Prema Kovačeviću (2011), minimalna tačka topljenja margarina mora biti 38°C, što se postiže delimičnom kristalizacijom masti.

Da bi se izbeglo kidanje testa pri laminiranju, margarin treba da poseduje svojstvo plastičnosti (*Kovačević, 2011*). Plastičnost u fizičkom smislu predstavlja stabilnost sadržaja čvrstih triglicerida sa porastom temperature (*Šoronja Simović 2009*), u praktičnom predstavlja otpornost margarina na pritisak do trajne deformacije, odnosno „curenje“ margarina (*Vujović, 2012*). Veoma dobru plastičnost imaju margarini sa relativno stabilnim sadržajem čvrstih triglicerida (solid fat content, SFC) od 10 do 25% u temperaturnom intervalu od 10 do 30°C. Sa smanjenjem veličine kristala i povećanjem njihove ujednačenosti povećava se i temperaturni interval u

kome margarin ima stabilan odnos čvrste i tečne faze, odnosno poseduje dobra plastična svojstva (Stauffer, 1996).

Konzistencija margarina zavisi od fizičkih osobina triglicerida i od njihovog stepena nezasićenosti. Margarini sa više nezasićenih masnih kiselina u masnoj fazi imaju mekšu konzistenciju. Smanjenje tvrdoće margarina može biti i posledica povećanja temperature, koje neminovno izaziva smanjenje viskoziteta tečne i udela čvrste faze (Šoronja Simović, 2012). Tokom laminiranja margarin treba da zadrži identičnu čvrstoću (Kovačević, 2011).

Budući da na plastičnost i konzistenciju margarina utiče veliki broj faktora koje definiše kinetika kristalizacije, kontrolisanjem procesa kristalizacije moguće je uticati na njena kristalizaciona svojstva, a indirektno i na pomenute fizičke osobine kvaliteta margarina (Ghotra i sar., 2002). Primena margarina sa niskim sadržajem čvrstih triglicerida, neodgovarajućih fizičkih svojstava, može imati negativne posledice na narastanje proizvoda. Povećanjem količine margarina narastanje proizvoda se može znatno poboljšati. Nepravilno formirana struktura proizvoda može da bude posledica neusklađenosti konzistencije margarina i osnovnog testa (Šoronja Simović, 2012).

Voda kao jedan od osnovnih sastojaka testa, mora da zadovolji kvalitet vode za piće. Za pekarsku proizvodnju je pogodna voda sa 15 do 20 nemačkih stepeni tvrdoće (Kovačević, 2011). Tvrda voda poboljšava fizičke osobine glutena, što je veoma važno kada se koristi brašno slabijeg kvaliteta (Auerman, 1988).

Odnos količina vode i brašna znatno utiče na reološka svojstva testa. Prema Gil i sar. (1997) količina vode koja se dodaje u testo zavisi od sadržaja vlage brašna i njegovih fizičko-hemijskih karakteristika, kao što su moć upijanja vode, granulacija, stepen oštećenosti skroba. Za brašno standardnog kvaliteta količina vode za zames osnovnog testa u proizvodnji lisnatog peciva je najčešće u granicama od 47 do 59% (Kovačević, 2011). U testu se voda nalazi u vezanom stanju (proteini, hemiceluloza i pentozani), dok se slobodna voda nalazi na površini skrobnih granula, slobodnim prostorima i međuprostorima između čvrstih čestica i brašna. Količinu vode u sirovinskom sastavu zamrznutog testa treba smanjiti za 2% u odnosu na količinu vode za testo konzistencije od 500 Fj, radi poboljšanja reoloških osobina testa tokom zamrzavanja i čuvanja u zamrznutom stanju (Šimurina, Filipčev, 2012). U pekarstvu

temperatura vode bitna je za postizanje određene temperature testa. Optimalna temperatura osnovnog testa nakon zamesa treba da bude $19 \pm 1^{\circ}\text{C}$, pa se u zavisnosti od intenziteta zamesa koristi hladna voda, a ponekad dodaje i led (Kovačević, 2011; Šoronja Simović 2009).

Kuhinjska so je u proizvodnji zamrznutog lisnatog peciva, kao i svih drugih pekarskih proizvoda, nezaobilazna sirovina. Nerastvorena ili rastvorena u delu vode so se dodaje u količini od 0,1 do 2,2% u zames osnovnog testa (Šimurina, 2011). Gruba kamena so se mora rastvoriti pre dodavanja u zames, jer nepotpuno rastvoreni kristali soli testo čine vlažnim, otežavajući njegovu obradu. Uloga kuhinjske soli u testu je nezamenjiva (Kovačević, 2011), jer utiče na razvoj glutena i reološka svojstva testa. Zahvaljujući uticaju soli na jačanje glutena, u slučaju izrade lisnatog testa od brašna slabog kvaliteta, poželjno je dodati veću količinu kuhinjske soli u odnosu na brašno dobrog kvaliteta.

2.5 ULOGA ADITIVA

Tehnološki kvalitet zamrznutog lisnatog testa se može poboljšati primenom različitih poboljšivača (aditiva) u sirovinski sastav, odnosno modifikovanjem procesnih parametara i načina vođenja tehnološkog postupka proizvodnje.

Aditivi se koriste za korekciju kvaliteta brašna, poboljšanja obradivosti testa, povećanja zapremine i unapređenja senzorskog kvaliteta i produženja trajnosti gotovih proizvoda (Kovačević, 2011). Prema *Pravilniku o prehranbenim aditivima (2018)* na osnovu tehnoloških i funkcionalnih svojstava aditivi se grupišu u više od 20 funkcionalnih klasa. U proizvodnji zamrznutih testa najčešće se koriste sledeći aditivi: emulgatori, oksidansi, hidrokoloidi i drugi nekonvencionalni poboljšivači (Ribotta i sar., 2004; Matuda i sar., 2005; Selomulyo, Zhou, 2007).

Dok su raniji radovi (Gómez i sar., 2013; Lee i sar., 2004; Ribotta i sar., 2004) pretežno istraživali lipidno zavisne emulgatore uključujući digliceride i estre saharoze, čijim se dodavanjem sprečava retrogradacija skroba i minimalizuje migracija vlage između glutena i skroba, svežije studije fokusirane su na novije aditive. Prema Luo i

sar. (2018) za zamrznuto testo upotrebljavaju se hidrokoloidi, antifriz proteini, proteini nukleatori kristalizacije leda i drugi poboljšivači. Antifriz proteini poboljšavaju otpornost ćelija kvasca na zamrzavanje, što su Zhang i sar. (2007) utvrdili dodavanjem antifriz proteina mrkve u testo koje se zamrzava. Shi i sar. (2013) su dodavajući kao nukleator kristalizacije leda, film kukuruznog zeina u testo koje se zamrzava, postigli povećanje temperature kristalizacije sa -15 na -6.7°C , pri čemu se proporcionalno smanjuje gubitak vode i slabi oštećenje testa tokom procesa zamrzavanja.

Hranljiva vrednost proizvoda određena je energetsom vrednošću, svarljivošću i nutritivnim sastavom (sadržaj proteina, ugljenih hidrata, masti), udelom esencijalnih amino- i masnih kiselina, mineralnih materija, vitamina i prehrambenih vlakana. Energetska vrednost lisnatog peciva je usled sadržaja masti (oko 25%), u nutritivnom sastavu veća u proseku za 50% u odnosu na druge pekarske proizvode. Mogućnosti poboljšanja hranljive vrednosti lisnatog peciva baziraju se na smanjenju količine namenske masti/margarina u testu, primeni supstituenata masti i primeni namenskih margarina nove generacije (Šoronja Simović, 2012).

Prehrambena vlakna ili balastne materije se hrani mogu dodati i kao aditiv, kada pozitivno utiču na tehnološke karakteristike, i kao sastojak, kada poboljšavaju hranljivu vrednost proizvoda.

Hidrokoloidi koji se najčešće primenjuju u pekarskoj industriji su: ksantan ili ksantan guma, karboksimetilceluloza, k-karagenan, guar guma, hidroksi - prolilmetilceluloza i drugi (Šimurina, Filipčev, 2012). Osobine hidrokoloida znatno variraju u zavisnosti od porekla i hemijske strukture (Rojas i sar., 1999; Collar i sar., 2001), te je bitan odabir odgovarajućeg hidrokoloida. Prema istraživanjima Bárcenas i sar. (2009), važnija je vrsta upotrebljenog hidrokoloida od njegove koncentracije. Mehanizam delovanja hidrokoloida u testu se bazira na njegovoj kompetitivnosti sa polimerima brašna, glutenom i skrobom, u odnosu na vodu (Schiraldi i sar., 1996). Između polimera skroba, amiloze i/ili amilopektina i hidrokoloida, nastaje kompleks u kojem oni tokom formiranja testa deluju sinergistički (Bahnassey, Breene, 1994). Hidrokoloidi indukuju strukturne promene skroba i proteina u zamrznutom testu u svim fazama proizvodnje i tokom skladištenja (Appelqvist, Debet, 1997), a ove

promene mogu da modifikuju selektivnost pojedinih enzima ili da poboljšaju tehnološki kvalitet testa i hleba (Armero, Collar, 1997; Guarda i sar., 2004). Hidrokoloidi deluju na procese rastvaranja, klajsterizacije, fragmentacije i retrogradacije skroba (Kokini i sar., 1992; Fanta, Christianson, 1996); apsorbujući vodu smanjuju migraciju i aktivnost vode u testu i poboljšavaju stabilnost testa tokom ciklusa zamrzavanja/odmrzavanja (Ferrero i sar., 1993; Sanderson, 1996; Liehr, Kulicke, 1996; Ribotta i sar., 2005; Akbarian i sar., 2015; Gharaie i sar., 2015); utiču na ponašanje testa pri pečenju i trajnost gotovog pekarskog proizvoda (Armero, Collar, 1997; Davidou i sar., 1996) kao i na njegov senzorski kvalitet (Ferrero, 2017), uključujući čvrstoću i žvakavost (Gharaie i sar., 2015). U zamrzavanom testu ne tretiranom hidrokoloidima i skladištenom 8 i 16 nedelja, utvrđeno je elektronskom mikroskopijom intenzivno oštećenje glutenske mreže, usled izdvajanja granula skroba. Testo postaje otpornije na negativne efekte zamrzavanja i skladištenja dodavanjem arapske gume i gume semena rogača (Sharadanant, Khan, 2006). Više autora je izvestilo da dodavanjem hidrokoloida na brašno, u širokom opsegu od 0.1 do 5%, apsorpcija vode merena farinografski raste (Ferrero, 2017), a ovakvu linearnu zavisnost između sadržaja ksantana i apsorpcije vode utvrdili su Zannini i sar. (2014). Dejstvo hidrokoloida na funkcionalne karakteristike testa zavisi od dodate količine, orijentacije funkcionalnih grupa i veličine lanaca kao i od sirovinskog sastava testa i uslova procesa. U složenim formulacijama u kojima se integralno pšenično brašno meša sa drugim brašnima, sastojcima bogatim vlaknima ili proteinskim izolatima u cilju poboljšanja hranljive vrednosti, hidrokoloidi pozitivno utiču na kvalitet proizvoda (Ferrero, 2017).

Ksantan je anjonski ekstracelularni polisaharid određenih bakterija, sastavljen od jedinica glukoze, manoze i glukuronske kiseline (Mikuš i sar. 2011). Molekul ksantana se sastoji od linearnog osnovnog dela i bočnih grana formiranih od različitih grupa, te u zavisnosti od toga koju konformaciju molekul zauzima u rastvoru, razgranata struktura znatno utiče na njegove reološke osobine. Industrijski se proizvodi fermentacijom bakterijskih kultura *Xanthomonas campestris* (Klarić, 2017). Ksantan pokazuje dobru rastvorljivost i stabilnost u kiselim i baznim uslovima, visoku viskoznost rastvora već pri malim koncentracijama nezavisno od pH vrednosti,

kompatibilnost sa proteinima, lipidima i polisaharidima, rezistenciju na enzime (proteaze, celulaze, hemicelulaze, pektinaze, amilaze) (Dodić, 2007). Sam nema sposobnost formiranja gela, ali u kombinaciji sa guar- i rogač gumom formira termo reverzibilne gelove. Upotrebljava se u prehrambenoj industriji (E415) kao ugušćivač i stabilizator emulzija i suspenzija pri proizvodnji bezglutenskog hleba, hleba obogaćenog proteinima i različitih punjenja, kao i u mlečnim proizvodima u količini od 0,1% do 0,25% (Rosalam, England, 2006; Mikuš i sar., 2011; Milani, Maleki, 2012). Ksantan se u testa koja se zamrzavaju dodaje sa ciljem da ojača glutensku mrežu; poveća kapacitet vezivanja vode, sposobnost testa da zadržava gas i specifičnu zapreminu proizvoda; minimalizuje migraciju vode iz sredine u koru tokom skladištenja (Rosell i sar., 2001). Pojavu mehurova ili neravnomerne boje na površini kore, ksantan može da smanji vezivanjem vode (Dubois, Blockcolsky, 1986) ukoliko se dodaje u koncentraciji nižoj od 1% na količinu brašna (Collar i sar., 1999; Mandala, 2005), dok dodavanje veće koncentracije ksantana dovodi do smanjenja specifične zapremine proizvoda u odnosu na kontrolne uzorke (Mandala, 2005). Prema Rosellu i sar. (2001), apsorpcija vode se povećava za 2% dodatkom 0,5% ksantana na količinu brašna.

Ostali poboljšivači pri pravilnom odabiru i primeni, mogu da pokažu pozitivan uticaj na kvalitet testa. Prisustvo šorteninga u sastavu testa namenjenog za zamrzavanje poboljšava proces obrade testa i kvalitet proizvoda (Šimurina, Filipčev, 2012). Med, zahvaljujući visokom sadržaju fruktoze i dekstroze kao i higroskopskim svojstvima koji mu daju ulogu humektanta, pozitivno utiče na reološke osobine i kvalitet, kao i na stabilnost zamrznutog testa tokom skladištenja (Addo, 1997; Cardetti, 1998; Tong i sar., 2010). Neki brašneni materijali takođe mogu da budu primenjeni kao poboljšivači reoloških osobina testa, tako prema Bae i sar. (2014) dodavanje integralnog pšeničnog brašna bogatog vlaknima u zamrznuto testo, može značajno da poveća svojstva hidratacije boljim karakteristikama lepljenja, pecivnih osobina. Za zamrznuta lisnata testa proizvode se namenski kompleksni poboljšivači na bazi enzima i askorbinske kiseline (www.puratos.rs). U slučaju proizvodnje zamrznutog beskvasnog lisnatog testa optimalni rezultati se postižu primenom 1,5%

na količinu brašna kompleksnog „Puff Pastry“ poboljšivača u proizvodu sa 20% smanjenom količinom masnoće (*Šimurina, Filipčev, 2012*).

2.5.1 PREHRAMBENA VLAKNA KAO FUNKCIONALNI DODACI I POBOLJŠIVAČI KVALITETA PROIZVODA

Opšteprihvaćena definicija prehrambenih vlakana ne postoji, ali naučna javnost od prvog do poslednjeg pokušaja preciznijeg definisanja razmatra vlakna sa aspekta njihove nesvarljivosti u tankom crevu. Fiziološki efekti prehrambenih vlakana u velikoj meri zavise od njihovih fizičko-hemijskih karakteristika, kao što su rastvorljivost, hidrataciona svojstva, viskozitet, sposobnost vezivanja jona i molekula, sposobnost formiranja gela, fermentabilnost (*Guillon, Champ, 2000; Gyura i sar., 2016*). Osim neskrbnih polisaharida, prehrambena vlakna uključuju i druge nesvarljive ugljene hidrate kao što su rezistentni skrob, rezistentni maltodekstrini, inulin i galakto-oligosaharidi, kao i modifikovane celuloze i sintetizovane polimere ugljenih hidrata kao što je polidekstroza (*Borderias i sar., 2005*).

Jedna od najčešćih podela prehrambenih vlakana je prema njihovoj rastvorljivosti u vodi, podložnosti mikrobiološkoj fermentaciji u debelom crevu i viskoznosti, i to na rastvorljiva prehrambena vlakna (pektin, gume, sluzi, rezistentni skrob, inulin) i nerastvorljiva prehrambena vlakna (celuloza, hemiceluloza, lignin) (*Stauffer, 1993b; Nelson, 2001; Anderson i sar., 2009; Papathanasopoulos, Camilleri, 2010; Gyura i sar. 2016*). Prebiotska prehrambena vlakna (inulin i *trans*-galaktooligo-saharidi) nisu klasifikovana prema rastvorljivosti i viskoznosti, već po otpornosti na varenje i apsorpciji u tankom crevu, delimičnoj ili potpunoj fermentaciji od strane mikroorganizama u debelom crevu i sposobnosti da stimulišu rast određenih bakterija (*Cummings i sar., 2001*).

U poređenju sa nerastvorljivim vlaknima, rastvorljive frakcije pokazuju veću sposobnost da grade viskozne rastvore, formiraju gelove i/ili deluju kao stabilizatori emulzija, nemaju ni lošu teksturu ni loš ukus i lakše se ugrađuju u različite prehrambene proizvode. Hidratacija prehrambenih vlakana povezana je sa hemijskom strukturom polisaharidnih komponenti i drugih faktora kao što su poroznost, veličina čestica, jonski oblik, pH, temperatura, jonska jačina, tip jona u

rastvoru i naprežanja kojima su vlakna podvrgnuta prilikom njihove proizvodnje (*Foschia i sar., 2013*).

Sa aspekta primene vlakna u prehrambenoj industriji pored fizičko-hemijskih karakteristika sve više se pažnje posvećuje njihovoj fiziološkoj ulozi, odnosno efektima koje vlakna ispoljavaju tokom prolaska kroz digestivni trakt, a koji se dovode u vezu sa prevencijom masovnih nezaraznih bolesti (*Gyura i sar. 2016*). U literaturi se najčešće ističu sledeće značajne osobine vlakana: skraćuju vreme prolaska hrane kroz creva i povećavaju masu fecesa; smanjuju nivo ukupnog i/ili LDL holesterola (low density lipoprotein u krvi); smanjuju nivo glukoze i/ili insulina u krvi nakon obroka (*CAC, 2006*). U cilju iskorišćenja pomenutih pozitivnih efekata prehrambenih vlakana preporučuje se da unos vlakana u ishrani, zavisno od pola i starosne dobi, bude u granicama od 19 do 38 g/dan (*Slavin, 2003, www.fdf.org.uk*)

Najbolji način da se zadovolje preporuke o dnevnom unosu vlakana je obogaćivanje onih proizvoda koji se svakodnevno konzumiraju. Budući da pekarski proizvodi predstavljaju grupu namirnica koje treba da obezbede čak 50% dnevno potrebne energije, njihovo obogaćivanje vlaknima i razvoj funkcionalnih pekarskih proizvoda je već decenijama u fokusu naučne i stručne javnosti. Brojni literaturni podaci (*Skendi i sar., 2010; Angioloni, Collar, 2011; Morris, Morris, 2012; Almeida i sar., 2013; Kurek, Wyrwicz, 2015; Nawrocka i sar., 2016; Patil, Arya, 2016; Han i sar., 2017; Huang i sar., 2020*) ukazuju na primenu različitih vrsta vlakana u izradi hleba, nešto manji broj na primenu u izradi testenine (*Torres i sar., 2007; Borneo, Aguirre, 2008; Brennan, Tudorica 2008; Chillo i sar., 2008; Manno i sar., 2009; Fuentes-Zaragoza i sar., 2010; Petitot i sar., 2010; Aravind i sar., 2012; Nasehi, 2020*) i bezglutenskih proizvoda (*Torbica i sar., 2010; Juszczak i sar., 2012; Singh i sar., 2016; Foschia i sar., 2017; Gao i sar., 2018; Arslan i sar., 2019*). Međutim, evidentno je da su istraživanja u kojima se analizira uticaj prehrambenih vlakana na kvalitet lisnatog peciva, a naročito zamrznutog lisnatog peciva oskudan.

Uprkos činjenici da vlakna predstavljaju vrlo aktuelnu funkcionalnu sirovinu u izradi pekarskih proizvoda literaturni podaci ukazuju da dodatak prehrambenih vlakana utiče na reološka svojstva testa i kvalitet pekarskih proizvoda (*Sudha i sar., 2007; Peressini, Sensidoni, 2009; Lebesi, Tzia, 2011; Foschia i sar., 2013; Ferrero,*

2017; Liu i sar., 2019; Culetu i sar., 2020). Pomenuti efekti su uslovljeni i sirovinskim sastavom, karakteristikama brašna (prednosti imaju meka brašna) i stepenom supstitucije brašna vlaknima (*Foschia i sar., 2013*), ali i vrstom (izvorom) vlakana. Dobrim poznavanjem fizičko-hemijskih svojstava prehrambenih vlakana svakako se mogu smanjiti potencijalni negativni efekti, a iskoristiti njihova funkcionalna svojstva (*Elleuch i sar., 2011*). Tendenciju da budu najšire primenjivani u prehrambenim proizvodima imaju sastojci vlakana arabinoksilan (pšenične mekinje), β -glukani i rezistentni skrob (*Foschia i sar., 2013*).

Vlakna šećerne repe

Šećerna repa (*Beta vulgaris*) u svom sastavu ima od 60 do 85% prehrambenih vlakana (*Seibel i sar., 1989; Saunders, 1990; Marlett, 1993*). Prehrambena vlakna šećerne repe, zahvaljujući prisustvu nerastvorljivih i rastvorljivih vlakana, niskom sadržaju lipida i niskoj energetske vrednosti, nude odlične prehrambene i fiziološke pogodnosti kako za proizvođače hrane tako i za potrošače (*Ozboy, Koksel, 2000*).

Prilikom proizvodnje šećera iz šećerne repe, prehrambena vlakna se u najvećoj meri nalaze u ekstrahovanim rezancima, koji se pored ekstrakcionog soka, izdvajaju kao sporedni proizvodi. Količina i hemijski sastav ekstrahovanih rezanaca zavise od sorte, kvaliteta i uslova gajenja šećerne repe (*Šušić i sar., 1994*). Hemijski sastav ekstrahovanih rezanaca uglavnom čine polisaharidi koji predstavljaju gradivne komponente ćelijskog zida: arabinoksilani, hemiceluloza (*Sun, Hughes, 1999*), visoko metilovani i acetilovani pektini (*Oosterveld i sar., 2000*) i mikrofibrile celuloze (*Dinand i sar., 1996; Rouilly i sar., 2009*).

Ekstrahovani rezanci se nakon ekstrakcije prečišćavaju i presuju do sadržaja suve materije od oko 25% (*Šereš i sar., 2010*). Netretirana hidratisana prehrambena vlakna šećerne repe dobijena na ovaj način ili predstavljaju sirovinu za proizvodnju modifikovanih prehrambenih vlakana, ili se odmah suše, usitnjavaju i frakcionišu. Pored suvih, moguće je proizvoditi i hidratisana prehrambena vlakna koja sadrže oko 90% vode. Prehrambena vlakna se mogu proizvesti i iz slatkih rezanaca, tada su bogata šećerom i primenjuju se kao zaslađivači, dodatak pri proizvodnji sirupa ili komponenta, smeša cerealija i drugo (*Šereš i sar., 2010*).

Prehrambena vlakna šećerne repe, kao komponenta sa zadovoljavajućom količinom nerastvorljivih materija, primenjuju se u proizvodnji pekarskih proizvoda radi postizanja određenog nutritivnog efekta, tako da se ne naruši tehnološki kvalitet finalnog proizvoda (Sekulić i sar., 1992; Gyura i sar., 2001, 2010; Šereš i sar., 2010; Šoronja Simović i sar., 2016, 2020).

Čija seme

Čija (*Salvia hispanica L.*) je jednogodišnja travasta biljka čije su semenke bile glavna hrana srednjoameričke civilizacije pre otkrića Amerike, zajedno sa kukuruzom, pasuljom i amarantom (Álvarez-Chávez i sar., 2008). Prirodno raste u južnom Meksiku i severnoj Gvatemali, a poslednjih godina zbog svojih karakteristika povećano je interesovanje za kultivisanjem čije (Ayerza, 1995; Steffolani i sar., 2015), kao i njenom upotrebom u ishrani. Komercijalno je dostupna za ljudsku upotrebu kao cele semenke, brašno i ulje, u Americi, Australiji, Evropi i Južnoj Aziji (Mohd Ali i sar., 2012).

Hemijski sastav čija semena čine: proteini (15-20%), masti (30–33%), pepeo (4–5%), ugljeni hidrati (26–41%), kao i velika količina prehrambenih vlakana (18–30%). Marineli i sar. (2014) ističu da su u čija semenu prisutna pretežno nerastvorljiva prehrambena vlakna. U 100 g čija semena ima 37,5 g ukupnih vlakana, od čega su čak 35,07 g nerastvorljiva vlakna. Brojna istraživanja ukazuju da je čija seme izvor antioksidanata kao što su tokoferoli, fitosteroli, karotenoidi (Nijveldt i sar., 2001; Álvarez-Chávez i sar., 2008; Reyes-Caudillo i sar. 2008; Ixtaina i sar., 2011 Avignon i sar., 2012; Landete, 2012; Capitani i sar. 2012; Martínez-Cruz, Paredes-López, 2014;), kao i drugih mikronutrijenta minerala (mangan, selen, kalijum, natrijum, kalcijum, magnezijum, gvožđe) i vitamina (Ixtaina i sar., 2008). Čija je bogata polinezasićenim masnim kiselinama, posebno ω -3 i ω -6 masnim kiselinama. Chica (2011) navodi da ω -3 α -linoleinska kiselina (C18:3, alpha-linoleic acid, ALA) čini više od 60%, a Ayerza (1995, 2011) više od 68% od ukupnih masnih kiselina u čija semenu, što ulje čije (sa do 67,8% ALA) čini bogatijim prirodnim izvorom ALA u odnosu na lanik ili divlji lan (*Camelina sativa L.*) sa 36% i lan (*Linum usitatissimum L.*)

sa 57%. Sadržaj ω -6 masnih kiselina u čija semenu je u granicama od 17 do 26% (Reyes-Caudillo i sar., 2008).

Borneo i sar. (2010) ukazali su na moguću ulogu čije kao supstituenta masti ili jaja u kolačima. Istraživana je upotreba brašna čije u kukuruznim tortiljama (Rendón-Villalobos i sar., 2012), u tradicionalnom engleskom kolaču "pound cake" (Pizzaro i sar., 2013), u bezglutenskom testu i različitim vrstama hleba (Farrera-Rebollo i sar., 2012; Moreira i sar. 2013; Steffolani i sar., 2014, 2015; Coelho, Salas-Mellado, 2015; Iglesias-Puig, Haros, 2013). Bautista-Justo i sar. (2007) predložili su mešavinu soje, čije, lana i folne kiseline za izradu funkcionalnog hleba namenjenog ženskoj populaciji, a Segura-Campos i sar. (2013) su ukazali na mogućnost korišćenja hidrolizata proteina čije u izradi funkcionalnog hleba.

Čija seme tokom hidratisanja ispoljava svojstvo geliranja, slično hidrokolidima (Capitani i sar., 2013; Muñoz i sar., 2012). Zahvaljujući pomenutom svojstvu čija ima visoku moć ugušćivanja, vezivanja i zadržavanja vode (Vazquez-Ovando i sar., 2009), što ukazuje da može imati potencijalni pozitivan efekat tokom zamrzavanja i skladištenja testa.

2.5.2 OPTIMIZACIJA PROCESA ZAMRZAVANJA I USLOVA SKLADIŠTENJA

U cilju postizanja maksimalnog kvaliteta zamrznutog testa, zamrzavanje se vrši u uslovima koji (Šimurina, Filipčev, 2012) osiguravaju brzo snižavanje temperature, optimalnu brzinu cirkulacije vazduha i maksimalnu površinu za brzu razmenu toplote. Prema Schünemann i Treu (2012) zamrzavanjem testa u mirnoj atmosferi bez strujanja vazduha i što bržim zamrzavanjem površine testa (kvašenjem površine testa se efekat zamrzavanja pospešuje) moguće je smanjiti isušivanje zamrznutog proizvoda tokom skladištenja.

Svi postojeći postupci zamrzavanja testa koji se primenjuju u praksi, bazirani su na dva osnovna principa: duže skladištenje - niža temperatura skladištenja i brže zamrzavanje - sporije odmrzavanje. Generalno bi trebalo da se pri zamrzavanju za što kraće vreme u centru testanog komada postigne temperatura ispod -4°C , a takođe je bitno temperaturu zamrzavanja prilagoditi i vremenu skladištenja (Kovačević, 2011). Novije studije objavljuju, da sa aspekta mikrostrukture zamrznutog testa uskladištenog nekoliko nedelja, prednost ima sporije zamrzavanje ($-0.14^{\circ}\text{C}/\text{min}$) u

odnosu na brzo ($-1.75\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) (*Silvas-García i sar., 2016*). Na osnovu istraživanja Baier-Schenk i sar. (2005a), kristali leda koji nastaju tokom brzog zamrzavanja tečnim azotom su sitni i ne raspodeljuju se u pore testa, dok se prilikom šok zamrzavanja najveći deo kristala raspodeljuje u zidne pore testa. Nakon jednodnevnog skladištenja neki kristali se grupišu, a posle pet meseci skladištenja kristali leda porastu obrazujući kockaste i sferne oblike unutar pora testa.

Na dužinu skladištenja zamrznutog testa prvenstveno utiče kvalitet osnovnih sirovina, tehnološki postupak pripreme testa (zames, odmaranje i obrada testanih komada pre zamrzavanja, uticaj hladnog tretmana pre procesa zamrzavanja), pakovanje i uslovi zamrzavanja i skladištenja (*Kremić, 1989*). Tokom skladištenja neupakovanih zamrznutih komada testa gubici vlage mogu da iznose od 0,5 do 1,5%, a često i više (*Čizov, 1979; Volkov, 1982; Vujić, 1983; Wagner, 1996*). Pojedini autori ukazuju da je za skladištenje preko 2 nedelje na temperaturi između -18 i -20°C , da bi se izbegao efekat dehidracije površine, potrebno zamrznuto testo pakovati u ambalažu od odgovarajućeg materijala (*Kulp i sar., 1995; K.O.M.A., stručno-tehnički materijal; Schünemann, Treu, 2012*). Temperaturni uslovi tokom pakovanja ne smeju biti značajno promenjeni u odnosu na temperaturu zamrzavanja, a preporučuje se pakovanje u hermetičkim uslovima. Uprkos primeni pakovanja zamrznutog testa nemoguće je izbeći smanjenja zapremine (*Brack, Hanneforth, 1991*). Ambalažni materijal zamrznutog proizvoda mora da ispunjava zahteve za pakovanje, skladištenje i transport pri niskim temperaturama i promenljivoj vlažnosti: da poseduje neophodnu krutost za mašinsko pakovanje, bude otporan prema lomu, poseduje dobra barijerna svojstva prema kiseoniku, ima dobru toplotnu stabilnost, da obezbedi minimalni gubitak vlage i zaštitu upakovanog proizvoda od mikroorganizama (*Mallett, 1992; Kulp i sar., 1995; Giannou i sar., 2003*).

Pod uslovima skladištenja zamrznutih proizvoda misli se na relativnu vlažnost vazduha i temperaturu skladišnog prostora. Relativna vlažnost vazduha treba da je iznad 70% (*Bebić, 1974; Brack, Hanneforth, 1991*), a kada je u pitanju optimalna temperatura literaturni podaci su pomalo neusaglašeni, ali uglavnom povezani sa vremenom skladištenja zamrznutih proizvoda. Najčešće je optimalna temperatura skladištenja zamrznutog testa u intervalu -15 i -20°C (*Hsu i sar., 1979; Bot, 2003*); ili

između -18 i -22°C (Kenny i sar., 2001; Leray i sar., 2010). Za kraće skladištenje do dva dana preporučuje se temperatura skladištenja od -10°C , a za skladištenje od tri do šest dana -18°C , kao za dugotrajno skladištenje (Kovačević, 2011). Temperatura skladištenja ima značajan uticaj na rast kristala tokom skladištenja i kvalitet proizvoda nakon pečenja (Phimolsiripol i sar., 2008). Bot (2003) je ustanovio da je sadržaj slobodne vode, koja doprinosi uvećanju kristala leda u zamrznutom testu veći ukoliko je temperatura skladištenja -15°C , a manji na temperaturi -20°C .

Tokom skladištenja pri stabilnim uslovima sadržaj leda u zamrznutom testu se ne menja. Prema Bebiću (1974), kolebanje temperature u zamrznutom proizvodu čuvanom na -18°C treba da je manje od $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Kao rezultat temperaturnih promena tokom skladištenja, od manjih kristala leda nastaju krupniji (Luo i sar., 2018), što se pri kratkom vremenu skladištenja ne zapaža. Ponavljanjem ciklusa zamrzavanja i odmrzavanja kvasnog testa, usled migracije vode, rekristalizacije leda i mehaničkih uticaja pri transformaciji vode u led, pogoršavaju se elastičnost testa i kapacitet zadržavanja ugljen-dioksida, što izaziva oštećenja glutenina i rezultuje slabom rastegljivošću testa. Sukcesivno zamrzavanje i odmrzavanje testa dovodi do denaturacije proteina (Keneddy, 2000).

Prema Schünemann i Treu (2012) kratkotrajno skladištenje zamrznutog testa je skladištenje do 24 h. Za zamrznute proizvode je karakteristično duže vreme skladištenja koje je u granicama od 6 do 8 nedelja, pa i do 12 meseci (Bojat i sar., 1994). Duže skladištenje uzrokuje pogoršanje kvaliteta zamrznutog testa, a samim tim i gotovih proizvoda.

2.6 TRENDVI U ZAMRZAVANJU TESTA

Pored brojnih prednosti procesa zamrzavanja i upotrebe zamrznutih proizvoda, zbog kojih dolazi do ekspanzije njihove ponude i prodaje (Šimurina, Filipčev, 2012), postoje i problemi koji nastaju tokom zamrzavanja i skladištenja zamrznutih proizvoda. U cilju otklanjanja i minimizovanja pomenutih problema sprovode se različita istraživanja koja doprinose razvoju trendova u zamrzavanju testa.

Za kontrolu nastajanja i raspodele kristala leda tokom procesa zamrzavanja testa, mogu da se primene nove tehnologije (Sun, 2016). Jedna od novih tehnologija, kojom se poboljšava nukleacija i rast kristala leda je ultrazvučno zamrzavanje (*ultrasound-assisted freezing, UAF*) (Delgado i sar., 2009). Ultrazvučno zamrzavanje smanjuje stepen superhlađenja, povećava efikasnost prenosa toplote i omogućava nastajanje velikog broja bolje raspoređenih, finih kristala leda (Cheng i sar., 2014). Zhang i sar. (2015) objašnjavaju mehanizam ultrazvučnog zamrzavanja pojavom kavitacije, odnosno stvaranjem velikog broja mehurića koji predstavljaju jezgra nukleacije. Sudaranjem mehurića naglo se povećava pritisak, koji velike kristale leda razbija u sitnije, koji postaju sekundarna jezgra nukleacije, te zatim nastaju ujednačenije raspoređeni mali kristali leda. Primenom ultrazvuka na 288 W i 360 W skraćuje se ukupno vreme zamrzavanja testa za više od 11%, pri čemu su se značajno poboljšala rastegljivost i senzorska svojstva testa (Hu i sar., 2013).

Primena genetskog inženjeringa u cilju delovanja na ćelije kvasca, da bi se poboljšala njihova održivost tokom fermentacije i povećala tolerancija na zamrzavanje (Luo i sar., 2018), jedan je od trendova kojim se pokušava poboljšati kvalitet testa tokom procesa zamrzavanja i skladištenja. Tolerancija ćelija kvasca na zamrzavanje prema dosadašnjim studijama u najvećoj meri zavisi od disaharida trehaloze i aminokiseline prolina (Blomberg, 2000; Yokoigawa i sar., 2006; Giannou, Tzia, 2008; Shima, Takagi, 2009; Sasano i sar., 2012b, Dong i sar., 2016). Pri stabilnom nivou trehaloze u ćelijama kvasca, od nivoa prolina zavisi stepen oštećenosti ćelija tokom procesa zamrzavanja (Kaino i sar., 2008). Koncentracije trehaloze i prolina se u ćeliji mogu kontrolisati sintezom i hidrolizom enzima (Luo i sar., 2018), a kontrola je zasnovana na genetskim modifikacijama (Zhang i sar., 2010; Sasano i sar., 2012a; Tan i sar., 2014; Sun i sar., 2016; Dong i sar., 2016; Tsolmonbaatar i sar., 2016). Osim gena kojima se utiče na trehalozu i prolin, pojedini autori (Demae i sar., 2007; Sasano i sar., 2010, 2013; Lin i sar., 2015; Nakagawa i sar. 2017) ukazuju na ulogu nekih drugih gena i mogućnosti njihove modifikacije.

2.7 ZAKONSKA REGULATIVA I STANDARDI

Sadržaj direktiva EU koje se odnose na oblast proizvodnje zamrznute hrane, mora se ugraditi u nacionalna zakonodavstva, pri čemu forme direktiva ne moraju biti doslovno prepisane (*Katalenić, 2006*), dok se zakon koji se odnosi na oblast proizvodnje zamrznute hrane mora preneti bez dopuna i izmena u nacionalne propise, u cilju standardizacije zakonodavstva zemalja članica EU (*Šimurina, Filipčev, 2012*).

Komitet za unutrašnji transport Ekonomske komisije Ujedinjenih nacija za Evropu doneo je 1970. godine ATP (na francuskom jeziku Accord Relatif Aux Transports Internationaux de Denrées Périssables Et Aux Engins Spéciaux à Utiliser Pour Ces Transports) Sporazum o međunarodnom prevozu lakokvarljivih namirnica i specijalnim sredstvima za njihov prevoz, radi obezbeđivanja kvaliteta i bezbednosti proizvoda. Preko granica država potpisnica ATP sporazuma nezakonito je prevoziti lakokvarljive namirnice vozilom koje ne poseduje važeći ATP sertifikat (<http://ciah.mas.bg.ac.rs>). U ATP sporazumu termin "zamrznuta hrana" podrazumeva hranu koja se čuva na stabilnoj temperaturi -12°C ili nižoj (*Katalenić, 2006*).

U Direktivi Saveta 89/108/EEZ koristi se termin "brzo zamrznuta hrana" pod kojim se podrazumeva hrana čija se temperatura kontinualno održava na -18°C ili nižoj, jedino su tokom transporta dozvoljena kratka odstupanja naviše, najviše 3°C . Dopušteni kriogeni mediji za upotrebu u direktnom kontaktu sa brzo zamrznutom hranom su vazduh, azot i ugljen dioksid. Sirovine koje se koriste kao sastojci zamrznute hrane moraju biti odgovarajućeg kvaliteta, svežine i porekla - ne koriste se takve, kojima je rok upotrebe pri isteku ili su već bile zamrznute. Brzo zamrznuta hrana namenjena krajnjem potrošaču mora se upakovati u odgovarajuće pakovanje, koje proizvod štiti od svih oblika zagađenja kao i od sušenja. Podaci koji moraju da budu istaknuti na deklaraciji proizvoda su datum minimalnog roka upotrebe, period tokom kojeg se brzo zamrznuti proizvod može čuvati, temperatura skladištenja i/ili vrsta opreme potrebne za skladištenje, proizvodna serija, poruka da se nakon odmrzavanja proizvod ponovno ne zamrzava. Brzom zamrzavanju se podvrgavaju

proizvodi različitih vrsta, sastava i mase, stoga se ne navodi vreme potrebno da se postigne zadovoljavajući nivo zamrznutosti, što se smatra nedostatkom, te se prilikom implementacije Direktive Saveta 89/108/EEZ u nacionalni propis, preporučuje utvrđivanje potrebnog vremena za postizavanje optimalnog nivoa zamrznutosti proizvoda. Neke zemlje propisuju da zahtevanih -18°C mora biti postignuto za manje od 1 h kod komada manje mase, za 2 do 6 h za namirnice srednje mase, a za 24 h za velika pakovanja u kartonske kutije (Katalenić, 2006).

Uredba Komisije EZ 37/2005 propisuje praćenje temperature u transportnim sredstvima i u prostorima za skladištenje i čuvanje brzo zamrznute hrane. Merni instrumenti za merenje temperature vazduha treba da budu baždareni od strane akreditovanih laboratorija, a standardi EU koji se odnose na njih su EN 12830:1999, EN 13485:2001, EN 13486:2001 (www.en-standard.eu). Postupak uzorkovanja i metode analize za službenu kontrolu temperature brzo zamrznute hrane propisan je u Direktivi Komisije 92/2/EEZ (eur-lex.europa.eu).

U oblasti funkcionalne hrane, Japan je jedina država sa zakonom koji kategorise funkcionalnu hranu i regulise upotrebu zdravstvenih izjava (Sedej, 2011). Funkcionalnu hranu prate dve vrste izjava. Prvu grupu cine izjave o odnosu strukture i funkcije (structure and function claims), koje ne moraju da budu odobrene od strane FDA, ali moraju da budu istinite i ne smeju da dovode potrošače u zabludu. Drugu vrstu izjava predstavljaju zdravstvene izjave (health claims ili disease-specific claims), koje se donose kritički, potkrepljene naučnim istraživanjima i potvrđene od strane FDA. Prema Vodiču Evropskog Saveta za naučnu verifikaciju zdravstvenih izjava za funkcionalnu hranu, neophodno je rangiranje dokaza različitih tipova studija (eksperimentalne- i opservacione humane; biohemijske, celularne ili studije na životinjama) koje podržavaju zdravstvenu izjavu (Miletić i sar., 2008).

U EU ne postoji harmonizovana regulativa za područje funkcionalne hrane, a njena proizvodnja i promet uređene su delimično uredbama o novoj hrani (Uredba Evropskog parlamenta i Vijeća 2015/2283), hrani za posebne medicinske potrebe i zameni pri redukcijskoj dijeti (Uredba Evropskog parlamenta i Vijeća 609/2013) i dijetetskim suplementima (Direktiva Evropskog parlamenta i Vijeća 2002/46).

U EU je dodatak prehrambenih vlakana i označavanje dobijenih proizvoda regulisano uredbom o prehrambenim i zdravstvenim izjavama (*Uredba Europskog parlamenta i Vijeća 1924/2006*) i uredbom o informisanju (*Uredba Europskog parlamenta i Vijeća 1169/2011*). Količina prehrambenih vlakana u proizvodima se izražava u g na 100 g ili 100 ml proizvoda. Konverzioni faktori koji se primenjuju prilikom izračunavanja energetske vrednosti, za prehrambena vlakna iznose 8 kJ/g odnosno 2 kcal/g. Od strane Evropske komisije, odobrene su dve prehrambene izjave za vlakna:

„Izvor vlakana“ ukoliko je sadržaj prehrambenih vlakana najmanje 3 g/100g ili najmanje 1,5 g/100kcal. U slučaju namirnica koje prirodno imaju visok sadržaj vlakana, ispred ove izjave može da se upotrebi prefiks „prirodan“.

„Bogat vlaknima“ kada je sadržaj prehrambenih vlakana minimalno 6 g/100g ili minimalno 3 g/100kcal. Ako se radi o namirnicama koje prirodno imaju visok sadržaj vlakana uz ovu izjavu o hranljivoj vrednosti može se koristiti prefiks „prirodno“.

U RS ne postoji poseban zakonski propis koji se odnosi na zamrzavanje hrane. Osnovni propisi sa aspekta kvaliteta i bezbednosti, koje i zamrznuti pekarski proizvod u prometu treba da zadovolji su: *Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* prema kojem lisnato testo sadrži najmanje 20% masnoće računato na količinu upotrebljenog brašna, *Zakon o bezbednosti hrane (2009)*, *Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane (2017)*. Postoji veliki broj drugih propisa, koji se odnose na kvalitet i bezbednost proizvoda, uključujući propise koji se odnose na sastojke, ambalažni materijal, uslove proizvodnje. Zakonska regulativa posebno za funkcionalnu hranu u RS ne postoji. Neki se proizvodi mogu svrstati u dijetetske, za njih važi *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti dijetetskih proizvoda (2010)*. Zanimljivo je, da je *Zakonom o bezbednosti hrane* doneta definicija **nove hrane** (“hrana ili sastojci hrane koji se do sada nisu koristili u ishrani ljudi, osim genetski modifikovane hrane, prehrambenih aditiva, aroma, pomoćnih sredstava u proizvodnji i enzimskih preparata, koji su odobreni za upotrebu u hrani i hrani za životinje”) i usvojen je *Pravilnik o novoj hrani (2018)*, u kojem se na Listi odobrene nove hrane nalaze ulje iz semenki - i semenke čije. *Pravilnik o prehrambenim i zdravstvenim izjavama koje se navode na deklaraciji hrane (2018)*, u potpunosti je

usklađen sa regulativom EU (www.ihis-nutricionizam.rs), određuje odobrene izjave koje se mogu isticati na proizvodima u cilju dodatnog informisanja potrošača u vezi hranljivih svojstava proizvoda i njegovog uticaja na zdravlje. *Uredba o nacionalnom programu za prevenciju gojaznosti kod dece i odraslih (2018)*, koja je usvojena od strane Vlade RS, ima za jedan od ciljeva, da se u prehrambenim proizvodima smanje količine masti, uključujući i transmasti, šećera i soli.

Standardi - Proizvodnja, kao i druge aktivnosti kao što su skladištenje i distribucija, koje upravljajući sistem proizvođača zamrznutog peciva obuhvata, mogu da budu sertifikovani prema nekom od brojnih standarda koji se odnose na proizvodnju hrane. Implementacije i sertifikacije standarda nisu obavezne, ali su često uslov da bi se postao dobavljač pojedinih trgovačkih lanaca.

Uvođenje HACCP (*Hazard Analyses Critical Control Point*) sistema je u RS zakonska obaveza, ali ne i njegova sertifikacija. Pored sertifikacije HACCP sistema, najčešće su u RS sertifikacije različitih ISO (*International Organisation for Standardization*) standarda, koji su međunarodnog karaktera (www.iso.org). Sam ISO, sa sedištem u Ženevi, osnovan još 1946. godine, predstavlja mrežu sada 162 nacionalna instituta za standardizaciju. Odgovarajući standardi RS nose oznake SRPS (srpski standard) ispred oznake ISO, a priprema ih Institut za standardizaciju Srbije (www.iss.rs). Na bezbednost hrane odnosi se standard ISO 22000, a trenutno je važeća verzija iz 2015. godine.

Nešto zahtevniji standardi, koji se takođe odnose na bezbednost hrane, su oni koji odgovaraju normama Globalne inicijative za bezbednost hrane (*GFSI, Global Food Safety Initiative*), kao što su FSSC 22000 (*Food Safety System Certification 22000*), IFS (*International Food Standard*), BRC (*British Retail Consortium*), Global GAP (*Good Agricultural Practices*) i drugi. GFSI postoji od 2000. godine, sedište je u Francuskoj, neprofitna je organizacija osnovana od strane Foruma za robu široke potrošnje (*CGF, The Consumer Goods Forum*) (www.mygfsi.com). GFSI priznati standardi su nastali radi sigurnosti trgovačkih lanaca, da bi proizvodi koje oni prodaju pod svojim robnim markama bili bezbedni i kvalitetni.

Pored navedenih, postoje standardi prema kojima se sertifikuju proizvodi u skladu sa određenim verskim običajima i propisima (www.fao.org). Halal standard je u

skladu sa islamskim običajima i Kuranu, a Košer standardom obuhvaćeni su zahtevi potrebni da bi se proizvela hrana u skladu sa jevrejskim običajima i Tori.

3. CILJ RADA

Cilj istraživanja u okviru ove disertacije je ispitivanje efekata šok zamrzavanja (temperature zamrzavanja u komori i temperature u središtu testanog komada) na tehnološke karakteristike zamrznutog lisnatog testa sa dodatkom prehrambenih vlakana šećerne repe i čija semena.

Sagledavajući činjenice o hidratacionim svojstvima vlakana šećerne repe i čija semena pretpostavilo se da će obogaćivanje beskvasnog lisnatog testa vlaknima šećerne repe i čija semenom uz optimalnu količinu ksantana umanjiti negativan efekat zamrzavanja na glutensku strukturu tokom dužeg skladištenja. Sa druge strane, ispitaće se i doprinos vlakana šećerne repe kao i čija semena, koje pored vlakana sadrži minerale, ω -3 i ω -6 masne kiseline, poboljšanju nutritivne vrednosti lisnatog peciva.

Na bazi rezultata fundamentalnih reoloških merenja (dinamička oscilatorna merenja i test puzanja i oporavka) tokom preliminarnih istraživanja prve faze odrediće se količina vitalnog glutena koju treba dodati pri zamesu osnovnog testa da bi se obezbedila dobra prilagodljivost laminiranog testa naponima pri sukcesivnom biaksijalnom istezanju. U nastavku prve faze istraživanja odrediće se optimalan sastav lisnatog testa, odnosno definisati količina margarina za laminiranje i količina poboljšivača za zamrznuto lisnato testo. Druga faza obuhvatiće određivanje optimalnog režima šok zamrzavanja, koji će biti primenjen u trećoj fazi ispitivanja uticaja vlakana šećerne repe i čija semena, kao i količine ksantana na fizička i senzorska svojstva peciva dobijenog od zamrznutog testa i skladištenog 30 dana na -18°C. Komparativnom analizom parametara kvaliteta peciva dobijenog od zamrznutog i nezamrznutog lisnatog testa utvrdiće se u kojoj su meri umanjeni negativni efekti šok zamrzavanja.

4. MATERIJALI I METODE

4.1 MATERIJAL

Sastav osnovnog testa činile su sledeće osnovne sirovine:

- Namensko pšenično brašno T-500 i integralno pšenično brašno

Ispitivanja su rađena na uzorku namenskog pšeničnog brašna T-500 i integralnog pšeničnog brašna iz redovne proizvodnje fabrike „Danubius“ d.o.o. Novi Sad i „Kikindski mlin“ a.d. Kikinda, karakteristika datih u tabeli 4.1.

Tabela 4.1 Hemijske i reološke karakteristike korišćenih brašna

Parametri	Namensko pšenično brašno	Integralno pšenično brašno
Hemijski sastav		
Sadržaj vlage (%)	13,70 ± 0,12	14,20 ± 0,11
Sadržaj pepela (% s.m.)	0,55 ± 0,05	1,53 ± 0,07
Sadržaj vlažnog glutena (%)	25,50 ± 0,14	-
Stepen kiselosti	1,9	1,9
Farinografski pokazatelji		
Moć upijanja vode (%)	54,60	63,00
Razvoj testa (min)	2,0	5,5
Stabilitet testa (min)	6,1	1,0
Stepen omekšanja testa (Fj)	60	50
Kvalitetni broj / klasa	56,8 / B1	68,5 / B1
Ekstenzografski pokazatelji		
Energija testa (cm ²)	107	-
Otpor testa (Ej)	400	-
Rastegljivost (mm)	145	-
Odnos otpor / rastegljivost	2,8	-
Amilografski maksimalni viskozitet (Aj)	870	-
Ostatak na situ 125 µm (%)	11	-

- Namenski margarin za lisnata testa Argenta Pastry HF, proizvođač „Puratos“ d.o.o., Beograd

Namenski margarin Argenta Pastry HF, tačke topljenja 44,9°C, korišćen je za

laminiranje. Sastav masnih kiselina namenskog margarina (zasićene masne kiseline 54%, mononezasićene masne kiseline 34,5%, polinezasićene masne kiseline 11,4% i *trans* masne kiseline 0,2% ekstrahovane masti) je određen gasnom tečnom hromatografijom-masenom spektrometrijom GC-MS (Hewlett Packard, Ujedinjeno Kraljevstvo) prema Šoronja Simović i sar. (2009). Upotrebljeni margarin deklarirane se bez *trans* masnih kiselina.

- Vlakna šećerne repe

U postupku dobijanja prehrambenih vlakana, osušeni ekstrahovani rezanci šećerne repe su prošli hemijski i fizički postupak modifikacije (Đorđević, 2020). Osušena modifikovana vlakna su prikupljena i usitnjena u uređaju Thermomix® (Vorwerk, Wuppertal, Nemačka). Frakcionisanje usitnjenih modifikovanih vlakana sprovedeno je prosejavanjem na laboratorijskom planskom situ (tip SZ – 1, ZBPP, Bydgoszoz, Poljska) u trajanju od 4 minuta, na slogu sita čije su veličine otvora redom 315 µm, 180 µm, 165 µm, 150 µm i 95 µm. Za proizvod od lisnatog testa korišćene su frakcije vlakana <315 µm.

- Čija seme – komercijalni proizvod, distributer „Lučar“ d.o.o., Novi Sad. Nutritivni sastav čija semenki je ugljeni hidrati 42,12 g (od toga prehrambena vlakna 34,4 g), proteina 16,54 g, masti 30,74 g, energetska vrednost 486kcal/100 g.
- Kuhinjska so - komercijalni proizvod, proizvođač DP „So produkt“, Beograd
- Vodovodska voda za piće

Sastav osnovnog testa činile su sledeće dodatne sirovine:

- Vitalni pšenični gluten, proizvođač „Fidelinka-Skrob“ d.o.o., Subotica, sledećih karakteristika: sadržaj pepela maksimalno 2,0%, sadržaj masnoće maksimalno 4%, sadržaj proteina minimalno 77% (Nx6,25).
- Aditiv za zamrznuto beskvasno testo S 500 Puff Pastry, proizvođača „Puratos“, Belgija, koji se dozira u količini od 0,5% do 1,5% na masu brašna.
- Hidrokolid – Ksantan guma E (415), proizvođač „Shandong Fufeng Fermentation“, Kina.

4.2 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA BRAŠNA

- **Sadržaj vlage u brašnu** određen je sušenjem uzoraka 90 minuta na 130°C (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Sadržaj pepela u brašnu** određen je žarenjem uzoraka 90 minuta na 900°C (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Sadržaj vlažnog glutena** određen je ručnim ispiranjem (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Stepen kiselosti brašna** određen je ekstrakcijom alkoholom po postupku Schulerud-a (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Izrada farinograma** po standardnom postupku (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Izrada ekstenzograma** po standardnom postupku (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- Izrada **amilograma** po standardnom postupku (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).
- **Veličina čestica** određena je prosejavanjem brašna kroz slog sita i merenjem mase brašna zaostale na situ nakon prosejavanja (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.3 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA MARGARINA

4.3.1 SASTAV MASNIH KISELINA

Sastav masnih kiselina ispitan je primenom standardne metode ISO 15304:2002, koja se sastoji od gasne hromatografske metode za razdvajanje (rađeno na gasnom hromatografu Hewlett Packard 5890A) i masene spektrometrije za identifikaciju individualnih komponenti smeše (korišćen maseni spektrometar Hewlett Packard 5971A sa kapilarnom kolonom SP-2560, dužine 100 m i unutrašnjeg prečnika 0,25 mm, a debljine filma stacionarne likvidne faze 0,20 µm).

4.3.2 SADRŽAJ ČVRSTIH TRIGLICERIDA

Sadržaj čvrstih triglicerida analiziran je standardnom metodom ISO 8292-1:2008 primenom pulsne magnetne rezonance (NMR) na uređaju Bruker minispec 20 mq.

4.4 METODE ZA DEFINISANJE KVALITETA TESTA I PECIVA

4.4.1 POSTUPAK IZRADE PECIVA OD LAMINIRANOG TESTA

U zavisnosti od faze ispitivanja postojale su razlike u sirovinskom sastavu lisnatog testa.

U prvoj fazi ispitivanja osnovno testo je zamešeno od 1 kg brašna (700 g namenskog belog brašna i 300 g integralnog pšeničnog brašna), 2% (g/100g brašna) kuhinjske soli, 1% vitalnog pšeničnog glutena, količina aditiva je varirana od 0,5% do 1,5%, kao i količina margarina od 40% do 60% na masu brašna.

Druga faza ispitivanja je obuhvatala optimizaciju procesa zamrzavanja lisnatog testa utvrđenog optimalnog sastava iz prve faze: 1 kg brašna (700 g namenskog belog brašna i 300 g integralnog pšeničnog brašna), 2% soli, 1% vitalnog pšeničnog glutena, 0,5% aditiva i 60% margarina na masu brašna.

U trećoj fazi ispitivanja sirovinski sastav lisnatog testa činili su sledeći sastojci: 1 kg brašna (700 g namenskog belog brašna i 300 g integralnog pšeničnog brašna), 2% soli, 1% vitalnog pšeničnog glutena, 60% margarina na masu brašna. U skladu sa eksperimentalnim planom nezavisno promenljive bile su: količina vlakana šećerne repe (0-10%), čija seme (0-6%) i ksantan guma (0-0,5%).

U sve tri faze ispitivanja **postupak izrade lisnatog testa** je bio isti. Dodata količina vode je određena na osnovu stvarnog upijanja vode (farinografska moć upijanja vode i dodatih 2,7%). Temperatura vode je bila u opsegu od 8 do 10°C. Testo je mešeno 4 min u brzohodnoj spiralnoj mesilici MS-6 (slika 4.1), pri čemu je postignuta optimalna temperatura testa za izradu peciva od laminiranog testa ($19 \pm 1^\circ\text{C}$). Nakon zamesa i okruglog oblikovanja, testo se odmaralo 20 min, a zatim je istanjeno na laminatoru „Mac.Pan“ (slika 4.1) tip laminatora „mk 600“, Italija.

Namenski margarin za lisnata testa u toku laminiranja unešen je u testo po engleskom postupku (McGill, 1981).



Slika 4.1 Mesilica (levo) i laminator „Mac.Pan“ (desno)

U toku faza laminiranja debljina testa je postepeno redukovana sa 25 → 22 → 18 → 15 → 12 → 10 → 8 mm, a potom je izvršeno prvo savijanje testa (slika 4.2) u tri dela (1 x 3).



Slika 4.2 Priprema laminiranog testa

Nakon ponovne primene višestrukih postupaka istanjivanja formirana je traka testa debljine 8 mm i izvršeno savijanje u četiri dela (1 x 4). Relaksaciju testa između faza laminiranja u I fazi eksperimentalnog rada iznosila je 20 minuta, a u II fazi 15, 30 ili 45 min na 8-10°C. Postupci laminiranja i kombinovanog savijanja testa u tri i četiri dela ponovljeni su dva puta, što je rezultiralo formiranjem 144 sloja testa.

Konačna debljina testa formirana je postepenom redukcijom debljine testa

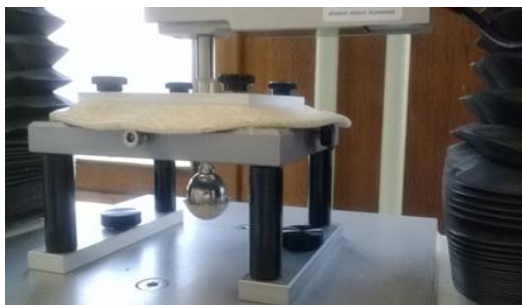
30 → 28 → 25 → 22 → 18 → 15 → 12 → 10 mm u poslednjoj fazi laminiranja. Komadi testa kružnog oblika, prečnika $D_0 = 56 \pm 2$ mm, visine $H_0 = 10 \pm 2$ mm i mase 30 ± 2 g pečeni su u laboratorijskoj peći „MIWE gusto C5“ (slika 4.3), proizvođač MIWE Nemačka na 220°C , 19-22 minuta u zavisnosti da li su nezamrzavani ili zamrzavani uzorci testa.



Slika 4.3 Pećnica „MIWE gusto C5“

4.4.2 ODREĐIVANJE FIZIČKIH OSOBINA LAMINIRANOG TESTA PRI BIAKSIJALNOM ISTEZANJU

Za određivanje fizičkih osobina testa nakon poslednje faze laminiranja, određena je rastegljivost testa - rastojanje na apscisi do trenutka kidanja testa. Merenja su urađena na teksturometru TA.XTPlus (slika 4.4) pri sledećim radnim parametrima: merna ćelija 5 kg; brzina mernog elementa pre merenja 0,5 mm/s, u toku merenja 0,5 mm/s a nakon merenja 10,0 mm/s; udaljenost 75 mm.



Slika 4.4 Određivanje fizičkih osobina laminiranog testa pri biaksijalnom istezanju

4.4.3 ODREĐIVANJE LEPLJIVOSTI LAMINIRANOG TESTA

Lepljivost testa (slika 4.5) utvrđena je pomoću Chen–Hoseney Dough Stickiness Rig testa na analizatoru teksture (TA.HDplus, Stable Micro Systems Ltd., Engleska). Uzorak testa postavljen je u ćeliju Chen-Hoseney Dough Stickiness Cell (A/DSC), a zatim je okretanjem unutrašnjeg zavrtnja istisnut kroz rupe na kalupu. Uzorak prve ekstruzije je odstranjen sa površine kalupa pomoću špatule. Zatim je kroz matricu istisnut sledeći uzorak testa visine 1 mm. Lepljivost testa određena je pri sledećim radnim parametrima: brzina pre merenja 2,0 mm/s, brzina merenja 2,0 mm/s i brzina posle merenja 10,0 min/s pomoću cilindrične sonde od pleksiglasa 25 mm (P/25P). Maksimalna sila očitana sa pozitivnog dela grafika pokazatelj je lepljivosti testa.



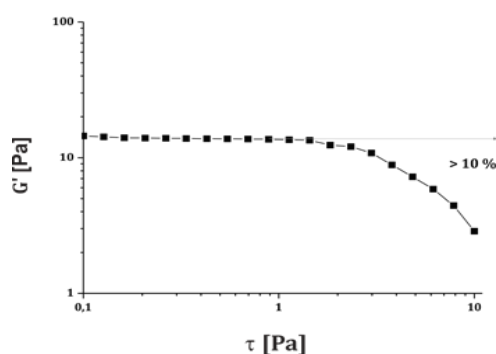
Slika 4.5 *Određivanje lepljivosti laminiranog testa*

4.4.4 ODREĐIVANJE FUNDAMENTALNIH REOLOŠKIH OSOBINA TESTA

Prilikom određivanja reoloških osobina lisnatog testa sprovedena su fundamentalna reološka merenja: dinamički oscilatorna merenja i test puzanja i oporavka. Sva reološka merenja izvedena su na rotacionom viskozimetru Haake Rheo Stress 600 (Thermo Electron Corporation, Karlsruhe, Nemačka) uz korišćenje pribora ploča – ploča prečnika 35 mm (P35 Ti), sa zazorom između ploča 2 mm na temperaturi 25°C (*Selaković i sar., 2021*).

Dinamička oscilatorna merenja

Promene modula elastičnosti G' i modula viskoznosti G'' sa promenom frekvencije definisane su primenom dinamičkih oscilatornih merenja u oblasti linearnog viskoelastičnog režima (LVE). U cilju određivanja linearnog viskoelastičnog režima primenjeni su ciklično povećavajući iznosi napona pri konstantnoj frekvenciji od 1 Hz. Tačka pri kojoj se dinamički viskoelastični moduo menja za više od 10% od svoje konstantne vrednosti pokazuje odstupanje od linearnog viskoelastičnog ponašanja (slika 4.6).



Slika 4.6 Određivanje linearnog viskoelastičnog režima

Na osnovu određenog LVE režima definisani su uslovi merenja, odnosno vrednosti napona smicanja pri kojima ne dolazi do destrukcije sistema. Dinamička oscilatorna merenja izvedena su variranjem vrednosti frekvencije, f , od 1–10 Hz pri konstantnoj vrednosti napona smicanja u LVE oblasti od 10 Pa, pri čemu su praćene promene G' i G'' . Korišćen je pribor nazubljenih ploča prečnika 35 mm (P35 Ti L) sa zazorom između ploča od 2 mm (Mezger, 2002).

Eksperimentalni podaci su opisani modelom stepenog zakona. Konstanta stepenog zakona, koja se odnosi na G' prema frekvenciji, izračunata je pomoću jednačine (4.1):

$$G' = G_0' \omega^n \quad (4.1)$$

gde su: G' modul elastičnosti, n odgovarajući stepen, ω frekvencija i G_0' odsečak prave zavisnosti modula od frekvencije na x osi (Ortolan i sar., 2017).

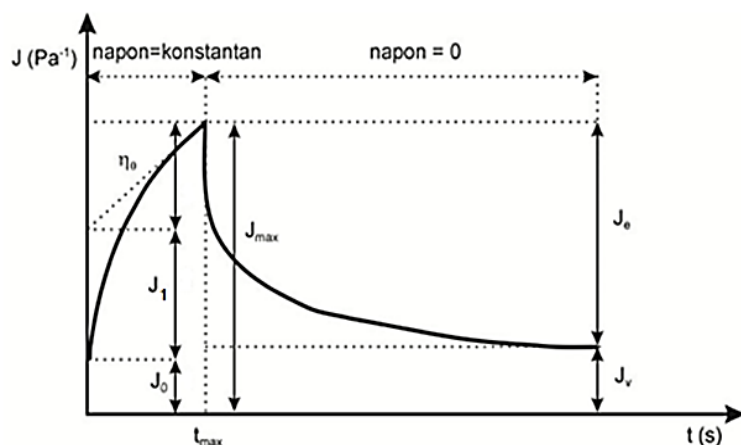
Test puzanja i oporavka

Radi ispitivanja odgovora viskoelastičnih materijala na konstantnu silu, kao i njihovo ponašanje pri uklanjanju sile određene su krive puzanja sistema. Ova vrsta merenja izvodi se u LVE režimu u kojem amplituda deformacije proporcionalno odgovara amplitudi primenjenog napona smicanja. Tokom faze puzanja primenjen je konstantni napon smicanja 10 Pa, koji odgovara LVE režimu, u trajanju od 150 s. Po prestanku delovanja napona usledila je faza oporavka u trajanju od 450 s. Krive puzanja definišu se pomoću Burgers–ovog modela i u fazi delovanja napona ponašanje sistema se može opisati jednačinom 4.2. U fazi oporavka ponašanje sistema se predstavlja jednačinom 4.3.

$$J(t) = J_0 + J_1 \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) + t\eta_0 \quad (4.2)$$

$$J(t) = J_{\max} - J_0 - J_1 \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) \quad (4.3)$$

gde su: J_0 početna popustljivost sistema, J_1 viskoelastična naknadna popustljivost, J_{\max} maksimalna popustljivost, λ srednja vrednost vremena usporavanja u okviru Kelvin–Voigt–ove komponente, η_0 Njutnovski viskozitet (Steffe, 1996; Mezger, 2002). Šematski prikaz parametara tipične krive puzanja dat je na slici 4.7 (Dapčević–Hadnađev, 2013).



Slika 4.7 Tipična kriva puzanja i parametri krive

4.4.5 ZAMRZAVANJE LISNATOG TESTA

Proces zamrzavanja lisnatog testa sproveden je u II, III i IV fazi eksperimenta. U II fazi ispitivanja uzorci lisnatog testa zamrzavani su na temperaturi t_z -25, -30 i -35°C do postizanja temperature -10, -15 i -20°C u središtu testanog komada t_t , koristeći termometar Hanna (slika 4.8). Uzorci su zatim uskladišteni na -18°C do ispitivanja kvaliteta nakon 1, 7 i 30 dana skladištenja.

Zamrzavanje je sprovedeno u šok komori „Bongard“, Francuska, a u istoj komori su uzorci i skladišteni (slika 4.8).



Slika 4.8 Merenje temperature u središtu zamrznutog testa (levo) i šok komora „Bongard“ (desno)

Brzina zamrzavanja (BZ) je izračunata na osnovu jednačine koju su predložili Ban i sar. (2016):

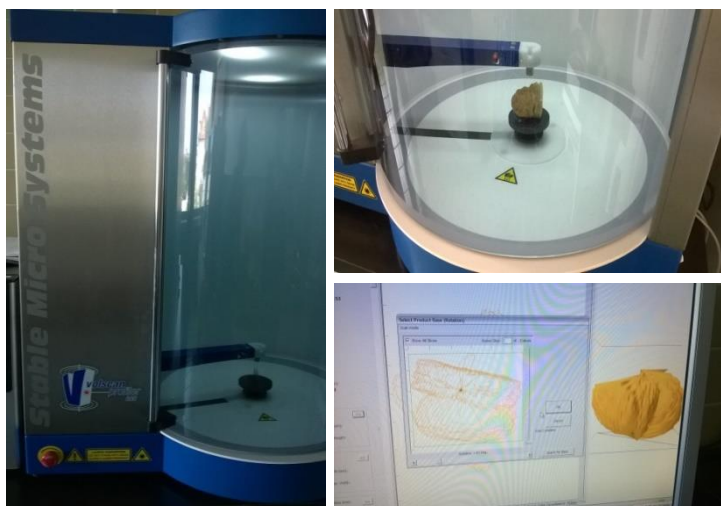
$$BZ [^{\circ}\text{C}/\text{min}] = \frac{t_t - t_i}{\Delta t} \quad (4.4)$$

gde su: t_t konačna (terminalna) temperatura uzorka, t_i početna (inicijalna) temperatura uzorka, a Δt vreme potrebno da se temperatura spusti sa t_i na t_t .

4.5 DEFINISANJE KVALITETA PECIVA

4.5.1 MERENJE ZAPREMINE LISNATOG PECIVA

Zapremina lisnatog peciva određena je laserskim skenerom VolScan profiler (Stable Microsystem, Surrey, UK) koji meri obim pekarskih proizvoda za vreme kraće od 60 sekundi (slika 4.9). Nakon kalibracije i tariranja uređaja, proizvod se postavlja u komoru i merenje se vrši kruženjem proizvoda obuhvaćenim laserskim zrakom. Dobijaju se podaci o zapremini proizvoda (cm^3) i specifičnoj zapremini (cm^3/g). Merenja su izvršena u četiri ponavljanja.



Slika 4.9 Uređaj za merenje zapremine proizvoda

4.5.2 ODREĐIVANJE FIZIČKIH OSOBINA LISNATOG PECIVA

Kvalitet lisnatog peciva određen je merenjem fizičkih osobina peciva - narastanja, skupljanja, eliptičnosti, zapremine i čvrstoće; i definisanjem senzorskih osobina metodom bodovanja i kvantitativnom deskriptivnom metodom (QDA).

Na osnovu vrednosti prečnika (D_0) i visine (H_0) testa, zatim maksimalnog i minimalnog prečnika (D_{\max} , D_{\min}), maksimalne i minimalne visine (H_{\max} , H_{\min}), srednjeg prečnika (D_{sr}) i srednje visine (H_{sr}) peciva prema jednačinama 4.5-4.8 izračunati su sledeći fizički parametri:

$$\text{Narastanje} = (H_{\max} + H_{\min}) / 2 \times H_0 \quad (4.5)$$

$$\text{Skupljanje} = 1 - (D_{\max} \times D_{\min}) / D_0^2 \quad (4.6)$$

$$\text{Eliptičnost} = D_{\max} / D_{\min} \quad (4.7)$$

$$\text{Zapremina} = (D_{sr}/2)^2 \times \pi \times H_{sr} \quad (4.8)$$

4.5.2.1 Određivanje čvrstoće peciva

Za ispitivanje uticaja nezavisno promenljivih na kvalitet i očuvanje svežine peciva, 2h nakon pečenja metodom sečenja merena je sila potrebna da preseče pecivo postavljeno na platformu tekstuometra TA.XTPlus (slika 4.10) pri sledećim radnim parametrima: merna ćelija 25 kg; brzina noža pre merenja 1,0 mm/s, u toku merenja 2,0 mm/s a nakon merenja 10,0 mm/s; rastojanje noža od platforme 55 mm; sila presecanja 5,0 g. Merenjem površine dobijene krive zavisnosti Sila (g) – Vreme (s) definisana je čvrstoća peciva, odnosno indirektno mekoća lisnatog peciva.



Slika 4.10 Određivanje čvrstoće peciva

4.5.2.2 Određivanje senzorskog kvaliteta peciva od lisnatog testa

Senzorski kvalitet peciva određivala je tročlana komisija dva sata nakon pečenja, primenom metode bodovanja i QDA metodom na osnovu Šoronja Simović i sar. (2009). Ocenjivani su metodom bodovanja (prilog P1) od 1 do 5 spoljašnji izgled (boja, oblik, površina, osobine kore), struktura (listanje, ravnomernost listanja, veličina pora, boja sredine), miris i ukus (topivost) peciva. Maksimalni broj ponderisanih bodova PB bio je 20, a kategorije kvaliteta su bile: odličan (17,9-20,0 PB), vrlo dobar (15,7-17,8 PB), dobar (13,5-15,6 PB), prihvatljiv (11,3-13,4 PB) i neprihvatljiv (<11,2 PB) (prilog P2).

Primenom QDA metode (Hazová i sar., 2002) ocenama od 0 do 3 ocenjeni su parametri kvaliteta sredine peciva: listanje (slojevitost), ravnomernost listanja, debljina slojeva, veličina pora i ravnomernost boje (prilog P3).

4.5.3 ODREĐIVANJE KINETIKE PROMENE KVALITETA LISNATOG PECIVA TOKOM SKLADIŠTENJA ZAMRZNUTIH UZORAKA

Avramijeva jednačina je korišćena za modelovanje podataka vezanih za promene kvaliteta lisnatog peciva kao posledice zamrzavanja i skladištenja (Angioloni, Collar, 2009; Ronda i sar., 2014):

$$\frac{P_{\infty} - P_t}{P_{\infty} - P_0} = e^{-kt^n} \quad (4.9)$$

gde su: t vreme skladištenja, k konstanta brzine i n Avramijev eksponent, a P predstavlja parametar kvaliteta (zapremina, broj PB ili QDA ocena) na početku merenja (supskript 0), u vremenu t (supskript t) i na kraju merenja (∞). Vrednosti konstanti k i n korišćene su za računanje poluvremena promena $t_{1/2}$, po jednačini:

$$t_{1/2} = \left(-\frac{\ln 0.5}{k}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.10)$$

Poluvreme opisuje vreme koje je potrebno da se odigraju promene od početne vrednosti P_0 do polovine od maksimalnih merenih promena tj. $(P_{\infty} - P_0)/2$. Kraće

poluvreme ukazuje na brže odigravanje promene zapremine i senzorskih svojstava lisnatog peciva.

4.5.4 ODREĐIVANJE NUTRITIVNE VREDNOSTI PECIVA

Nutritivna vrednost peciva definisana je određivanjem sadržaja ukupnih masti, zasićenih i *trans* masnih kiselina; ugljenih hidrata; rastvorljivih, nerastvorljivih i ukupnih prehrambenih vlakana; proteina; soli; minerala (Fe, Mg, Mn i Zn) i izračunavanjem energetske vrednosti.

Sadržaj masti određen je hidrolizom (*Kaluđerski, Filipović, 1998*), sadržaj skroba standardnom polarimetrijskom metodom po Ewers-u, sadržaj ukupnih šećera metodom po Luff-Schoorl-u. Sadržaj ukupnih prehrambenih vlakana određen je enzimsko-gravimetrijskom metodom AOAC 985.29:2003, a rastvorljivih i nerastvorljivih po AOAC 991.43:2006 metodi. Sadržaj proteina u pecivu dobijen je određivanjem sadržaja azota po AOAC micro-Kjeldahl metodi 960.52 (1994) i upotrebom faktora 6,25 za preračunavanje sadržaja azota u sadržaj proteina.

Na osnovu rezultata određivanja hemijskog sastava (proteina P, ugljenih hidrata UH i masti M) i podataka o energetske vrednosti pojedinih nutrijenata, primenom jednačine 4.11 izračunata je energetska vrednost (EV) peciva (*Grujić i sar., 2001; Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane, 2017*).

$$EV \text{ (kJ/100 g)} = \% \text{ usvojivih UH} \times 17 + \% \text{ P} \times 17 + \% \text{ M} \times 37 \quad (4.11)$$

Određivanje mineralnih hranljivih sastojaka: Fe, Mg, Mn i Zn određeni su primenom atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS model VSA, 5000), posle suvog spaljivanja, a prema metodi koju je opisao Haswell (1991).

4.6 EKONOMSKA ANALIZA

U okviru ekonomske analize procenjeni su troškovi proizvodnje lisnatog peciva optimalnog sirovinskog sastava i upoređeni sa troškovima proizvodnje kontrolnog uzorka bez vlakana šećerne repe, čija semena i ksantan gume. Analizom su obuhvaćeni samo direktni troškovi materijala, odnosno troškovi nabavke sirovina, budući da ostali direktni i indirektni troškovi proizvodnje ne zavise od sirovinskog sastava lisnatog peciva. Apsolutna razlika u ceni direktnih troškova materijala predstavlja očekivanu razliku u ukupnim troškovima proizvodnje ispitivanih peciva.

Direktni troškovi materijala su procenjeni na osnovu sirovinskog sastava lisnatog peciva (tabela 4.2) i tržišnih cena sirovina na lokalnom tržištu (tabela 4.3). Sve cene su izražene bez PDV-a i odražavaju stanje na tržištu u trećem kvartalu 2021. godine. Zbog velike varijacije tržišnih cena pojedinih sirovina senzitivnom analizom je proveren uticaj varijacija u njihovoj nabavnoj ceni na cenovnu konkurentnost peciva.

Tabela 4.2 Sirovinski sastav uzoraka lisnatog peciva, sa utroškom sirovina po 1 komadu proizvoda

Sirovine (g)	Sirovinski sastav				1 komad proizvoda (25 g)			
	KU	OE1	OE2	OD	KU	OE1	OE2	OD
Pšenično brašno T-500	700	700	700	700	11,1	10,2	10,4	10,1
Integralno pšenično brašno	300	300	300	300	4,7	4,4	4,4	4,3
Kuhinjska so	20	20	20	20	0,3	0,3	0,3	0,3
Aditiv, S 500 Puff pastry	5	5	5	5	0,1	0,1	0,1	0,1
Vitalni pšenični gluten	10	10	10	10	0,2	0,1	0,1	0,1
Hidrokoloid – Ksantan guma	0	2,5	0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Čija seme	0	60	0	36,0	0,0	0,9	0,0	0,5
Vlakna šećerne repe	0	0	50	22,5	0,0	0,0	0,7	0,3
Margarin za laminiranje	600	600	600	600	9,5	8,7	8,9	8,7
Voda (ml)	599	734,7	698,0	746,0	9,5	10,7	10,3	10,8

Tabela 4.3 Nabavna cena korišćenih sirovina

Sirovine (g)	Cena (bez PDV) din/kg
Pšenično brašno T-500	31,10
Integralno pšenično brašno	33,52
Kuhinjska so	15,29
Aditiv, S 500 Puff pastry	378,00
Vitalni pšenični gluten	174,24
Hidrokoloid – Ksantan guma	285,85
Čija seme	580,00
Vlakna šećerne repe	285,00
Margarin za laminiranje	95,85
Voda	0.115 (industrija za Novi Sad)

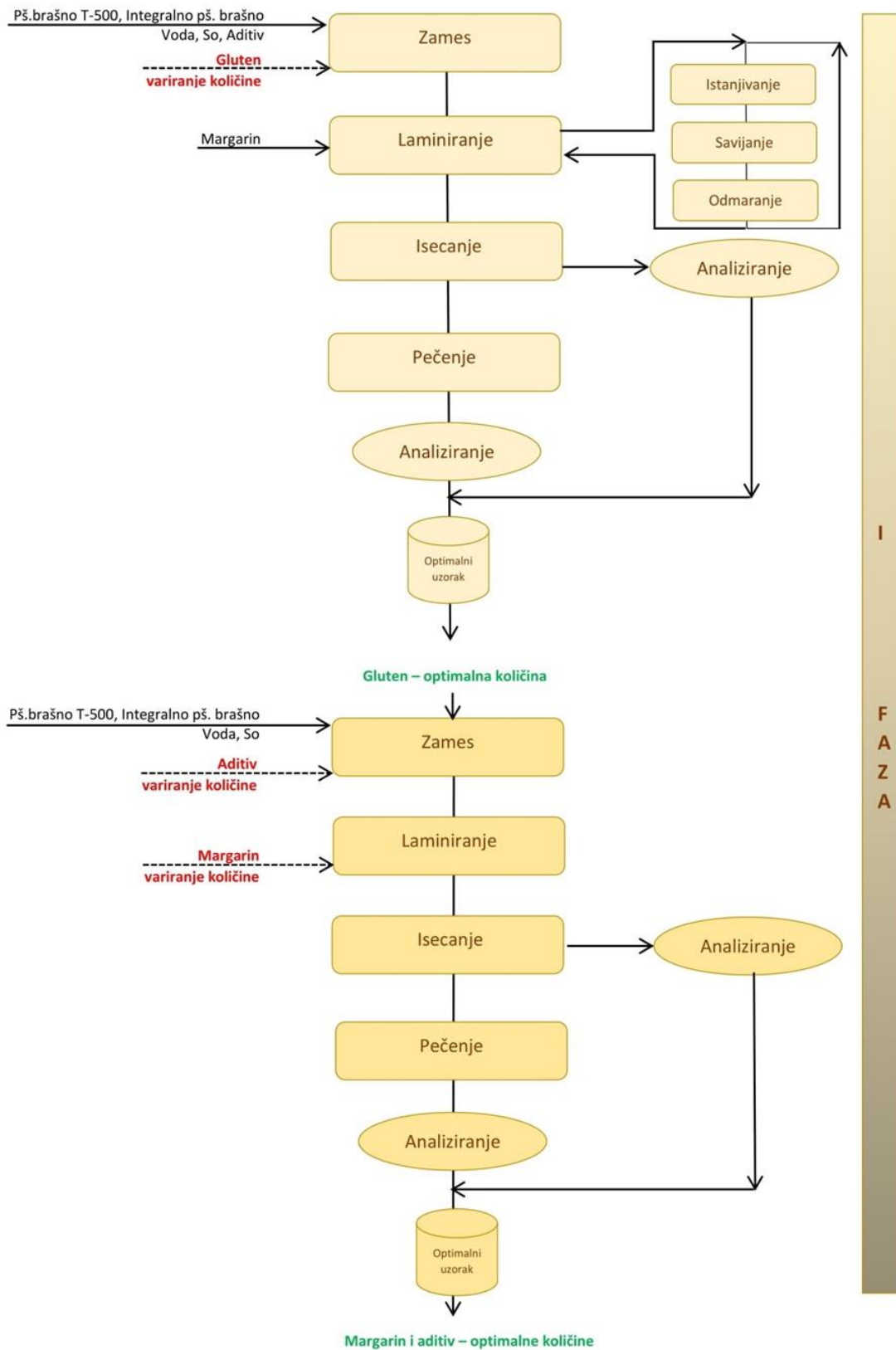
4.7 PLAN ESKPERIMENTA

U cilju ispitivanja efekata šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva sa vlaknima šećerne repe i čija semenom optimizovanog sastava sprovedena su istraživanja u četiri faze:

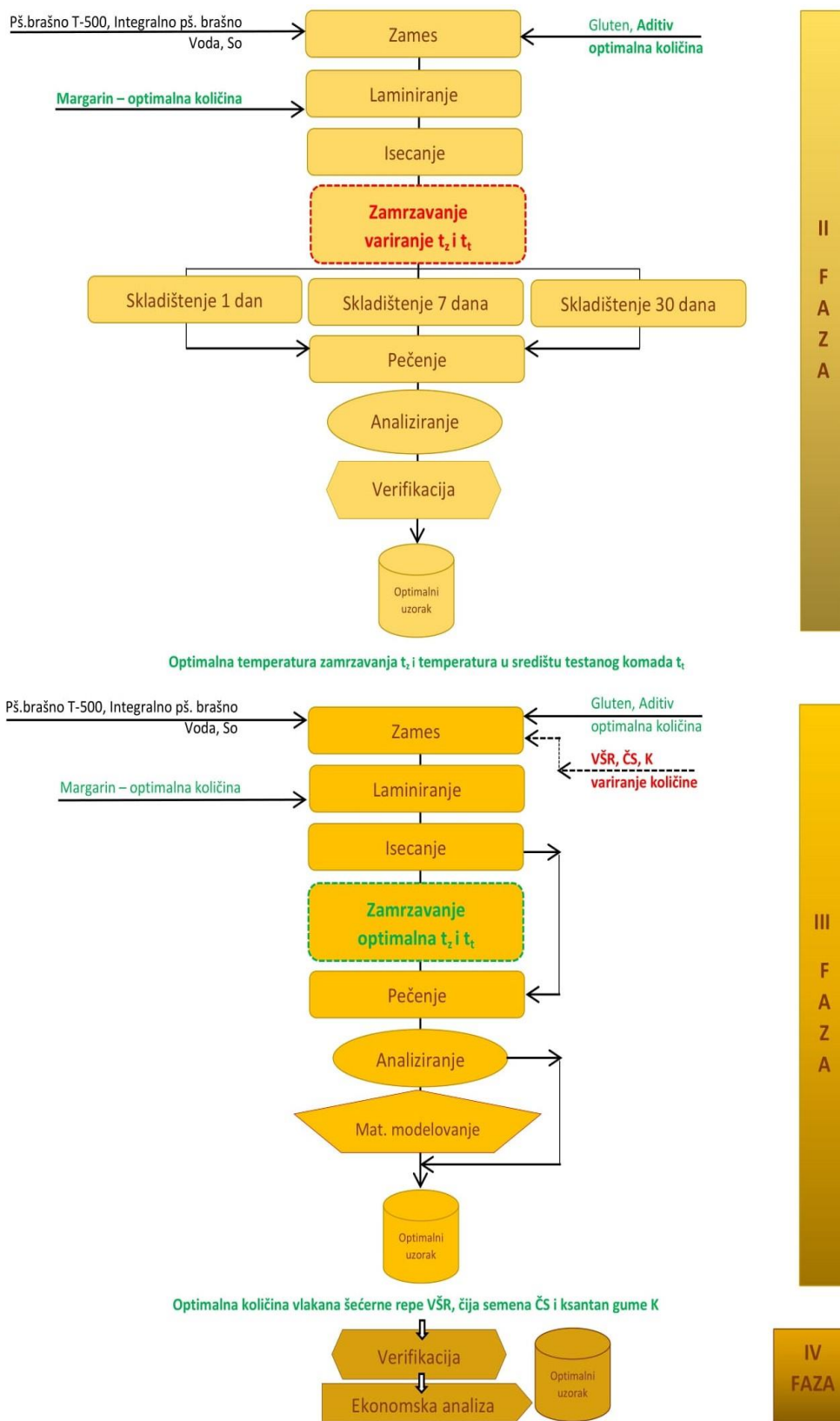
- I FAZA - definisanje optimalne količine glutena, a zatim margarina za laminiranje i aditiva za izradu zamrznutog lisnatog testa,
- II FAZA - optimizacija režima zamrzavanja,
- III FAZA - optimizacija sastava funkcionalnog lisnatog peciva obogaćenog vlaknima šećerne repe i čija semenom i
- IV FAZA - ekonomska analiza optimalnih uzoraka lisnatog peciva.

Šema istraživanja prikazana je na slikama 4.11 (I faza) i 4.12 (od II do IV faze).

Eksperimentalni rad u I fazi istraživanja fokusiran je na praćenje zavisnosti relevantnih fizičkih parametara kvaliteta proizvoda (narastanje, specifična zapremina, čvrstoća, senzorska ocena – metoda bodovanja i QDA metoda) u funkciji dve nezavisno promenljive (količina margarina za lisnata testa i količina aditiva). Eksperiment u I fazi je sproveden po faktorskom planu 3^2 (tabela 4.4).



Slika 4.11 Šema I faze istraživanja



Slika 4.12 Šema II-IV faze istraživanja

Tabela 4.4 Plan eksperimenta za I i II fazu istraživanja

Nezavisno promenljive	Kod	Nivoi			Interval variranja
		-1	0	+1	
I FAZA					
Margarin (%)	x	40	50	60	10
Aditiv (%)	y	0,5	1,0	1,5	0,5
II FAZA					
Temperatura zamrzavanja t_z (°C)	x	-25	-30	-35	5
Temperatura u središtu testanog komada t_t (°C)	y	-10	-15	-20	5

II faza istraživanja sprovedena je po faktorskom planu 3^2 (tabela 4.4), dve nezavisno promenljive temperatura zamrzavanja t_z (-25, -30 i -35°C) i temperatura postignuta u središtu testanog komada t_t (-10, -15 i -20°C). Uticaj pomenutih nezavisno promenljivih na kvalitet lisnatog peciva definisan je određivanjem relevantnih fizičkih (specifična zapremina, čvrstoća, narastanje, skupljanje i eliptičnost) i senzorskih parametara kvaliteta.

III faza istraživanja je sprovedena po Box-Benkenovom eksperimentalnom planu 3^3 , tri nezavisno promenljive na tri nivoa, sa 2 ponavljanja u centralnoj tački (15 eksperimenata). Nezavisne varijable i njihovi nivoi prikazani su u tabeli 4.5. U ovoj fazi ispita se uticaj nezavisno promenljivih na zavisne parametre kvaliteta testa (žilavost i rastegljivost testa), fizičke osobine peciva (zapremina, narastanje, eliptičnost, skupljanje, čvrstoća) i senzorski kvalitet (spoljni izgled, struktura, miris i ukus). Ponavljanje eksperimenta u centralnim tačkama urađeno je u cilju procene eksperimentalne greške. Eksperimenti su vršeni nasumičnim redosledom kako bi se minimalizovali očekivani efekti nezavisnih varijabli koje bi mogle da izazovu pristrasnost prilikom merenja.

Tabela 4.5 Plan eksperimenta za III fazu istraživanja

Nezavisno promenljive	Kod	Nivoi			Interval variranja
		-1	0	+1	
Vlakna šećerne repe VŠR (%)	x	0	5,0	10,0	5
Čija seme ČS (%)	y	0	3,0	6,0	3
Ksantan guma K (%)	z	0	0,25	0,5	0,25

4.8 STATISTIČKA OBRADA PODATAKA, MATEMATIČKO MODELOVANJE I OPTIMIZACIJA

Eksperimentalni podaci dobijeni su kao rezultati reoloških, teksturnih i fizičkih ispitivanja kvaliteta lisnatog testa, kao i fizičkih i teksturnih analiza lisnatog peciva. Prikazani su kao srednja vrednost ponavljanja. Pri ispitivanju najmanje značajnih razlika između dobijenih srednjih vrednosti, primenjena je analiza varijanse i Tjukijev post-hoc test za procenu značajnih razlika ($p < 0,05$).

Eksperimentalni podaci dobijeni pri ispitivanju fundamentalnih karakteristika lisnatog testa, primenom dinamičkog testa i testa puzavosti obrađeni su pripadajućim softverima RheoWin 4.0 (HAAKE RheoWin Software, version 4.00.0002–ThermoScientific, Nemačka) i kompjuterskim programom Origin 6.1 (Scientific Graphing and Data Analysis Software - OriginLab Corporation, SAD). Podaci dobijeni za teksturu proizvoda na teksturometru TA.HDplus (Stable Micro System, U.K.) obrađeni su primenom pripadajućeg programa TE32 (Texture Exponent 32 software version 4.0.11.0–Stable Micro Systems, U.K.).

Regresionom analizom eksperimentalnih vrednosti narastanja peciva u I i II fazi istraživanja matematički je definisan uticaj nezavisno promenljivih (x i y) na zavisno promenljivu (z). Odzivna funkcija z definisana je regresionom jednačinom (matematičkim modelom) sledećeg oblika:

$$z = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_{11} \cdot x^2 + b_{12} \cdot x \cdot y + b_{22} \cdot y^2 \quad (4.13)$$

gde su: b_0 , b_1 , b_2 , b_{11} , b_{12} i b_{22} koeficijenti regresije, x količina margarina za laminiranje (I faza) i t_z (II faza), y količina poboljšivača (I faza) i t_t (II faza), z narastanje.

Koeficijenti regresije b_1 i b_2 pokazuju linearni efekat nezavisnih promenljivih x i y na zavisno promenljivu z , b_{11} i b_{22} kvadratni efekat, dok b_{12} ukazuje na linearnu interakciju nezavisno promenljivih. Na osnovu dobijenih eksperimentalnih - stvarnih (z_e) i teorijskih - očekivanih vrednosti (z_t) izračunati su sledeći statistički parametri:

standardna greška regresije σ (jednačina 4.14)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(z_e - z_t)^2}{n-2}} \quad (4.14)$$

Određivanjem t-vrednosti utvrđena je statistička značajnost svakog parametra u primenjenom matematičkom modelu. Na osnovu udela t-vrednosti regresionog koeficijenta b_0 u sumi t-vrednosti svih koeficijenata utvrđena je procentualna značajnost samog brašna u odnosu na uticaj nezavisno promenljivih na narastanje peciva. Procentualna značajnost regresionih koeficijenata b_1 , b_2 , b_{11} , b_{12} i b_{22} izražena je u odnosu na sume t-vrednosti (100%) pomenutih parametara.

U III delu disertacije umesto pojedinačnih standardnih devijacija prikazana je objedinjena standardna devijacija OSTDEV. S obzirom na isti broj ponovljenih merenja OSTDEV je izračunata po sledećoj formuli:

$$\text{OSTDEV} = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_k^2}{k}} \quad (4.15)$$

gde su: s_1, s_2, \dots, s_k standardne devijacije srednjih vrednosti pojedinačnih uzoraka, k broj uzoraka.

Optimizacija režima zamrzavanja u II fazi istraživanja i optimizacija sirovinskog sastava obogaćenog lisnatog peciva u III fazi sprovedena je matematičkim modelovanjem eksperimentalnih rezultata i određivanjem funkcije poželjnosti (desirability function). Pomenuta metoda prevazilazi ograničene optimizacije i pruža mogućnoost za definisanje jasno prihvatljivih i neprihvatljivih uslova za svaki pojedinačni odziv u procesu optimizacije.

U cilju određivanja optimalne kombinacije nezavisnih promenljivih iz skupa mogućih rešenja u obe faze definisani su odgovarajući kriterijumi za optimizaciju. Zatim je definisana matematička zavisnost zavisno promenljivih u funkciji ispitivanih nezavisno promenljivih i na kraju izračunate vrednosti faktora koje dovode do željenog odgovora (Cajner, 2011).

U trećoj fazi istraživanja definisani su matematički modeli na osnovu kojih je izvršena optimizacija željenih ulaznih parametara. Eksperimentalni podaci su fitovani

polinomom:

$$Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_{ii}^2 + \sum \sum b_{ij} X_i X_{ij} \quad (4.16)$$

gde su: Y odzivna funkcija, X_i procesni parametri, b_0 odsečak, b_i linearni koeficijenti, b_{ii} kvadratni koeficijenti, b_{ij} koeficijenti interakcije.

Statistička obrada eksperimentalnih podataka urađena je u programima Statistica 13.0 (TIBCO Software Inc., CA) i Design-Expert[®] Release 8.1 (Stat-Ease, Inc., New York).

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1 OPTIMIZACIJA SIROVINSKOG SASTAVA LISNATOG TESTA

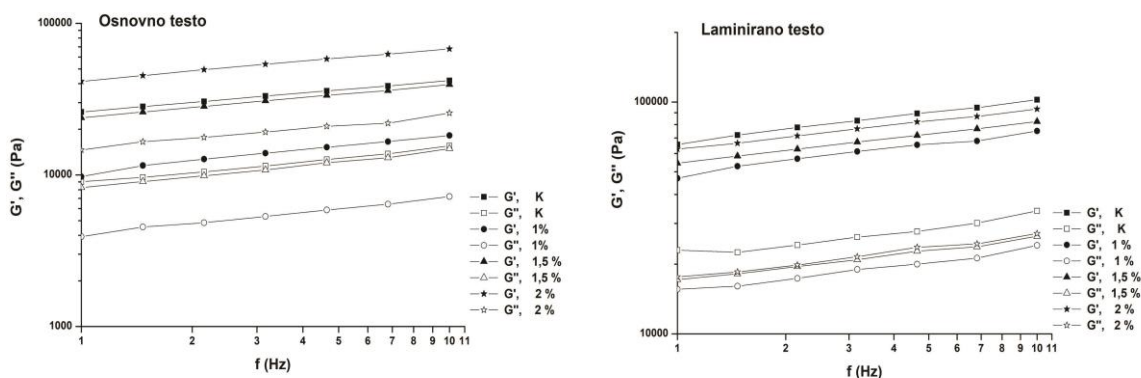
Delimična neusaglašenost naučne javnosti i nedostatak literaturnih podataka o najznačajnijim parametrima kvaliteta namenskog kvaliteta brašna koja bitno utiču na reološka svojstva lisnatog testa nakon biaksijalnog naprezanja, usmerila su prvi deo istraživanja na optimizaciju sirovinskog sastava lisnatog peciva sa dodatkom integralnog pšeničnog brašna u dva pravca.

Najpre je ispitan uticaj 1-2% vitalnog glutena na reološke osobine osnovnog i laminiranog testa sa konstantnom količinom margarina za laminiranje. Budući da je standardne empirijske reološke metode moguće primeniti samo za osnovno testo, a ne i nakon unošenja margarina i formiranja lisnate strukture testa u ovom radu je ispitana opravdanost primene fundamentalnih reoloških metoda (dinamička oscilatorana merenja i test puzanja). Na bazi dobijenih reoloških rezultata utvrđena je optimalna količina vitalnog glutena koju treba dodati mešavini belog i integralnog pšeničnog brašna (70:30) standardnog kvaliteta da bi se postiglo željeno povećanje prilagodljivosti testa deformacijama koje nastaju tokom laminiranja i time postigao bolji kvalitet peciva. Nakon određivanja optimalne količine glutena istraživanja su usmerena na definisanje optimalne količine margarina za laminiranje (40-60%) i količine aditiva za zamrznuta testa (0,5-1,5%).

5.1.1 OPTIMALNA KOLIČINA VITALNOG GLUTENA

Promene viskoelastičnih svojstva testa od mešavine belog i integralnog pšeničnog brašna (70:30) sa dodatkom 1, 1,5, i 2% vitalnog glutena (g na 100 g brašna) utvrđene su određivanjem modula elastičnosti (G'), modula viskoznosti (G'') i reoloških parameta testa puzavosti i oporavka. U cilju sagledavanja povezanosti viskoelastičnih svojstava testa i kvaliteta lisnatog peciva analizirana su fizička (zapremina, narastanje, eliptičnost) i teksturna svojstva (čvrstoća) peciva.

Rezultati dinamičkih oscilatornih merenja prikazani na slici 5.1 ukazuju da su kod svih analiziranih uzoraka posmatrani moduli elastičnosti i viskoznosti u direktnoj zavisnosti od frekvencije, što je u saglasnosti sa istraživanjima Lopes–Da–Silva i sar. (2007) i Singh i Singh (2013) koji ističu da pomenuta zavisnost modula od frekvencije ukazuje na relativno visoku ukupnu pokretljivost polipeptidnih lanca glutena. Nezavisno od količine vitalnog glutena modul elastičnosti je bio veći od modula viskoznosti u opsegu frekvencije ispitivanja, ukazujući da su elastična svojstva uzoraka testa dominantnija od viskoznih.



Slika 5.1 Promene elastičnog G' i viskoznog G'' modula sa povećanjem frekvencije osnovnog i laminiranog testa

Visoke vrednosti koeficijenta determinacije $R^2 > 0,99$ (tabela 5.1) svih uzoraka testa ukazuju na dobru zavisnost modula elastičnosti od frekvencije, odnosno viskoelastičnu umreženu strukturu sistema u posmatranom intervalu frekvencija (Leroy i sar., 2010). U tabeli 5.1 takođe su predstavljene vrednosti nagiba n krive linearne zavisnosti modula elastičnosti od frekvencije, odnosno power law jednačine $G' = G_0 \omega$ (Ortolan i sar., 2017).

Vrednosti nagiba n za uzorke sa dodatkom vitalnog glutena su se u obe grupe testa (osnovno i laminirano) povećale što ukazuje na formiranje složenije, umreženije i jače strukture (Larrosa i sar., 2013; Popper i sar., 2006). Dodatak vitalnog glutena je generalno izazvao statistički značajne promene ($p < 0,05$). elastičnog modula sa promenom frekvencije u odnosu na kontrolne uzorke testa bez vitalnog glutena.

Razlike se uočavaju i kod osnovnog i kod laminiranog testa i između uzoraka sa različitom količinom vitalnog glutena. Na osnovu prikazanih vrednosti G_0' uočljivo je da je nakon laminiranja elastični moduo značajno veći, a vrednosti nagiba n u opadanju. Nagib n je kod sva četiri uzorka osnovnog testa statistički značajno veći nego kod uzoraka laminiranog testa ($p < 0,05$). Pad nagiba krive zavisnosti G' od frekvencije direktna je posledica izraženijih mehaničkih svojstava testa karakterističnih za čvrsta tela (Ahmed i sar., 2013), koja doprinose većoj tvrdoći testa. Generalno, niže vrednosti nagiba ukazuju na viskoelastično ponašanje koje je manje zavisno od primenjene frekvencije i povezano je sa većim stepenom izduženja unutar strukture (Renzetti i sar., 2016), uzrokovano biaksijalnim istezanjem tokom procesa laminiranja (Hay, 1993).

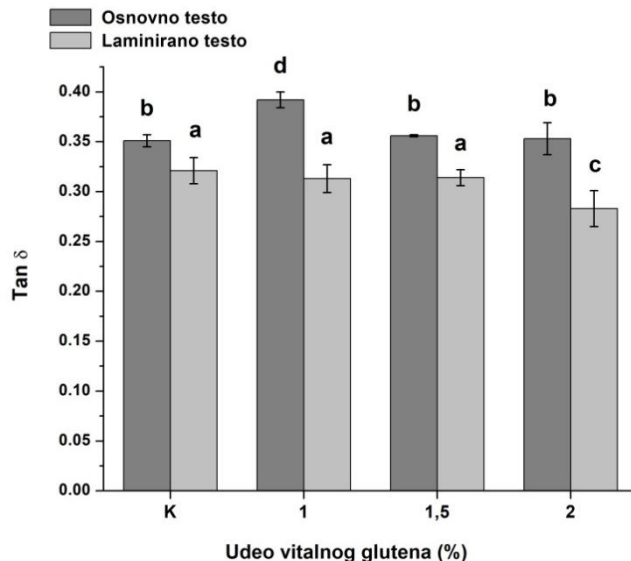
Tabela 5.1 Parametri power law jednačine zavisnosti elastičnog modula G' od frekvencije za osnovno i laminirano testo

Vitalni gluten (%)	G_0' (kPa) \pm SD	$n \pm$ SD	R^2
Osnovno testo			
0	26,07 \pm 0,16 ^c	0,206 \pm 0,001 ^c	0,9999
1	10,28 \pm 0,08 ^a	0,251 \pm 0,002 ^f	0,9988
1,5	23,90 \pm 0,15 ^b	0,217 \pm 0,001 ^d	0,9997
2	41,86 \pm 0,10 ^d	0,212 \pm 0,001 ^d	0,9995
Laminirano testo			
0	66,74 \pm 0,12 ^h	0,168 \pm 0,002 ^a	0,9996
1	48,61 \pm 0,16 ^e	0,187 \pm 0,002 ^d	0,9995
1,5	54,61 \pm 0,18 ^f	0,178 \pm 0,006 ^b	0,9999
2	62,55 \pm 0,09 ^g	0,174 \pm 0,004 ^b	0,9994

G_0' - odsečak prave zavisnosti na x-osi; n – odgovarajući nagib krive zavisnosti; R^2 – koeficijent determinacije. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja \pm SD ($n = 5$); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

S obzirom da visoke vrednosti modula elastičnosti nisu potvrda dobrih elastičnih svojstva uzoraka testa, na slici 5.2 prikazane su vrednosti daleko specifičnijeg i važnijeg viskoelastičnog parametra $\tan \delta$, koji opisuje doprinos viskoznog i elastičnog modula reološkim svojstvima testa. Pomenuti parametar predstavlja odnos viskoznog i elastičnog modula $\tan \delta = G''/ G'$ i ukazuje na ukupan odgovor sistema na dejstvo primenjenih nedestruktivnih sila (Marchetti i sar., 2012; Bravo-Nunez i sar., 2018).

Prema dobijenim rezultatima, evidentno je da dodatak vitalnog glutena dovodi do promena $\tan \delta$ osnovnog testa u poređenju sa uzorcima kontrolnog testa (slika 5.2), što jasno ukazuje da vitalni gluten ima različita svojstva u odnosu na nativni gluten. Razlike viskoelastičnih svojstava nativnog i vitalnog glutena zavise od sorte pšenice (genotipa pšenice), strukture glutena, uslova okoline i godine proizvodnje (Lookhart i sar., 1989; Sivri i sar., 1998; Torbica i sar., 2007), kao i od režima sušenja koji se primenjuje tokom tehnološkog postupka proizvodnje vitalnog glutena (Popper i sar. 2005). Vrednosti $\tan \delta$ za uzorak osnovnog testa sa 1% vitalnog glutena su statistički značajno veće ($p < 0,05$) u odnosu na kontrolni uzorak i uzorke sa 1,5% i 2% vitalnog glutena.



Slika 5.2 Uticaj vitalnog glutena na $\tan \delta$ osnovnog i laminiranog testa

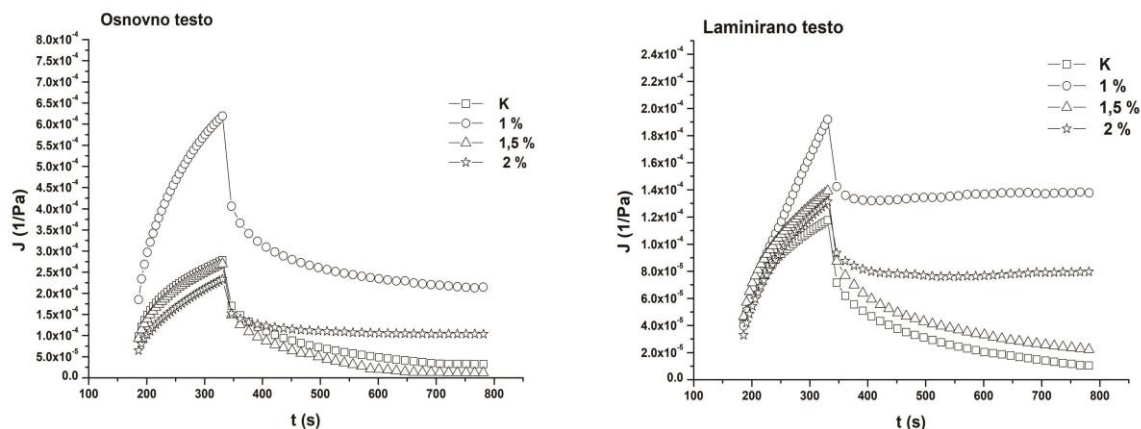
Povećanje $\tan \delta$ direktno je povezano sa već pomenutim smanjenjem dominacije elastične komponente u reloškom sistemu (Sarabhai i sar., 2017). Promene $\tan \delta$ kod uzoraka sa većim dodatkom vitalnog glutena (sa 1,5 i 2%) nisu statistički značajne u poređenju sa kontrolnim osnovnim testom ($p > 0,05$). Nakon postupka laminiranja, $\tan \delta$ je za sve uzorke laminiranog testa bio statistički značajno niži u odnosu na vrednosti $\tan \delta$ uzoraka osnovnog testa ($p < 0,05$). Pomenute promene viskoelastičnog parametra $\tan \delta$ su u skladu sa prethodno uočenim povećanjem vrednosti modula elastičnosti laminiranog testa u odnosu na uzorke

osnovnog testa (slika 5.1). Takođe se i tan δ kontrolnog laminiranog testa (bez vitalnog glutena) nakon formiranja slojevite strukture smanjio za 8,5% u odnosu na osnovno testo.

Dobijeni rezultati su u skladu sa istraživanjima Renzetti i sar. (2016) koji su takođe potvrdili da se tokom istanjivanja testa smanjuje tan δ . Na osnovu literaturnih podataka smanjenje tan δ posledica je naizmeničnog laminiranja i savijanja testa (Ooms i sar., 2017), pri čemu dolazi do izduženja glutenske mreže u pravcu istanjivanja i reorganizacije postojećih veza i mrežnih petlji (Belton, 1999; Ooms i sar., 2017). U novijoj literaturi vezanoj za laminirana testa kao posledica povećanja elastične komponente u odnosu na viskoznu pominje se i specifičan fenomen elastični „recoil“. Pomenuti fenomen uzrokuje povećanje debljine istanjenog testa po izlasku iz zone u kojoj se nalaze valjci laminatora. Promena debljine istanjenog testa u odnosu na zadato rastojanje između valjaka laminatora zavisi od mnogih faktora: načina istanjivanja, ali najviše od sadržaja i kvaliteta glutena (Engmann i sar., 2005; Bousquieres i sar., 2014; Ooms i sar., 2017).

Može se uočiti na slici 5.2 da se promene tan δ za uzorke laminiranog testa sa dodatkom vitalnog glutena (1 i 1,5%) nisu statistički značajno razlikovale od kontrolnog laminiranog testa bez vitalnog glutena ($p > 0,05$). Međutim, statistički značajna promena tan δ uočena je kod uzorka sa 2% vitalnog glutena i u poređenju sa kontrolnim testom i uzorcima testa sa 1 i 1,5% vitalnog glutena. Očigledno je da dodatak ispod 2% vitalnog glutena nema izražen uticaj na tan δ što se može objasniti razlikama u karakteristikama nativnog i vitalnog glutena. Pre svega činjenica je da vitalni gluten ima za 50% manju moć apsorpcije vode u odnosu na nativni gluten (Popper i sar., 2006) što svakako utiče i na razlike u svojstvima testa bez i sa različitom količinom vitalnog glutena. Sa druge strane, s obzirom da je reč o laminiranom testu obogaćenom integralnim brašnom, pretpostavlja se i da je prisustvo prehrambenih vlakana (celuloza, hemiceluloza) izraženih hidratacionih svojstava ometalo kako razvoj glutena u testu (Bock, Damodaran, 2013) tako i hidrataciju dodatog vitalnog glutena. Veruje se da su zbog navedenih razloga izostali značajniji efekti dodatka manje količine vitalnog glutena na viskoelastična svojstva lisnatog testa nakon finalnog laminiranja.

Da bi se pouzdano utvrdila optimalna količina glutena i potvrdila zapažanja tokom dinamičkih oscilatornih merenja ispitan je i uticaj vitalnog glutena na reološka svojstva testa sa dodatkom integralnog pšeničnog brašna primenom testa puzanja i oporavka (*de la Horra i sar., 2018; Mironeasa i Codină, 2019*). Karakteristične krive prikazane su na slici 5.3.



Slika 5.3 Krive puzanja i oporavka za uzorke osnovnog testa i uzorke laminiranog testa sa različitim sadržajem vitalnog glutena

Izgled dobijenih krivih puzanja i oporavka potvrdio je tipično viskoelastično ponašanje analiziranih uzoraka testa. Visok koeficijent determinacije za fazu puzanja ($R^2 > 0,99$) i relativno visok koeficijent za fazu oporavka ($R^2 > 0,81$) ukazao je na dobro uklapanje u Burgerov model (tabele 5.2 i 5.3). Statističkom analizom parametara puzanja i oporavka iz obe grupe uzoraka (osnovnog i laminiranog) izdvojilo se testo sa 1% vitalnog glutena. Pomenuti uzorak je imao najmanji i statistički značajno različit njutnovski viskozitet ($p < 0,05$) i maksimalne vrednosti parametara popustljivosti (početna popustljivost sistema J_0 , viskoelastična naknadna popustljivost J_1 i maksimalna popustljivost J_{max}).

Dobijeni rezultati potvrđuju da je dodatak 1% vitalnog glutena obezbedio malu tvrdoću (*Day i sar., 2005*) i veću sposobnost prilagođavanja testa delovanju napona, što olakšava njegovu obradu i manipulaciju tokom proizvodnog postupka.

Tabela 5.2 Uticaj vitalnog glutena na parametre Burgerovog modela tokom faze puzanja

Vitalni gluten (%)	$J_0 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$J_1 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$\Pi_0 \cdot 10^6$ (Pas)	λ (s)	$J_{max} \cdot 10^{-4}$ (1/Pa)	R^2
Osnovno testo						
0	9,74 ^b	9,18 ^c	1,19 ^a	143,9 ^a	2,78 ^c	0,9969 ^a
1	18,49 ^f	20,44 ^f	0,53 ^e	143,9 ^a	6,19 ^e	0,9987 ^a
1,5	9,32 ^b	8,90 ^c	1,23 ^a	143,9 ^a	2,70 ^c	0,9996 ^a
2	6,46 ^e	7,70 ^e	1,42 ^{ab}	143,9 ^a	2,33 ^{cd}	0,9994 ^a
Laminirano testo						
0	4,12 ^a	3,88 ^a	2,81 ^d	143,9 ^a	1,18 ^a	0,9954 ^a
1	4,67 ^d	6,33 ^d	1,72 ^b	143,9 ^a	1,92 ^b	0,9996 ^a
1,5	3,99 ^a	4,59 ^b	2,38 ^c	143,9 ^a	1,39 ^a	0,9992 ^a
2	3,29 ^c	4,33 ^{ab}	2,52 ^{cd}	143,9 ^a	1,31 ^a	0,9989 ^a

J_0 - početna popustljivost sistema; J_1 - viskoelastična naknadna popustljivost; Π_0 – njutnovski viskozitet; λ – srednja vrednost vremena oporavka sistema; J_{max} - maksimalna popustljivost sistema; R^2 – koeficijent determinacije. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja \pm SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

Upoređujući uzorke osnovnog testa sa uzorcima laminiranog testa (tabele 5.2 i 5.3) primećeno je da su se početna popustljivost J_0 , viskoelastična popustljivost J_1 i maksimalna popustljivost puzanja J_{max} kod svih uzorke testa statistički značajno smanjile nakon procesa laminiranja ($p < 0,05$).

Tabela 5.3 Uticaj vitalnog glutena na parametre Burgerovog modela tokom faze oporavka

Vitalni gluten (%)	$J_0 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$J_1 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$\Pi_0 \cdot 10^6$ (Pas)	λ (s)	$J_{max} \cdot 10^{-4}$ (1/Pa)	R^2
Osnovno testo						
0	1,70 ^a	1,06 ^a	2,43 ^c	339,80 ^a	0,8990 ^b	1,70 ^a
1	4,05 ^c	7,09 ^g	0,36 ^a	339,70 ^a	0,9944 ^a	4,05 ^c
1,5	1,49 ^a	4,12 ^e	6,26 ^e	339,70 ^a	0,8996 ^b	1,49 ^a
2	1,52 ^a	3,41 ^d	0,76 ^{ab}	339,80 ^a	0,9813 ^a	1,52 ^a
Laminirano testo						
0	0,71 ^b	0,34 ^b	7,53 ^f	339,70 ^a	0,9236 ^b	0,71 ^b
1	1,42 ^a	4,54 ^f	0,57 ^a	339,80 ^a	0,8119 ^c	1,42 ^a
1,5	0,87 ^b	0,74 ^a	3,50 ^d	339,80 ^a	0,9981 ^a	0,87 ^b
2	0,93 ^b	2,63 ^c	0,98 ^b	339,70 ^a	0,9983 ^a	0,93 ^b

J_0 - početna popustljivost sistema; J_1 - viskoelastična naknadna popustljivost; Π_0 – njutnovski viskozitet; λ – srednja vrednost vremena oporavka sistema; J_{max} - maksimalna popustljivost sistema; R^2 – koeficijent determinacije. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja \pm SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

Smanjivanje vrednosti popustljivosti lisnatog testa nakon laminiranja može biti rezultat orijentacije strukturnih elemenata testa u pravcu istanjivanja, njihovog povezivanja koje doprinosi jačanju glutena, poznatom u literaturi kao deformaciono ojačanje testa (*Sliwinski i sar., 2004a*). Deformaciono ojačanje testa (strain hardening) je uslovljeno kvalitetom glutena, naročito strukturom (*Sliwinski i sar., 2004a; van Vilet, 2008*).

Tokom faze puzanja maksimalna popustljivost uzoraka laminiranog testa smanjena od 44 do 69% u odnosu na osnovno testo, pri čemu je utvrđen inverzni tip zavisnosti promene pomenutog parametra sa povećanjem količine vitalnog glutena. Njutnovski viskozitet je bio statistički značajno veći ($p < 0,05$) za uzorke laminiranog testa, što ukazuje da je specifična obrada ojačala strukturu testa. Pomenuti rezultati su u skladu sa istraživanjima Ooms i sar. (2017), koji su utvrdili da se snaga testa povećava nakon laminiranja. Kod ispitivanih uzoraka nije došlo do promene parametra srednja vrednost vremena oporavka sistema (λ), koji uglavnom ukazuje na vreme potrebno da naprezanje uzorka opadne na početnu vrednost (*Meng i sar., 2019*).

Iako je postupak laminiranja smanjio popustljivost svih uzoraka testa, na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 5.3 može se uočiti da je uzorak sa 1% vitalnog glutena imao najveću vrednost popustljivosti (parametri J_0 i J_1) i najmanji njutnovski viskozitet nakon finalnog laminiranja. Vrednosti pomenutih parametara su kod pomenutog uzorka laminiranog testa statistički značajno različite ($p < 0,05$) u odnosu na vrednosti kontrolnog uzorka i uzorka sa 1,5 i 2% vitalnog glutena. Dobijeni rezultati ukazuju da dodatak 1% vitalnog glutena i nakon postupka laminiranja obezbeđuje dobru rastegljivost i elastičnost testa na primenjeni napon, što je posebno važno za proizvode sa dodatkom integralnog brašna (*Day i sar., 2005*). Odgovarajuća elastičnost i deformaciona prilagodljivost testa može umanjiti negativne efekte prehrambenih vlakana na zapreminu pekarskih proizvoda (*Tebben i sar., 2018*).

S obzirom je statističkom analizom utvrđeno odsustvo statistički značajnih razlika ($p > 0,05$) između vrednosti J_{max} za uzorke laminiranog testa sa 1,5 i 2% vitalnog glutena u odnosu na kontrolno laminirano testo jasno je da je dodatak više od 1% vitalnog glutena tehnološki i ekonomski neopravdan. Na bazi dobijenih rezultata evidentno je primena testa puzanja i oporavka doprinosi potpunijem sagledavanju

uticaja vitalnog glutena na reološke performanse laminiranog testa sa integralnim brašnom.

Da bi se utvrdila pouzdanost reoloških merenja analizirani su najvažniji parametri kvaliteta lisnatog peciva. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.4 može se uočiti da je dodatkom 1% vitalnog glutena postignuta maksimalna zapremina lisnatog peciva, veća za 20% od kontrolnog uzorka bez vitalnog glutena i 25% u odnosu uzorke sa većim sadržajem vitalnog glutena. Zapremina lisnatog peciva sa 1,5 % vitalnog glutena nije se statistički značajno razlikovala od kontrolnog uzorka, dok je uzorak sa 2% vitalnog glutena imao značajno manju zapreminu i od kontrolnog i od uzorka sa 1% vitalnog glutena.

Tabela 5.4 Uticaj vitalnog glutena na parametre kvaliteta lisnatog peciva

Vitalni gluten (%)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Eliptičnost	Čvrstoća (kgs)
0	55,58 ± 1,87 ^b	3,85 ± 0,16 ^c	1,18 ± 0,10 ^a	22,83 ± 0,20 ^b
1	70,51 ± 1,19 ^c	4,65 ± 0,14 ^d	1,10 ± 0,04 ^a	15,97 ± 0,75 ^a
1,5	53,94 ± 0,67 ^b	2,67 ± 0,19 ^a	1,16 ± 0,03 ^a	24,29 ± 0,59 ^c
2	51,30 ± 1,17 ^a	3,18 ± 0,14 ^b	1,12 ± 0,07 ^a	24,20 ± 0,36 ^c

Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne (p < 0,05).

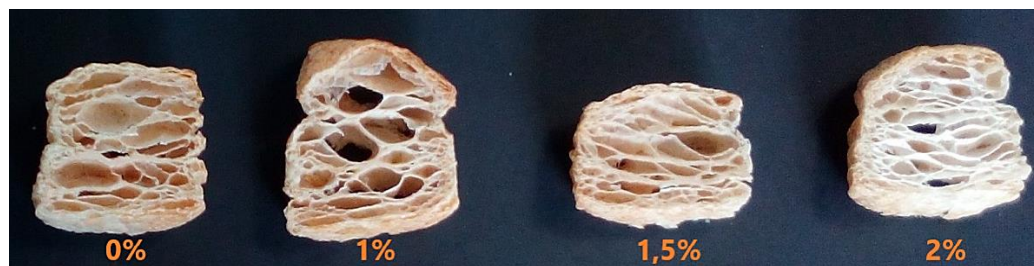
Vrednosti narastanja bile su u intervalu od 2,67 do 4,65. Takođe je maksimalno narastanje postignuto kod uzorka sa 1% vitalnog glutena. Iako McGill (1981) i Cauvain, Young (2001) navode da se tokom pečenja može postići narastanje između 6 i 8, odnosno povećati početna visina lisnatog testa osam puta, postignuto narastanje je u skladu sa istraživanjima Šoronja Simović i sar. (2009) gde su vrednosti narastanja lisnatog peciva vrlo dobrog senzorskog kvaliteta bile u rasponu od 4,0 do 4,7. Pretpostavlja se da je bolja prilagodljivost testa na dejstvo napona kod pomenutog uzorka rezultirala većom stabilnošću formiranih naizmeničnih slojeva testa i margarina i time omogućila maksimalno zadržavanje vodene pare u slojevima margarina. Usled povećanja pritiska vodene pare došlo je do podizanja slojeva testa i većeg narastanja (McGill, 1981). Značajno niže narastanje u odnosu na kontrolni uzorak i uzorak sa 1% vitalnog glutena imali su uzorci lisnatog testa sa većom količinom vitalnog glutena. Generalno, između uzoraka potvrđene su statistički

značajne razlike u narastanju lisnatog peciva ($p < 0,05$).

Vrednosti eliptičnosti bile su minimalne, pa nisu registrovane statistički značajne razlike ($p > 0,05$) između uzoraka peciva. Dobijeni rezultati ukazuju da različite količine dodatog vitalnog glutena nemaju značajniji uticaj na deformacije oblika tokom pečenja (tabela 5.4).

Uzorci lisnatog peciva prikazani na slici 5.4. potvrđuju da je za adekvatno narastanje, postizanje velike zapremine i izrazito slojevite strukture peciva opravdano dodati 1% vitalnog glutena u sirovinski sastav lisnatog testa. Dodatak 1,5 ili 2% vitalnog glutena neće uticati na poboljšanje strukture lisnatog peciva, naprotiv smanjiće narastanje i ravnomernost slojeva.

Minimalna čvrstoća lisnatog peciva registrovana je kod uzorka sa 1% vitalnog glutena, i to niža za 30% u poređenju sa kontrolnim uzorkom i za 35% u poređenju sa uzorcima sa 1,5 i 2% vitalnog glutena. Dobijena čvrstoća za uzorak sa 1% vitalnog glutena odgovara nivou vrednosti koje su karakteristične za lisnato pecivo vrlo dobrog senzorskog kvaliteta (Šoronja Simović i sar., 2009).



Slika 5.4 Uticaj količine vitalnog glutena na kvalitet lisnatog peciva

Dodatak veće količine vitalnog glutena prouzrokovao je statistički značajan ($p < 0,05$) porast čvrstoće. Navedeni rezultati su u skladu sa rezultatima reoloških merenja, koji su potvrdili da se i osnovno i laminirano testo sa dodatkom 1% vitalnog glutena bolje prilagođava naprezanju, što je doprinelo formiranju pravilno slojevite strukture tokom uzastopnog istanjivanja. Pravilna struktura rezultirala je boljim narastanjem tokom pečenja, stvaranjem tanjih slojeva i pahuljaste strukture, što je na kraju doprinelo manjoj čvrstoći peciva.

5.1.2 OPTIMALNA KOLIČINA MARGARINA ZA LAMINIRANJE I ADITIVA

Optimizacija sirovinskog sastava lisnatog testa, odnosno količine margarina za laminiranje i aditiva (poboljšivača), izvedena je na osnovu rezultata ispitivanja uticaja pomenutih nezavisno promenljivih na fizičke osobine laminiranog testa (žilavost i rastegljivost), fizičke (zapremina, čvrstoća, narastanje, skupljanje i eliptičnost) i senzorske parametre (spoljni izgled, struktura sredine, miris i ukus) kvaliteta lisnatog peciva.

Reološke osobine lisnatog testa se bitno razlikuju u odnosu na hlebno testo, zbog unošenja veće količine namenske masti i specifične obrade testa koja obuhvata primenu naizmeničnih postupaka istanjivanja i savijanja testa. Usled toga testo je tokom obrade izloženo i uniaksijalnom i biaksijalnom naprezanju i velikim deformacijama (*Van Vilet i sar., 1992; Hay, 1993*). U tabeli 5.5 prikazani su rezultati određivanja fizičkih osobina laminiranog testa pri biaksijanom istezanju na osnovu kojih se prema istraživanju Šoronja Simović (2009) pouzdano može predvideti kvalitet lisnatog peciva.

Tabela 5.5 Žilavost i rastegljivost lisnatog testa

Uzorak	Margarin (%)	Aditiv (%)	Žilavost testa (g)	Rastegljivost testa (mm)
I-1	40	0,5	191,02 ± 20,05 ^{ab}	17,73 ± 2,79 ^a
I-2	40	1,0	245,71 ± 9,73 ^{abc}	17,81 ± 1,40 ^a
I-3	40	1,5	221,56 ± 20,43 ^{ab}	21,97 ± 2,51 ^{ab}
I-4	50	0,5	254,24 ± 60,65 ^{abc}	20,33 ± 1,69 ^a
I-5	50	1,0	187,30 ± 43,13 ^a	17,83 ± 6,86 ^a
I-6	50	1,5	183,68 ± 29,96 ^a	22,11 ± 6,74 ^{ab}
I-7	60	0,5	207,54 ± 42,98 ^{ab}	17,51 ± 3,13 ^a
I-8	60	1,0	269,74 ± 16,38 ^b	21,61 ± 3,61 ^a
I-9	60	1,5	321,14 ± 41,18 ^c	27,94 ± 2,82 ^b

Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne (p < 0,05).

Uočava se da kod uzoraka sa 40 i 60% margarina za laminiranje sa povećanjem količine aditiva sa 0,5 na 1,5% dolazi do povećanja žilavosti testa. Iako pri minimalnoj količini margarina za laminiranje u sastavu lisnatog testa povećanje

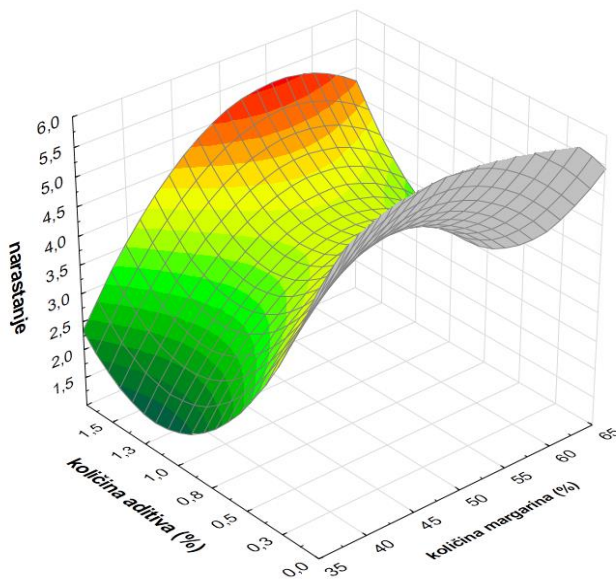
količine aditiva uzrokuje povećanje žilavosti za 15-28%, između uzoraka nisu potvrđene statistički značajne razlike ($p > 0,05$). Kod uzoraka sa 60% margarina i maksimalnom količinom aditiva žilavost testa je povećana za 55%, što predstavlja i statistički značajnu promenu u odnosu na uzorke sa 0,5 i 1% poboljšivača ($p < 0,05$). Međutim, kod uzoraka sa 50% margarina za laminiranje primetan je suprotan trend promene žilavosti, jer je minimalna vrednost od 183,68 g postignuta kod uzorka I-6 sa maksimalnom količinom aditiva. Generalno su sve vrednosti žilavosti testa manje u odnosu na rezultate ispitivanja uticaja količine margarina za laminiranje različitog masnokiselinskog sastava i vremena odmaranja na pomenuti fizički parametar kvaliteta (*Šoronja Simović, 2009*). Žilavost lisnatog testa sa 55% margarina za laminiranje u pomenutom istraživanju je bila u granicama od 252,3 do 307,1 g.

Kod većine uzoraka sa povećanjem količine aditiva došlo je do povećanja rastegljivosti testa, pri čemu su maksimalne vrednosti dobijene kod uzorka sa 60% margarina za laminiranje i sa 1 i 1,5% aditiva. Sa druge strane najmanju rastegljivost imali su uzorci testa sa najmanjom količinom margarina za laminiranje. Pri konstantnoj količini margarina sa povećanjem količine aditiva povećavala se i rastegljivost testa, pri čemu su vrednosti kod uzoraka sa 1,5% aditiva bile statistički značajno različite ($p < 0,05$) u odnosu na rastegljivost uzoraka sa 0,5 i 1% aditiva. Između uzoraka I-3, I-6 i I-9 nije bilo statistički značajnih razlika ($p > 0,05$), što potvrđuje da količina margarin za laminiranje nema uticaj na rastegljivost testa pri biaksijalnom istanjivanju. Dobijene vrednosti za rastegljivost su značajno ispod vrednosti koje se navode u istraživanju *Šoronja Simović (2009)*, što se može dovesti u vezu sa nešto nižim sadržajem čvrstih triglicerida u temperaturnom intervalu od 15 do 35°C. Čak i maksimalna rastegljivost od 27,94 mm kod uzorka sa 60% margarina za laminiranje i 1,5% aditiva je niža od vrednosti rastegljivosti koje su u pomenutom istraživanju bile u intervalu od 29,3 do 49,7 mm.

Rezultati određivanja narastanja peciva (prilog P4), specifičnog parametra kvaliteta lisnatog peciva, kod svih uzoraka je ispod teorijskih vrednosti koje ukazuju da se početna visina testanih komada tokom pečenja može povećati od 6 do 8 puta (*Cauvain, Young 2001*). Vrednosti narastanja su u intervalu od 2,75 do 5,12, pri čemu je kod pet uzoraka pomenuti parametar ispod 3,5, a samo kod tri uzorka I-4, I-6 i I-9 i

iznad 4,5. Povećanje količine margarina je imalo najveći uticaj na promenu narastanja kod uzoraka sa minimalnom količinom aditiva jer su dobijene vrednosti kod uzoraka I-1, I-4 i I-7 statistički značajno različite (prilog P4). Kod uzoraka sa 1% aditiva povećanje količine margarina sa 40 na 50% nije dovelo do statistički značajnih promena narastanja, dok je kod grupe uzoraka sa maksimalnom količinom aditiva uzorak sa 40% margarina imao najmanju, ali i statistički značajno različitu vrednost narastanja ($p < 0,05$).

Zavisnost narastanja kao izlazne zavisno promenljive od količine margarina i aditiva kao nezavisno promenljivih prikazana je grafički odzivnom površinom (slika 5.5). Sa grafika se jasno vidi da je uticaj količine margarina na narastanje peciva mnogo veći u odnosu na količinu aditiva. Pri minimalnoj količini margarina promena količine aditiva nema značajniji efekat i sve vrednosti izlaznog parametra su ispod 3, što je značajno ispod poželjnog narastanja. Kaizer, Dyer (1995) navode da se pravilnom obradom lisnatog testa može postići povećanje visine tokom pečenja čak 7-8 puta, ali da sadržaj masti pri tome ne može biti ispod 50%.



Slika 5.5 Uticaj količine margarina i aditiva na narastanje lisnatog peciva

Pri većem udelu margarina u sastavu testa dolazi do značajnog povećanja i narastanja što je u skladu sa tvrdnjama Telloke (1991). Wickramarachchi i sar. (2015)

pretpostavljaju da je pri većem udelu masti za lisnato testo veće narastanje rezultat formiranja debljih slojeva masti koji obezbeđuju minimalno slepljivanje slojeva testa tokom laminiranja. Takođe, deblji slojevi masti predstavljaju i veću barijeru za vodenu paru u ranoj fazi pečenja, a usled pritiska vodene pare koji se povećava u svakom sloju testa dolazi do većeg narastanja peciva. Sa grafika se takođe može uočiti da se pri udelu margarina iznad 50% može postići narastanje oko 5, ali pri dodatku 0,5 ili 1,5% aditiva. Dodatak aditiva od 1% je, nezavisno od količine margarina, imao u manjoj ili većoj meri negativan uticaj na narastanje peciva.

S obzirom da je narastanje odličan pokazatelj dobro sprovedene obrade testa, odnosno pravilnog formiranja naizmeničnih slojeva testo/margarin utvrđena je funkcionalna zavisnost ovog parametra od količine margarina i količine aditiva primenom kvadratne regresione jednačine (4.13). Dobijeni koeficijenti i njihova značajnost prikazani su u tabeli 5.6.

Na osnovu dobijenih rezultata potvrđeno je da na narastanje mnogo veći uticaj imaju količina margarina i količina aditiva (89,3%) u odnosu na samo brašno (10,7%). Što se tiče pojedinih članova regresione jednačine evidentno je

Tabela 5.6 Uticaj parametara regresione jednačine na narastanje lisnatog peciva

Parametri modela	Regresioni koeficijenti	Uticaj parametara (%)
uticaj brašna (b_0)	-9,93	10,7
uticaj margarina i aditiva		89,3
<i>linearni</i>		
margarin (b_1)	0,68	20,9
aditiv (b_2)	-8,47	24,7
<i>kvadratni</i>		
margarin (b_{11})	-0,01	21,2
aditiv (b_{22})	0,05	10,6
<i>interakcioni</i>		
margarin i aditiv (b_{12})	2,91	22,7

da je linearni uticaj obe nezavisno promenljive, zatim kvadratni uticaj količine margarina, kao i interakcija margarina i aditiva iznad 20%. Kvadratni uticaj aditiva na narastanje peciva je najmanji i na nivou uticaja samog brašna. Vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) potvrđuju da je 71,8% varijacija narastanja određeno nezavisno promenljivim, da je veza između promenljivih čvrsta a regresija reprezentativna. Niske vrednosti standardne greške regresije (0,450) ukazuju na dobro slaganje

eksperimentalnih i očekivanih vrednosti.

Rezultati određivanja fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta peciva u zavisnosti od količine margarina za laminiranje i aditiva prikazani su u tabeli 5.7. Kod uzoraka sa 40% margarina za laminiranje sa povećanjem količine aditiva sa 0,5 na 1% nije došlo do statistički značajnih promena u vrednostima specifične zapremine lisnatog peciva. Dodatak maksimalne količine aditiva, međutim, doveo je do smanjenja specifične zapremine za 35%, koje je i statistički značajno ($p < 0,05$). Isti trend promene specifične zapremine sa povećanjem količine aditiva prisutan je i kod uzoraka sa 50 i 60% margarina za laminiranje. Maksimalnu specifičnu zapreminu imao je uzorak I-4 sa 50% margarina za laminiranje i 0,5% aditiva kod koga je i narastanje bilo maksimalno (5,12).

Kada je u pitanju čvrstoća peciva rezultati prezentovani u tabeli 5.7 ukazuju da su vrednosti u širokom intervalu od 17,41 do 35,83 kgs, pri čemu nešto veću čvrstoću imaju uzorci sa maksimalnom količinom margarina za laminiranje.

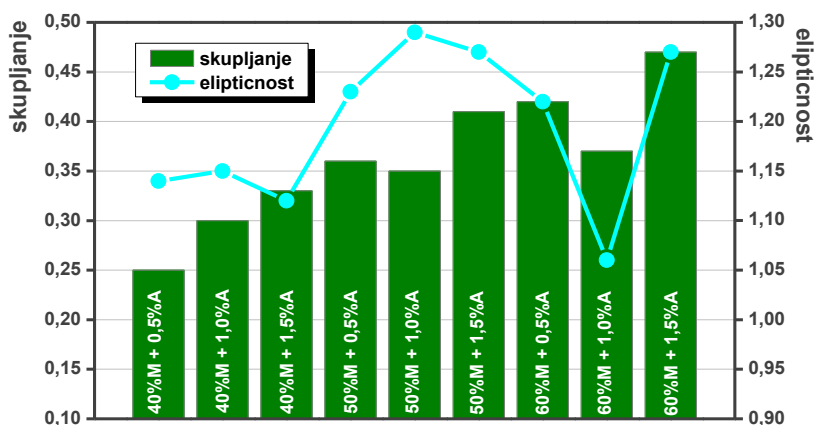
Tabela 5.7 Uticaj količine margarina i aditiva na parametre kvaliteta lisnatog peciva

Uzorak	Specifična zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)
I-1	2,61 ± 0,44 ^{bc}	19,44 ± 2,48 ^{ab}	15,1 – dobar
I-2	2,63 ± 0,20 ^{bc}	24,12 ± 3,02 ^{cd}	16,7 – vrlo dobar
I-3	1,66 ± 0,14 ^a	17,41 ± 2,16 ^a	11,4 – prihvatljiv
I-4	3,11 ± 0,20 ^c	22,11 ± 2,30 ^{bc}	17,3 – vrlo dobar
I-5	2,26 ± 0,28 ^b	19,29 ± 1,43 ^{ab}	14,8 – dobar
I-6	2,63 ± 0,15 ^{bc}	26,84 ± 2,79 ^{de}	17,3 – vrlo dobar
I-7	2,51 ± 0,08 ^b	19,71 ± 2,87 ^{ab}	17,5 – vrlo dobar
I-8	2,47 ± 0,23 ^b	29,26 ± 3,02 ^e	13,6 – dobar
I-9	2,40 ± 0,24 ^b	35,83 ± 3,04 ^f	18,0 – odličan

Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$). PB – ponderisani bodovi (min 5, max 20).

Uprkos velikim razlikama u izmerenim vrednostima čvrstoće dobijeni rezultati svakako značajnije ne odstupaju od intervala vrednosti koji je dobijen u istraživanjima Šoronja Simović (2009). Unutar grupa uzoraka sa ekvivalentnom količinom margarina za laminiranje ne postoji jedinstven trend promene. Takođe je evidentno i da su pomenuti uzorci statistički značajno različiti ($p < 0,05$), kao i da su u celini prisutne veće razlike u dobijenim vrednostima čvrstoće.

Uticaj nezavisno promenljivih na specifične parametre kvaliteta, skupljanje i eliptičnost, koji ukazuju na deformacije peciva tokom pečenja prikazan je u prilogu P4 i na slici 5.6. Vrednosti skupljanja su u intervalu od 0,25 do 0,47, a eliptičnosti od 1,06 do 1,29. Sa dijagrama na slici 5.6 može se uočiti da je pri maksimalnoj količini aditiva, nezavisno od količine margarina za laminiranje, skupljanje tokom pečenja maksimalno. Takođe je primetno da povećanje količine margarina za laminiranje ima negativan uticaj na vrednosti skupljanja kod uzoraka sa 0,5% aditiva. Sličan trend promene pomenutog parametra sa povećanjem količine margarina za laminiranje prisutan je i kod uzoraka sa 1,0% i sa 1,5%. Najveće vrednosti skupljanja dobijene su kod uzoraka sa maksimalnom količinom margarina za laminiranje od 0,37 do 0,47. Tako je evidentno da je povećanje skupljanja sa povećanjem količine margarina za laminiranje više izraženo kod uzorka sa 0,5 i 1,5% aditiva.

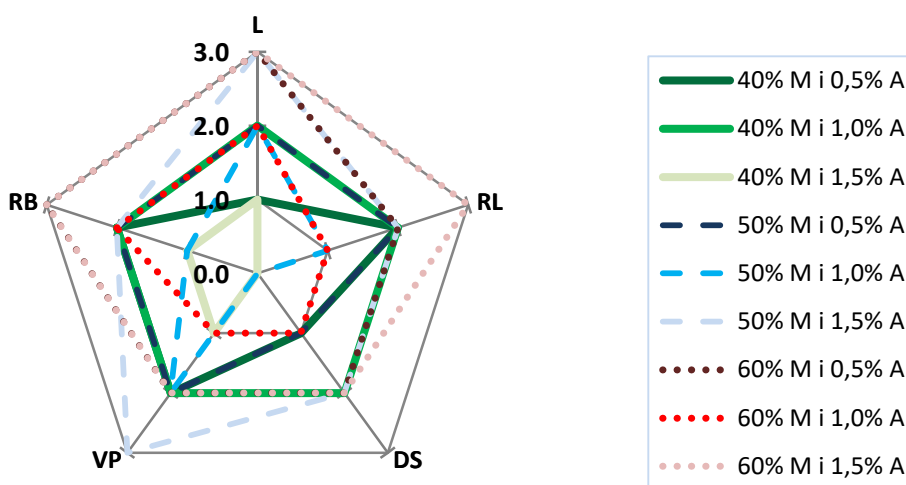


Slika 5.6 Skupljanje i eliptičnost peciva u funkciji količine margarina i aditiva

Deformacije oblika izražene preko parametra eliptičnost su intenzivnije sa povećanjem količine margarina za laminiranje. Uticaj količine aditiva je slabije izražen kod uzoraka sa 40% margarina za laminiranje i vrednosti eliptičnosti su u uskom intervalu vrednosti od 1,12 do 1,15. Statističkom analizom je potvrđeno da između prva tri uzorka nema statistički značajnih razlika u dobijenim vrednostima ($p < 0,05$). Najveće promene u obliku peciva nastale su kod uzoraka sa 50% margarina za laminiranje, a trend promene eliptičnosti sa povećanjem količine aditiva je isti kao kod uzoraka sa 40% margarina za laminiranje. Kod uzoraka sa maksimalnom količinom

margarina za laminiranje prisutno je odstupanje od uočenog trenda jer su promene okruglog oblika kod uzorka sa 1% aditiva svega 6%. Eliptičnost od 1,06 za pomenuti uzorak peciva (I-8) predstavlja i minimalnu vrednost u okviru dobijenih rezultata za ovaj parametar kvaliteta.

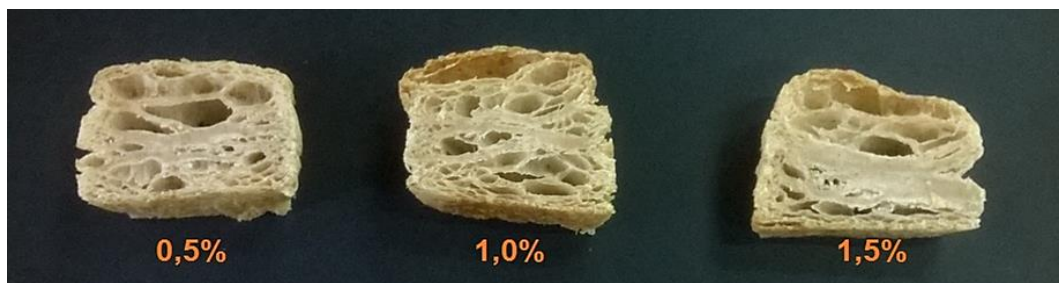
Rezultati senzorske ocene kvaliteta peciva metodom bodovanja (tabela 5.7) i kvaliteta sredine QDA metodom (slika 5.7) su u saglasnosti sa rezultatima određivanja fizičkih parametara kvaliteta. Najveći broj uzoraka je bio vrlo dobrog, dva uzoraka su bila dobrog i po jedan uzorak prihvatljivog i odličnog senzorskog kvaliteta.



L – listanje, RL – ravnornost listanja, DS – debljina slojeva, VP – veličina pora, RB – ravnornost boje, M – margarin, A - aditiv

Slika 5.7 Uticaj količine margarina za laminiranje i aditiva na kvalitet sredine peciva

Najlošiji kvalitet lisnatog peciva postignut je kod uzorka sa 40% margarina za laminiranje (slika 5.8). Ukupan broj ponderisanih bodova u pomenutoj grupi uzoraka bio je od 11,4 (uzorak I-3) do 16,7 (uzorak I-2). Spoljni izgled uzorka peciva I-3 je bio vrlo dobar (nezatno promenjena boja i oblik), ali je njegova struktura bila nepravilna zbijena sa prisutnim izrazito debelim slojevima (slika 5.8), što je u celini najviše uticalo na ukupan broj bodova. Miris pomenutog uzorka je bio svojstven, ali manje izražen dok je ukus peciva bio testast a topivost loša. Pomenute senzorske osobine rezultat su nedovoljnog narastanja (2,75) i male specifične zapremine (1,66 cm³/g).



Slika 5.8 Uticaj količine aditiva na kvalitet peciva sa 40% margarina (s leva na desno uzorci I-1, I-2 i I-3)

Najbolji senzorski kvalitet imao uzorak I-9 sa 60% margarina za laminiranje i 1,5% aditiva. Struktura i ukus pomenutog uzorka lisnatog peciva bili su značajno bolji u odnosu na druge uzorke. Struktura je bila pravilno slojevita, ravno razlistana sa izrazito tankim slojevima i prisutnim krupnim porama, ukus je bio svojstven, zaokružen i aromatičan, a topivost odlična. Takođe su i ovi rezultati usaglašeni sa dobijenim vrednostima specifične zapremine i narastanja, međutim, do neočekivanog odstupanja došlo je kod topivosti koja je neusaglašena sa rezultatima određivanja čvrstoće na teksturometru (tabela 5.7). Uzorak I-7 je takođe imao vrlo dobar senzorski kvalitet, a naročito strukturu koja je bila na nivou strukture uzorka I-9. Ukupan broj bodova pomenutog uzorka je bio neznatno manji u odnosu na uzorak I-9, međutim, njegova specifična zapremina je bila veća, a čvrstoća značajno manja. Takođe su i promene u obliku peciva bile manje u odnosu na uzorak I-9 što je s obzirom na manju količinu aditiva u sirovinskom sastavu, imalo uticaj na konačnu odluku da se ovaj uzorak prihvatiti kao optimalni.

5.2 OPTIMIZACIJA REŽIMA ZAMRZAVANJA

Optimizacija procesa zamrzavanja, u zavisnosti od primenjenog režima zamrzavanja (temperatura zamrzavanja t_z i temperatura postignuta u središtu testanog komada t_t), izvršena je ispitivanjem fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta lisnatog peciva od zamrznutog testa skladištenog na -18°C jedan, sedam i trideset dana. U skladu sa planom eksperimenta u II fazi (tabela 4.4) definisan je uticaj nezavisno promenljivih na sledeće izlazne parametre: specifična zapremina, čvrstoća, narastanje, skupljanje, eliptičnost, kategorija senzorskog kvaliteta (ponderisani

bodovi) i QDA ocena.

Tokom zamrzavanja testanih komada praćena je dinamika promene temperature od početka zamrzavanja do postizanja željene temperature u središtu testa. U zavisnosti od primenjenog režima vreme zamrzavanja je bio u intervalu od 18 do 41 minut (tabela 5.8).

Tabela 5.8 Potrebno vreme zamrzavanja za postizanje planiranih temperatura u središtu testanog komada

Uzorak	t_z (°C)	t_t (°C)	Vreme zamrzavanja (min)
II-1	-25	-10	29
II-2	-25	-15	34
II-3	-25	-20	41
II-4	-30	-10	23
II-5	-30	-15	34
II-6	-30	-20	40
II-7	-35	-10	18
II-8	-35	-15	27
II-9	-35	-20	29

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada.

Snižavanjem temperature zamrzavanja (tabela 5.8), potrebno vreme za postizanje određene temperature u središtu testanog komada se kod najvećeg broja uzoraka skraćuje, što je u skladu sa rezultatima istraživanja do kojih su došli Ban i sar. (2016). Međutim, kod uzoraka II-2 i II-5 koji su zamrzavani na -25 odnosno -30°C potrebno vreme za postizanje temperature -15°C u središtu testanog komada bilo je identično (34 minuta). Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 5.8 uticaj temperature u središtu testanih komada na vreme zamrzavanja je najizraženiji kod uzoraka koji su zamrzavani na -30°C, dok su kod uzoraka zamrzavanih na -25 i -35°C promene manje izražene.

5.2.1 UTICAJ REŽIMA ZAMRZAVANJA I VREMENA SKLADIŠTENJA NA FIZIČKE OSOBINE PECIVA

U tabelama 5.9 i 5.10, kao i na slikama 5.9-5.12 prikazani su rezultati određivanja uticaja režima zamrzavanja i vremena skladištenja na fizičke parametre

kvaliteta peciva. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.9 uočava se da trend promene specifične zapremine u funkciji nezavisno promenljivih nije jedinstven. Interesantno je da najmanja vrednost specifične zapremine nije dobijena kod identičnih uzoraka nakon jedan, sedam i trideset dana skladištenja. Nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa minimalna specifična zapremina postignuta je kod uzorka II-1 ($2,37 \text{ cm}^3/\text{g}$), nakon sedam dana kod II-9 ($2,93 \text{ cm}^3/\text{g}$), a pri najdužem skladištenju kod uzorka II-8 ($3,69 \text{ cm}^3/\text{g}$). Maksimalna specifična zapremina peciva dobijena je kod uzorka II-5 nakon jedan dan skladištenja, dok je u grupi uzoraka skladištenih sedam i trideset dana to bio uzorak II-3 sa postignutom temperaturom u središtu testanog komada -20°C , što je u skladu sa istraživanjima do kojih su stigli Ban i sar. (2016).

Tabela 5.9 Uticaj režima zamrzavanja i vremena skladištenja na specifičnu zapreminu lisnatog peciva

Uzorak	t_z ($^\circ\text{C}$)	t_t ($^\circ\text{C}$)	Specifična zapremina (cm^3/g)		
			1 dan	7 dana	30 dana
II-1	-25	-10	$2,37 \pm 0,27^a$	$3,27 \pm 0,42^a$	$3,92 \pm 0,35^a$
II-2	-25	-15	$3,33 \pm 0,25^{bc}$	$3,56 \pm 0,36^{ab}$	$4,28 \pm 0,24^a$
II-3	-25	-20	$4,27 \pm 0,38^d$	$4,38 \pm 0,57^b$	$4,61 \pm 0,31^a$
II-4	-30	-10	$3,86 \pm 0,33^{cd}$	$3,48 \pm 0,61^{ab}$	$4,04 \pm 0,48^a$
II-5	-30	-15	$4,54 \pm 0,65^d$	$3,39 \pm 0,61^{ab}$	$4,33 \pm 0,21^a$
II-6	-30	-20	$4,35 \pm 0,26^d$	$3,72 \pm 0,35^{ab}$	$4,20 \pm 0,49^a$
II-7	-35	-10	$3,79 \pm 0,42^{bc}$	$3,04 \pm 0,25^a$	$4,00 \pm 0,54^a$
II-8	-35	-15	$3,92 \pm 0,25^{bc}$	$3,95 \pm 0,60^{ab}$	$3,69 \pm 0,30^a$
II-9	-35	-20	$2,86 \pm 0,36^{ab}$	$2,93 \pm 0,25^a$	$3,91 \pm 0,51^a$

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja \pm SD ($n = 5$); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

Kod uzoraka zamrznutih na temperaturi -25°C specifična zapremina se povećavala snižavanjem temperature u središtu testanog komada, dok kod uzoraka zamrznutih na -30 i -35°C nije uočena određena pravilnost u trendu promene vrednosti pomenutog parametra. Interesantno je da je nezavisno od vremena skladištenja, kod uzoraka koji su zamrzavani na -25 i -30°C , temperatura u središtu -10°C imala negativan efekat na specifičnu zapreminu, a u grupi uzoraka kod kojih je

primenjena najniža temperatura zamrzavanja temperatura -20°C .

Među dobijenim vrednostima specifične zapremine uzoraka zamrznutih na -30 ili -35°C postignuta temperatura u središtu testanih komada nije uzrokovala statistički značajne razlike ($p > 0,05$), dok su unutar prve grupe uzoraka ($t_z -25^{\circ}\text{C}$) skladištenih jedan i sedam dana razlike prisutne, što je u saglasnosti sa istraživanjima Leray i sar. (2010). Na osnovu prikazanih rezultata evidentno je da se specifična zapremina uzoraka nakon skladištenja sedam dana smanjila u proseku za 5% u odnosu na uzorke skladištene jedan dan. Sa druge strane može se uočiti da su vrednosti specifične zapremine kod svih uzoraka zamrznutim pri ekvivalentnim režimima zamrzavanja nakon 30 dana skladištenja veće za 10-15% u odnosu na dobijene vrednosti pri kraćem skladištenju. Navedena pojava je specifičan fenomen za ovu vrstu zamrznutog testa, koju su opisali Wickramarachchi i sar. (2015) i pretpostavili da je uzrok povećanja specifične zapremine visok sadržaj masti u lisnatom testu.

U tabeli 5.10 prikazani su rezultati određivanja čvrstoće peciva. Nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa vrednosti čvrstoće peciva su u opsegu od 26,72 i 35,02 kgs, a najveće su kod uzoraka koji su zamrznuti na temperaturi -30°C . Snižavanje temperature u središtu testanog komada kod uzoraka zamrznutih na temperaturama -25 i -30°C uzrokuje povećanje čvrstoće peciva, dok je kod uzoraka zamrznutih na temperaturi -35°C prisutan suprotan trend.

Nakon sedam dana skladištenja, vrednosti čvrstoće peciva su smanjene i nalaze se u intervalu vrednosti od 23,99 do 31,06 kgs. Promene režima zamrzavanja unutar ove grupe uzoraka nisu uzrokovale statistički značajne razlike ($p > 0,05$) u dobijenim vrednostima pomenutog fizičkog parametra. Najizraženije smanjenje čvrstoće (22%) usled dužeg skladištenja registrovano je kod uzorka peciva II-7. Primetno je i da su trendovi promene čvrstoće nakon jedan i sedam dana skladištenja različiti. Kod uzoraka koji su zamrznuti na temperaturama -30 i -35°C i skladišteni 7 dana najveću čvrstoću imaju uzorci koji su zamrznuti do temperature -15°C u središtu testanog komada, dok kod uzoraka zamrznutim na -25°C snižavanjem temperature u središtu testanog komada vrednost čvrstoće raste.

Tabela 5.10 Uticaj režima zamrzavanja i vremena skladištenja na čvrstoću lisnatog peciva

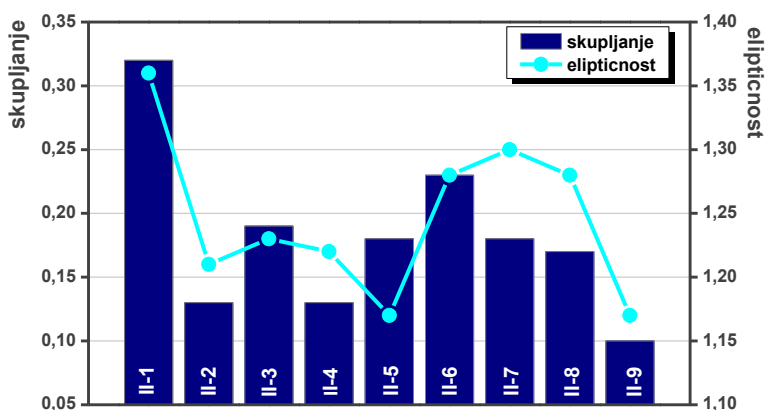
Uzorak	t_z (°C)	t_t (°C)	Čvrstoća (kgs)		
			1 dan	7 dana	30 dana
II-1	-25	-10	26,72 ± 2,35 ^a	24,44 ± 2,44 ^a	33,32 ± 3,40 ^a
II-2	-25	-15	27,66 ± 2,21 ^a	25,20 ± 2,41 ^a	37,00 ± 2,43 ^a
II-3	-25	-20	29,70 ± 2,42 ^{abc}	30,29 ± 1,04 ^a	39,70 ± 4,11 ^a
II-4	-30	-10	34,25 ± 1,84 ^{bc}	30,47 ± 6,93 ^a	36,38 ± 2,97 ^a
II-5	-30	-15	34,85 ± 1,01 ^c	31,06 ± 5,44 ^a	38,23 ± 2,53 ^a
II-6	-30	-20	35,02 ± 4,51 ^c	29,41 ± 5,79 ^a	37,62 ± 2,95 ^a
II-7	-35	-10	32,94 ± 1,51 ^{abc}	25,83 ± 1,07 ^a	34,72 ± 4,15 ^a
II-8	-35	-15	31,24 ± 0,83 ^{abc}	26,55 ± 2,26 ^a	35,49 ± 6,25 ^a
II-9	-35	-20	28,11 ± 5,08 ^{ab}	23,99 ± 4,87 ^a	42,30 ± 4,83 ^a

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne (p < 0,05).

Nakon 30 dana skladištenja zamrznutih uzoraka čvrstoća peciva svih ispitivanih uzoraka je značajno veća što potvrđuje i interval dobijenih vrednosti 33,32-42,30 kgs. Generalno sve vrednosti su povećane u proseku za 28% u odnosu na uzorke skladištene jedan dan, odnosno za 48% u odnosu na uzorke skladištene sedam dana nakon zamrzavanja. Međutim, iako je primetan trend povećanja čvrstoće sa sniženjem postignute temperature u središtu potvrđeno je da različiti režimi zamrzavanja nisu imali statistički značajan uticaj na vrednosti pomenutog parametra (p > 0,05). Sa druge strane neophodno je uočiti da vreme skladištenja nakon zamrzavanja testa utiče na čvrstoću lisnatog peciva. Interesantno je da su vrednosti čvrstoće nakon sedam dana skladištenja manje, a nakon trideset dana povećane od 5 do čak 50%. Sagledavajući dobijene eksperimentalne rezultate, kao i statističku značajnost razlika među uzorcima, u celini evidentno je da su nezavisno od vremena skladištenja minimalne vrednosti čvrstoće dobijene kod uzorka II-1, što je očekivano s obzirom da je kod uzorka II-1 primenjen najblaži režim zamrzavanja.

U prilogu P5 i na slici 5.9 je prikazan uticaj nezavisno promenljivih na skupljanje i eliptičnost peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutih uzoraka testa. Vrednosti skupljanja su u intervalu od 0,10 do 0,32, pri čemu je najmanje skupljanje uočeno kod uzorka koji je zamrznut na najnižoj temperaturi -35°C do postizanja

temperature -20°C u središtu testanog komada (II-9), a najveće kod uzorka zamrznutog na temperaturi -25°C do temperature u središtu testanog komada -10°C (II-1). Pomenuti interval je nešto širi od intervala 0,08-0,23 dobijenog za skupljanje lisnatog peciva u istraživanjima Šoronja Simović (2009). Veće skupljanje lisnatog peciva u ovoj disertaciji se može objasniti prisustvom veće količine margarina za laminiranje u odnosu na istraživanja Šoronja Simović (2009), gde je količina margarina bila 35, 45 i 55%. I u pomenutom istraživanju je zaključeno da se pri većem udelu margarina za laminiranje pecivo tokom pečenja više skuplja i deformiše.



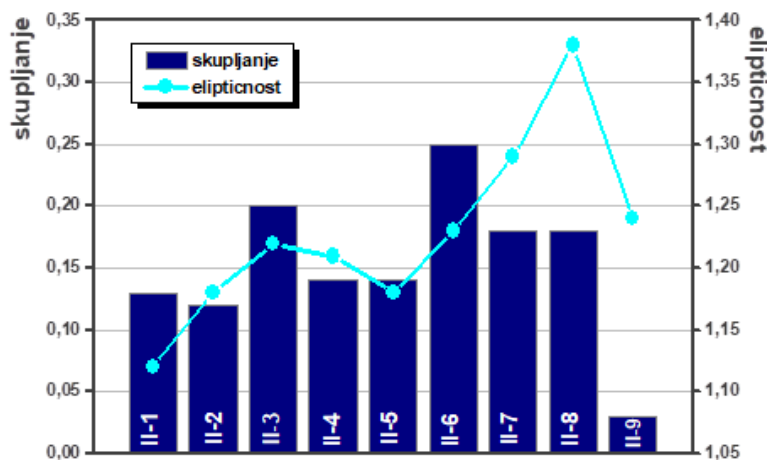
Slika 5.9 Uticaj režima zamrzavanja na skupljanje i eliptičnost peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

Trend promene oblika peciva uzrokovan promenom jedne nezavisno promenljive, pri konstantnoj vrednosti druge nije uniforman. Može se zaključiti da su unutar grupe uzoraka zamrznutih do temperature -15°C u središtu testanog komada razlike u vrednostima skupljanja pri promeni temperature zamrzavanja najmanje izražene. Snižavanjem temperature zamrzavanja, razlike u vrednostima skupljanja unutar grupa uzoraka zamrznutih na istoj temperaturi se smanjuju.

Prema dijagramu sa slike 5.9 vrednosti eliptičnosti peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa nalaze se u opsegu od 1,17 do 1,36, što je takođe značajno iznad vrednosti dobijenih za eliptičnost peciva u istraživanjima Šoronja Simović (2009). Uprkos pomenutom intervalu statističkom analizom je potvrđeno da režim zamrzavanja nema uticaj na eliptičnost peciva ($p > 0,05$). U skladu sa rezultatima skupljanja najveća vrednost eliptičnosti postignuta je kod uzorka koji je zamrznut na -25°C do postizanja temperature -10°C u središtu testanog komada (II-

1), najmanja kod uzorka II-9 kod koga je primenjen najoštrij režim zamrzavanja. Promene deformacija oblika unutar uzoraka kod kojih je primenjen isti režim zamrzavanja nisu statistički značajne ($p > 0,05$) i nalaze se u intervalu od 0,11 do 0,15.

Rezultati ispitivanja uticaja temperature zamrzavanja i temperature u središtu testanog komada na skupljanje i eliptičnost nakon sedam dana prikazani su u prilogu P6 i na slici 5.10.



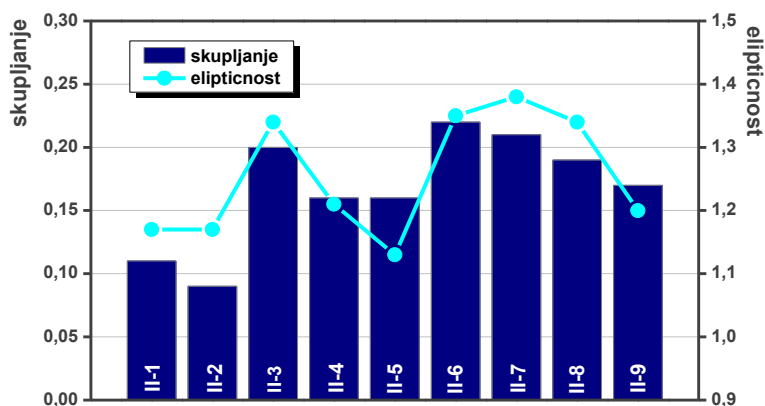
Slika 5.10 Uticaj režima zamrzavanja na skupljanje i eliptičnost peciva nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Vrednosti skupljanja su u opsegu 0,03 i 0,25, što je za 22-30% niže u odnosu na dobijene vrednosti kod peciva od zamrznutih uzoraka testa skladištenih jedan dan na -18°C . Upoređivanjem trenda promena skupljanja zavisno od dužine skladištenja uočava se da izvesna sličnost postoji u grupi uzoraka zamrznutih na -30 i -35°C sa postignutom temperaturom u središtu testanog komada -20°C . Nezavisno od vremena skladištenja kod pomenutih uzoraka došlo je do maksimalnog skupljanja. Evidentno je da su vrednosti skupljanja kod pomenutih uzoraka manje za 17% u odnosu na vrednosti koje su dobijene kod identičnih uzoraka skladištenih jedan dan. Jedinstven trend promene skupljanja tokom pečenja prisutan je kod uzoraka koji su zamrznuti do temperatura -10 i -15°C u središtu testanog komada.

Što se tiče eliptičnosti dobijene vrednosti su u intervalu od 1,12 do 1,38, pri čemu se može uočiti da promena režima zamrzavanja uglavnom nije uzrokovala

statistički značajne razlike u deformaciji oblika peciva ($p > 0,05$). Najmanje odstupanje od okruglog oblika nastalo je kod uzorka koji je zamrznut na -25°C do temperature -10°C u središtu testanog komada (II-1), što je neusaglašeno sa rezultatima dobijenim za uzorke peciva od zamrznutog testa skladištenog jedan dan (slika 5.9). Najveću vrednost eliptičnosti imao je uzorak koji je zamrzavan na -35°C do temperature -15°C u središtu testanog komada (II-8). Trendovi promena vrednosti eliptičnosti unutar grupa uzoraka nakon sedam dana su nejedinstveni i neusaglašeni sa promenom skupljanja. Međutim, poređenjem trenda promene eliptičnosti peciva nakon jedan i sedam dana skladištenja, uočava se identičan trend u grupi uzoraka koji su zamrznuti na -30°C .

Nakon trideset dana skladištenja zamrznutih uzoraka vrednosti skupljanja su u intervalu od 0,09 do 0,22 (prilog P7, slika 5.11), što je na nivou vrednosti dobijenih u istraživanju Šoronja Simović (2009).



Slika 5.11 Uticaj režima zamrzavanja na skupljanje i eliptičnost peciva nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

Uprkos nešto užem intervalu vrednosti na osnovu dijagrama prikazanih na slikama 5.9, 5.10 i 5.11 može se uočiti da su vrednosti skupljanja kod većine uzoraka zamrznutih na -30 i -35°C ipak povećane u odnosu na uzorke skladištene jedan ili sedam dana.

Međutim, uprkos razlikama u dobijenim vrednostima evidentno je da režim zamrzavanja ima sličan uticaj na pomenuti fizički parametar kvaliteta lisnatog peciva. Kod uzoraka zamrznutih na -25 i -30°C sa smanjenjem temperature u središtu

zamrznutih testanih komada, nezavisno od dužine skladištenja, povećava se i skupljanje tokom pečenja. Sa druge strane, pri zamrzavanju na -35°C javlja se sasvim suprotan trend. Nakon 30 dana skladištenja do minimalnog skupljanja došlo je kod uzorka II-2, a maksimalnog kod uzorka II-6.

Vrednosti eliptičnosti uzoraka peciva nakon trideset dana skladištenja (slika 5.11) nalaze se u intervalu od 1,13 do 1,38. Pomenuti interval je skoro identičan intervalu dobijenom za uzorke od testa skladištenog sedam dana posle zamrzavanja, i neznatno drugačiji u odnosu na eliptičnost uzoraka kod kojih je primenjeno minimalno skladištenje zamrznutog testa. Dobijene vrednosti ukazuju da duže skladištenje uzrokuje veće deformacije oblika, jer odstupanja od okruglog oblika testa iznose od 13 do 38%. Međutim, odstupanja se javljaju kod uzoraka sa najmanjom i najvećom vrednošću eliptičnosti. Vrednost eliptičnosti je najmanja kod uzorka koji je zamrznut na -30°C do temperature -15°C u središtu testanog komada (II-5), a najveća je zabeležena kod uzorka koji je zamrznut na -35°C do temperature -10°C u središtu testanog komada (II-7). Statistički značajno različite vrednosti eliptičnosti ($p < 0,05$) kod uzoraka zamrznutih na istoj temperaturi zamrzavanja zabeležene su jedino kod uzoraka sa temperaturom u središtu -15°C . Povećenje temperature zamrzavanja imalo je statistički značajan uticaj na eliptičnost peciva jedino kod uzoraka II-3, II-6 i II-9, čija je temperatura u središtu bila najniža.

S obzirom na značaj dovoljnog narastanja za formiranje karakteristične slojevite strukture lisnatog peciva statistički je analiziran uticaj nezavisno promenljivih (temperature zamrzavanja t_z i temperature u središtu testanog komada t_t) na narastanje peciva nakon jedan, sedam i trideset dana skladištenja zamrznutog lisnatog testa. Eksperimentalne vrednosti pomenutog specifičnog fizičkog parametra kvaliteta prikazane su u prilogima P5, P6 i P7, a rezultati regresione analize u tabeli 5.11.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.11 može se uočiti da su vrednosti svih regresionih koeficijenata negativne što ukazuje da se sa povećanjem temperature zamrzavanja (t_z) i postignute temperature u središtu testanog komada (t_t) smanjuju vrednosti narastanja. Očekivano je potvrđen veći uticaj uslova pri zamrzavanju (t_z i t_t) u odnosu na sirovinski sastav, što je u skladu sa literaturnim

navodima (Leray i sar., 2010). Procentualni uticaj nezavisno promenljivih je zavisno od vremena skladištenja bio 3,5-4,9 puta veći u odnosu na uticaj sirovinskog sastava, koji je bio iznad 20% samo pri modelovanju eksperimentalnih vrednosti narastanja peciva od zamrznutog testa skladištenog jedan dan.

Međutim, upravo je regresiona analiza narastanja peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa potvrdila da je parametar b_0 i statistički značajan ($p < 0,05$). Osim pomenutog parametra na vrednosti narastanja statistički značajan je linearni uticaj temperature zamrzavanja (22,6%), kao i interakcija nezavisno promenljivih (25,3%).

Tabela 5.11 Uticaj parametara regresione jednačine na narastanje lisnatog peciva nakon skladištenja

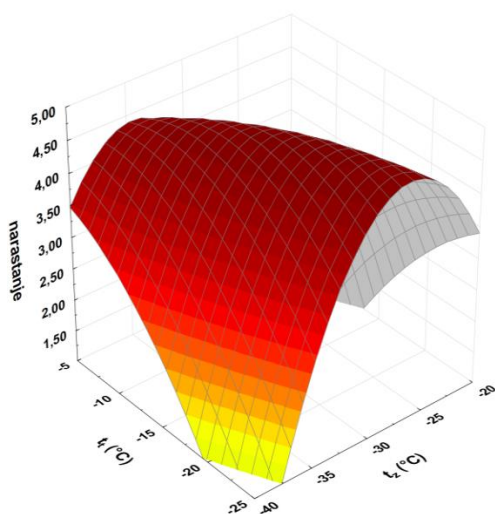
Parametri modela	Regresioni koeficijenti			Uticaj parametara (%)		
	1 dan	7 dana	30 dana	1 dan	7 dana	30 dana
uticaj sirovinskog sastava (b_0)	-36,083**	-11,202	-9,133	21,9	16,7	17,7
uticaj t_z i t_t				78,1	83,3	82,3
<i>linearni</i>						
t_z (b_{11})	-2,198**	-0,766	-0,785	27,0	21,8	29,3
t_t (b_{22})	-0,964	-0,513	-0,279	19,6	24,1	17,3
<i>kvadratni</i>						
t_z (b_{11})	-0,03	-0,01	-0,01	22,6	16,6	27,0
t_t (b_{22})	-0,01	-0,001	-0,003	5,5	2,4	7,4
<i>interakcioni</i>						
t_z i t_t (b_{12})	-0,02**	-0,01	-0,006	25,3	35,1	19,0

Nezavisno promenljive: t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testa. Vrednosti su statistički značajne na pragu značajnosti 95% ($p < 0,05$).

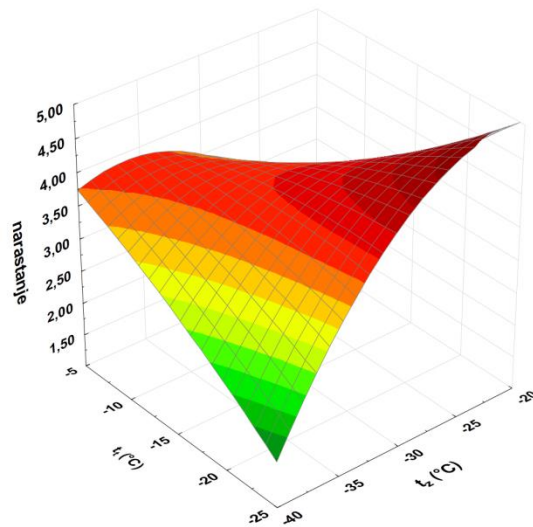
Vreme skladištenja od sedam dana bitno je uticalo na vrednosti narastanja, kao i na rezultate regresione analize. Eksperimentalne vrednosti narastanja su niže u odnosu na vrednosti dobijene kod uzoraka koji su nakon zamrzavanja skladišteni 30 dana. Regresionom analizom je utvrđeno da je uticaj interakcije nezavisno promenljivih nakon sedam dana skladištenja izraženiji, kao i linearni uticaj postignute temperature u središtu testanih komada u odnosu na rezultate dobijene za uzorke skladištene jedan ili trideset dana. Specifičan uticaj vremena skladištenja na narastanje nakon sedam dana skladištenja se na neki način može objasniti saznanjima do kojih su došli Magaña-Barajas i sar. (2014). U pomenutom istraživanju

ispitivana je promena viskoelastičnih svojstva testa tokom 42 dana skladištenja na -18°C . Generalno je potvrđeno da tokom skladištenja dolazi do slabljenja glutenske strukture usled smanjenja elastičnosti (Yi, Kerr, 2009a, 2009b) i povećanja viskoznog modula (Angiolini i sar. 2008), kao i oštećenja glutena usled pojave rekristalizacije. Magaña-Barajas i sar. (2014) ukazuju da su u zamrznutom testu prisutna brojna oštećenja glutenske mreže u koju su uklopljeni dezintegrisani ostaci skrobnih granula. Na osnovu svega navedenog može se pretpostaviti da narušena kontinualnost glutenske mreže svakako ima nepovoljan uticaj na naizmeničnost slojeva testo/margarin koja je preduslov za dobro narastanje lisnatog peciva. Visoka vrednost koeficijenta determinacije 0,884 regresionog modela za narastanje peciva od zamrznutog testa koje je skladišteno jedna dan ukazuje da je veza između promenljivih čvrsta, a regresija reprezentativna. Takođe je potvrđeno da je nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa 63,4% varijacija narastanja određena nezavisno promenljivim. Vrednost koeficijenta determinacije od 0,787 pri modelovanju eksperimentalnih vrednosti narastanja peciva od testa koje je nakon zamrzavanja skladišteno trideset dana, ukazuju da temperatura zamrzavanja i postignuta temperatura u središtu zamrznutog testa u većoj meri određuju varijacije zavisno promenljive. Niske vrednosti standardne greške regresije u slučaju skladištenja zamrznutih uzoraka jedan (0,233), sedam (0,284) i trideset (0,110) dana ukazuju na dobro slaganje eksperimentalnih i očekivanih vrednosti.

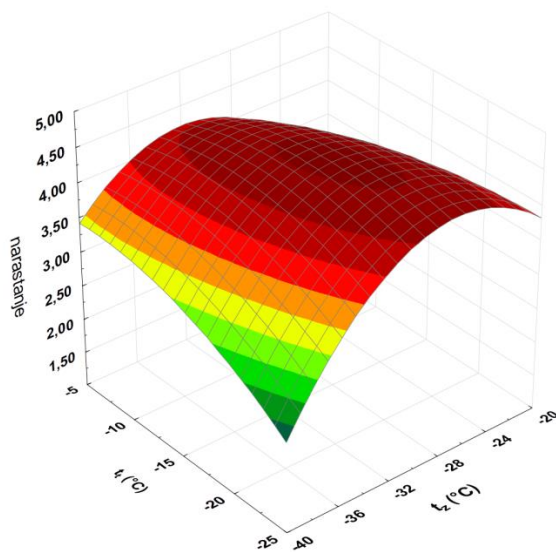
Trend promene narastanja peciva u zavisnosti od dužine skladištenja zamrznutog testa najbolje ilustruju odzivne površine prikazane na slici 5.12. Evidentno je da je uticaj nezavisno promenljivih na narastanje peciva od zamrznutih uzoraka testa nakon jedan (slika 5.12a) i trideset dana (slika 5.12c) skladištenja na -18°C sličan.



a) jedan dan



b) sedam dana



c) trideset dana

Slika 5.12 Uticaj režima zamrzavanja i dužine skladištenja na -18°C na narastanje lisnatog peciva

Maksimalno narastanje oko 4,3 se može postići pri temperaturi zamrzavanja -30°C , dok smanjenje ili povećanje temperature zamrzavanja ima negativan uticaj na vrednosti ispitivanog parametra. Uticaj druge nezavisno promenljive na narastanje

lisnatog peciva je nešto više izražen kod uzoraka testa skladištenih jedan dan, ali je očigledno da pri zamrzavanju testa na temperaturama iznad -30°C nije opravdano da temperatura u središtu zamrznutih testanih komada bude niska jer će se narastanja peciva biti ispod 3,5. Nakon sedam dana skladištenja zavisnost narastanja od nezavisno promenljivih je drugačija (5.12b). Sa povećanjem temperature zamrzavanja i postignute temperature u središtu testa dolazi do povećanja narastanja, međutim, pri zamrzavanju na -25°C poželjno je da se u središtu zamrznutog testa postigne vrlo niska temperatura -20°C da bi narastanje bilo maksimalno (5,0).

5.2.2 UTICAJ REŽIMA ZAMRZAVANJA I VREMENA SKLADIŠTENJA NA SENZORSKI KVALITET PECIVA

Na osnovu senzorske ocene kvaliteta peciva metodom bodovanja (tabela 5.12) uočava se da su nakon jedan dan skladištenja četiri uzorka bila dobrog, četiri vrlo dobrog, dok je jedan uzorak bio prihvatljivog senzorskog kvaliteta.

Tabela 5.12 Uticaj režima zamrzavanja i vremena skladištenja na senzorski kvalitet peciva

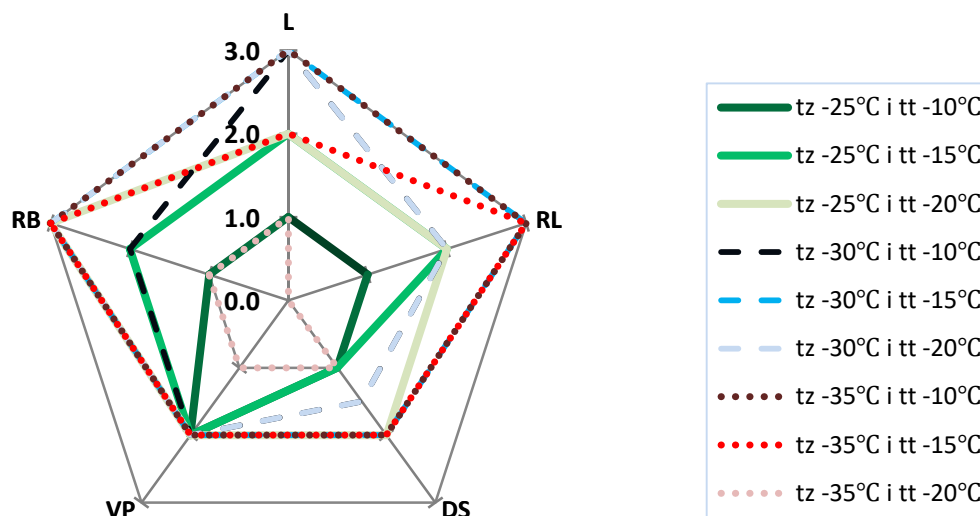
Uzorak	$t_z (^{\circ}\text{C})$	$t_t (^{\circ}\text{C})$	Metoda bodovanja (PB)		
			1 dan	7 dana	30 dana
II-1	-25	-10	14,1 - dobar	12,3 - prihvatljiv	14,9 - dobar
II-2	-25	-15	14,9 - dobar	15,5 - dobar	16,2 - vrlo dobar
II-3	-25	-20	15,3 - dobar	16,2 - vrlo dobar	15,7 - vrlo dobar
II-4	-30	-10	15,6 - dobar	15,6 - dobar	16,0 - vrlo dobar
II-5	-30	-15	16,0 - vrlo dobar	14,7 - dobar	16,6 - vrlo dobar
II-6	-30	-20	15,7 - vrlo dobar	15,8 - vrlo dobar	15,3 - dobar
II-7	-35	-10	17,1 - vrlo dobar	14,0 - dobar	15,8 - vrlo dobar
II-8	-35	-15	16,0 - vrlo dobar	15,1 - dobar	14,6 - dobar
II-9	-35	-20	12,3 - prihvatljiv	11,7 - prihvatljiv	14,9 - dobar

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; PB – ponderisani bodovi (min 5; max 20). Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja \pm SD ($n = 5$); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

Uglavnom bolje senzorske ocene imali su uzorci lisnatog peciva od zamrznutog testa na nižim temperaturama -30 i -35°C , sa izuzetkom uzorka II-9 zamrznutog na temperaturi -35°C i temperaturom u središtu testanog komada -20°C , koji je ocenjen najnižom senzorskom ocenom. Uzorak II-9 je bio delimično izmenjenog oblika, izmenjene boje i malo nepovezane kore, slojevite ali neravnomerno razlistane

strukture sa malo neujednačenim razmakom između slojeva i sitnim porama. Miris pomenutog peciva bio je svojstven ali manje izražen, dok je ukus bio testast, a topivost loša. Najbolji senzorski kvalitet peciva postignut je kod uzorka zamrznutog na -35°C i temperaturom u središtu testanog komada -10°C (II-7).

Na osnovu senzorske analize kvaliteta sredine QDA metodom (slika 5.13) potvrđeni su rezultati senzorske ocene metodom bodovanja.



L – listanje, RL – ravnornost listanja, DS – debljina slojeva,
 VP – veličina pora, RB – ravnornost boje, tz – temperatura zamrzavanja,
 tt – temperatura u središtu testanog komada

Slika 5.13 Kvalitet strukture lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa na -18°C

Dobar kvalitet sredine peciva dobijen je kod uzoraka zamrznutih na -25°C i nižim temperaturama u središtu zamrznutog testa. Parametri listanje (L), ravnornost listanja (RL) kao i ravnornost boje (RB) kod uzoraka II-2 i II-3 ocenjeni su višim ocenama u odnosu na uzorak II-1 (slika 5.13). Najkvalitetniju strukturu sredine imali su uzorci zamrznuti na -30°C (slika 5.14), kao i uzorak II-7 kod koga je primenjen režim zamrzavanja -35°C i temperatura u središtu -10°C .

Spoljni izgled uzorka II-7 je bio neznatno izmenjene boje i oblika, a pravilno slojevite strukture, izrazito tankih slojeva, krupnih pora i ujednačene boje sredine.

Miris najboljeg uzorka bio je svojstven i manje izražen, a ukus zaokružen i delimično aromatičan, odlične topivosti.



Slika 5.14 Struktura lisnatog peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa -30°C u zavisnosti od temperature u središtu testanih komada (s leva na desno uzorci II-4, II-5 i II-6)

Rezultati određivanja senzorskih parametara kvaliteta peciva u zavisnosti od temperature zamrzavanja i temperature u središtu testanog komada (tabela 5.12, slika 5.15) ukazuju da je tokom sedam dana skladištenja došlo do pogoršanja kvaliteta peciva, što je u skladu sa literaturnim podacima Omedi i sar. (2019). Ocene pojedinačnih parametara kvaliteta (spoljni izgled, struktura, miris i ukus) su bile niže u odnosu na ocene peciva od zamrznutog testa pri istom režimu, ali skladištenog na jedan dan na -18°C . Pogoršanje pojedinačnih parametara kvaliteta kod najvećeg broja pomenutih uzoraka rezultiralo je smanjenjem ukupnog broja ponderisanih bodova i promenom kategorije kvaliteta peciva. Na osnovu rezultata metode bodovanja po dva uzorka su bila prihvatljivog i vrlo dobrog senzorskog kvaliteta, a pet uzoraka je bilo dobrog senzorskog kvaliteta.

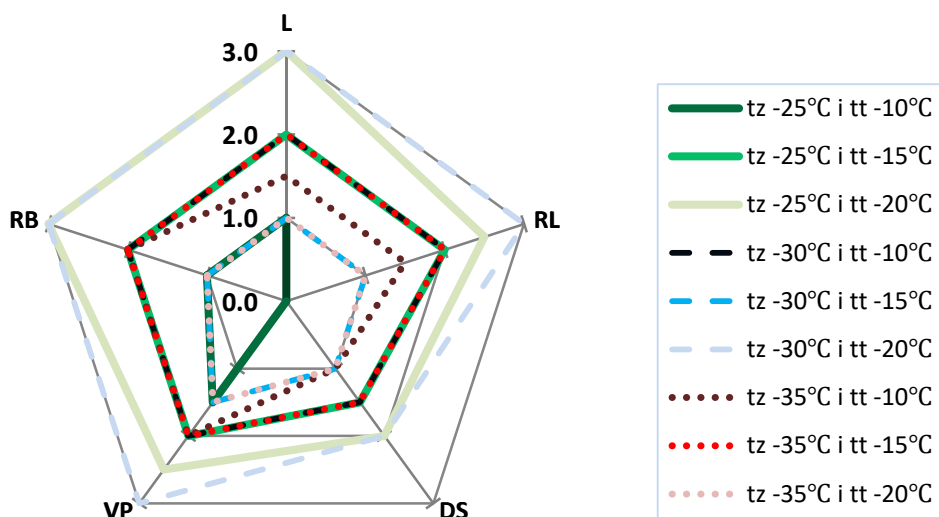
Kod uzoraka zamrznutih na -25 i -30°C sniženje temperature u središtu testanih komada dovelo je do poboljšanja senzorskog kvaliteta lisnatog peciva (uzorci II-3 i II-6). Najbolji kvalitet peciva postignut je kod uzorka II-3, koji je bio neznatno izmenjenog oblika, povezane kore, slojevite strukture, ravnomernog listanja, tankih slojeva i sitnih pora, ujednačene boje sredine. Miris uzorka II-3 je bio svojstven i delimično aromatičan, a ukus svojstven, nešto slabije izražen i prijatan, topivost dobra. Duže skladištenje je imalo pozitivan efekat i na kvalitet peciva II-2 od zamrznutog testa na -25°C do postizanja -15°C u središtu. Pored spoljnog izgleda i ukusa kod pomenutog uzorka poboljšana je i struktura peciva. Od pomenutog trenda

odstupa uzorak zamrznut na -30°C (II-9), koji je pripadao kategoriji kvaliteta prihvatljiv (slika 5.15). Pomenuti uzorak je imao najlošiji senzorski kvalitet, delimično izmenjen oblik, izmenjenu boju i malo nepovezanu koru, dok je njegova struktura bila manje slojevita, malo zbijena, sa debelim slojevima i sitnim porama. Miris je bio svojstven ali slabije izražen, dok mu je ukus bio nezaokružen, malo testast, a topivost slaba. Dobijeni rezultati su neočekivani s obzirom da Omedi i sar. (2019) ukazuju da se snižavanjem temperature u središtu testanog komada, naročito u slučaju šok zamrzavanja, postiže bolji kvalitet peciva jer se tokom zamrzavanja formiraju sitniji kristali čija se veličina ne povećava značajno tokom skladištenja.



Slika 5.15 Kvalitet peciva od zamrznutog testa temperature u središtu -20°C u zavisnosti od temperature zamrzavanja (s leva na desno uzorci II-3, II-6 i II-9)

Rezultati QDA senzorske metode (slika 5.16) nisu u potpunosti potvrdili rezultate metode bodovanja. Najmanje bodova imalo je pecivo dobijeno od zamrznutog testa pri najblažem režimu (II-1). Najbolji kvalitet sredine peciva generalno su imali uzorci zamrznuti na -25°C , a među njima uzorak koji je zamrznut do -15°C (II-6). Kod pomenutog uzorka jedino debljina slojeva nije ocenjena maksimalnom ocenom. Nešto nižim ocenama za strukturu sredine ocenjen je uzorak zamrznut na -25°C do -15°C (II-3).

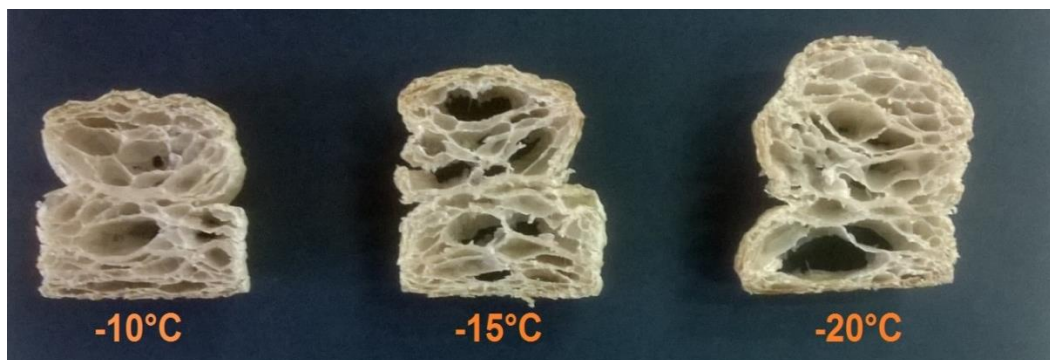


L – listanje, RL – ravnomernost listanja, DS – debljina slojeva,
 VP – veličina pora, RB – ravnomernost boje, tz – temperatura zamrzavanja,
 tt – temperatura u središtu testanog komada

Slika 5.16 Kvalitet strukture lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa na -18°C

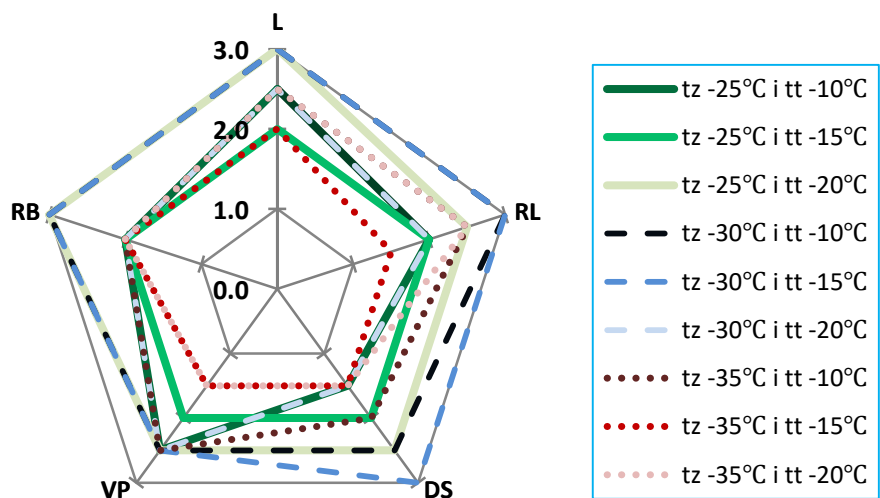
Rezultati analize senzorskog kvaliteta peciva nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa prikazani su u tabeli 5.12, na slici 5.17 i QDA dijagramu (slika 5.18). Na osnovu senzorskog kvaliteta peciva određenog metodom bodovanja generalno se može uočiti da su nakon 30 dana skladištenja zamrznutog testa ocene veće ili na nivou ocena uzoraka skladištenih jedan i sedam dana na -18°C . Četiri uzorka su imala dobar, a pet uzoraka vrlo dobar senzorski kvalitet.

Najbolji senzorski kvalitet imali su uzorci kod kojih je primenjena temperatura zamrzavanja -30°C do postizanja -15°C u središtu testanih komada (slika 5.17). Uzorak II-5 je imao najbolji senzorski kvalitet: karakterističnu boju, delimično simetričan ali pravilan oblik, povezanu koru, pravilnu i ravnomerno slojevitou strukturu sa prisutnim krupnim porama, svojstven ali slabije izražen miris, zaokružen ukus i dobru topivost.



Slika 5.17 Kvalitet lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja testa zamrznutog na -30°C u zavisnosti od temperature u središtu (s leva na desno uzorci II-4, II-5 i II-6)

Uzorak zamrznut na -15°C do postizanja temperature -15°C u središtu testanog komada (II-8) je ocenjen najmanjim brojem bodova. Evidentno je da se zamrzavanje do postizanja nižih temperatura u središtu može primeniti pri temperaturama zamrzavanja -25°C i -30°C , dok se u slučaju zamrzavanja na -35°C



L – listanje, RL – ravnornost listanja, DS – debljina slojeva,
VP – veličina pora, RB – ravnornost boje, tz – temperatura zamrzavanja,
tt – temperatura u središtu testanog komada

Slika 5.18 Kvalitet strukture lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa na -18°C

bolji kvalitet lisnatog peciva dobija kada je temperatura u središtu zamrznutog testa bila -10°C . Bolji senzorski kvalitet uzorka II-7 je rezultat većeg narastanja (4,27), veće specifične zapremine ($4,0\text{ cm}^3/\text{g}$), manje čvrstoće (34,72 kgs) i manjih deformacija tokom pečenja u odnosu na uzorke II-8 i II-9. Uzorak peciva II-8 koji je zbog delimično izmenjenog oblika i nepovezane kore, svojstvenog ali slabije izraženog mirisa i malo testastog ukusa ocenjen najmanjim brojem bodova (tabela 5.12), prema rezultatima senzorske analize QDA metodom (slika 5.18) je imao i neravnomerno slojevitou strukturu, sa debelim slojevima i prisutnim sitnim porama. Struktura uzorka II-9 kod koga je primenjen najoštriji režim zamrzavanja uprkos izraženom ukusu na mast je bila malo bolja u odnosu na uzorak II.8. Listanje kod pomenutog uzorka je bilo izraženije i ravnomernije što je rezultiralo i većom površinom na QDA dijagramu (slika 5.18).

S obzirom na tvrdnje Omedi i sar., (2019) da režim zamrzavanja ispoljava najveći uticaj na kvalitet proizvoda u prvih mesec dana skladištenja uticaj režima zamrzavanja na tehniološki kvalitett lisnatog testa i peciva nakon dužeg skladištenja nije ispitivan već se pristupilo statističkoj analizi eksperimentalnih rezultata II faze.

5.2.3 OPTIMIZACIJA REŽIMA ZAMRZAVANJA METODOM ŽELJENE FUNKCIJE

Primenom statističkog programa Design-Expert ispitana je značajnost dva ulazna faktora (temperatura zamrzavanja t_z i temperatura u središtu testanog komada t_t) i njihovih interakcija nakon jedan, sedam i trideset dana skladištenja zamrznutih uzoraka na -18°C na pet izlaznih faktora (zapremina, čvrstoća, narastanje, senzorska ocena metodom bodovanja i QDA metodom) i izvršena optimizacija režima zamrzavanja.

Rezultati statističke analize eskperimentalnih podataka koji se odnose na fizičke (zapremina, čvrstoća, narastanje) i senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon jedan dan skladištenja prikazani su u tabeli 5.13.

Tabela 5.13 Deskriptivna statistika izlaznih faktora nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

Izlazne veličine	Min	Max	Srednja vrednost	SD
Zapremina (cm ³)	55,44	80,36	65,02	7,66
Čvrstoća (kgs)	26,72	35,02	31,17	3,25
Narastanje	3,23	4,98	4,17	0,64
Metoda bodovanja (PB)	12,26	17,10	15,23	1,39
QDA metoda	4,0	13,0	10,0	3,13

Jačina uticaja ulaznih faktora i njihove interakcije na fizičke parametre kvaliteta lisnatog peciva (zapremina, čvrstoća i narastanje) od zamrznutog testa skladištenog jedan dan ispitana je korišćenjem ANOVE (tabela 5.14).

Tabela 5.14 Analiza varijanse (ANOVA) za fizičke parametre kvaliteta peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

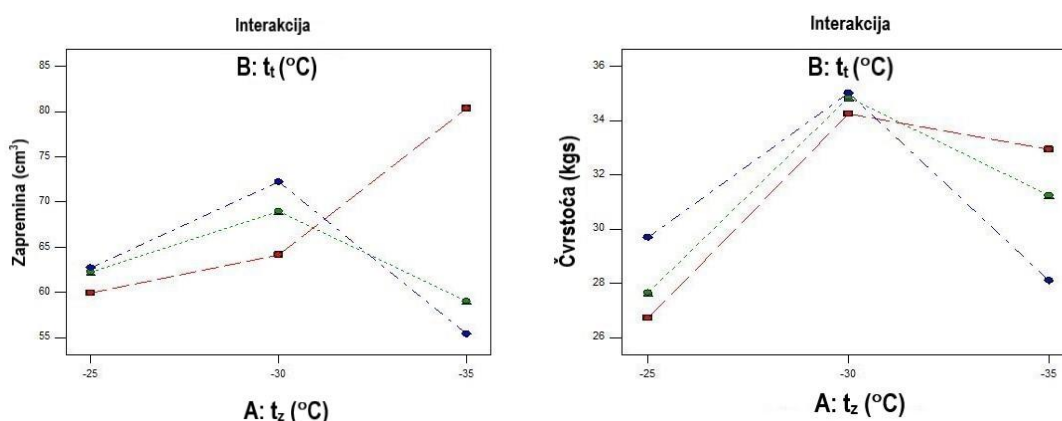
Faktori	SS	df	MSE	P
Zapremina (cm³)				
A – t _z (°C)	69,52	2	34,76	<0,0001
B – t _t (°C)	244,37	2	22,19	0,0256
AB – interakcija	355,93	4	88,98	0,0145
Čvrstoća (kgs)				
A – t _z (°C)	67,73	2	33,87	<0,0001
B – t _t (°C)	0,23	2	0,11	<0,0001
AB - interakcija	16,75	4	4,19	<0,0001
Narastanje				
A – t _z (°C)	1,28	2	0,64	0,0267
B – t _t (°C)	0,19	2	0,093	0,0378
AB – interakcija	1,83	4	0,46	0,687

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.

Na osnovu prikazanih rezultata (tabela 5.14) statističke obrade (p vrednosti) uočava se da temperatura zamrzavanja (t_z), temperatura testa u središtu testanog komada (t_t), i njihova interakcija imaju statistički značajan uticaj na zapreminu i čvrstoću lisnatog peciva na pragu značajnosti 95%, što je usaglašeno sa rezultatima istraživanja Phimolsiripol i sar. (2008). Dobijene p vrednosti za čvrstoću lisnatog peciva takođe ukazuju da ulazni faktori i njihova interakcija imaju statistički značajan

uticaj na čvrstoću lisnatog peciva, dok na narastanje statistički značajan uticaj imaju pojedinačni ulazni faktori, ali ne i njihova interakcija.

Jačina i smer uticaja navedenih ulaznih faktora i njihovih interakcija na zapreminu i čvrstoću lisnatog peciva data je na slici 5.19. Uočljivo je da temperatura zamrzavanja -35°C ima statistički značajan i pozitivan uticaj na zapreminu peciva, ukoliko je temperatura u središtu testanog komada -10°C . U navedenom temperaturnom režimu zapremina ima maksimalnu vrednost.



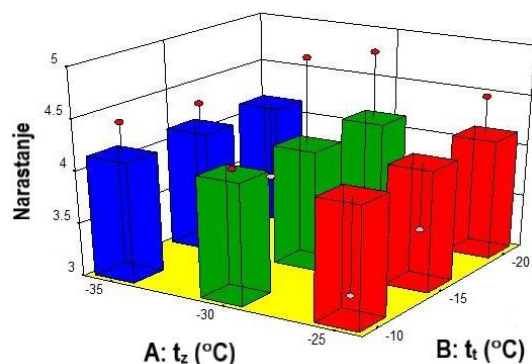
Slika 5.19 Uticaj temperature zamrzavanja na zapreminu (levo) i čvrstoću (desno) lisnatog peciva u zavisnosti od temperature u središtu testanog komada -10°C (crveno), -15°C (zeleno), -20°C (plavo) nakon jedan dan skladištenja

Temperatura zamrzavanja između -25 do -30°C ima pozitivan uticaj na zapreminu ako je postignuta temperatura u središtu testanih komada između -15 i -20°C . Snižavanje temperature u središtu testa ispod -10°C će imati izrazito negativan uticaj na zapreminu lisnatog peciva kada je temperatura zamrzavanja t_z od -30 do -35°C .

Sa snižavanjem temperature zamrzavanja od -25 do -30°C čvrstoća peciva se povećava, a maksimum se postiže kada je t_t -20°C . Pri režimu zamrzavanja t_z -35°C i t_t -20°C čvrstoća lisnatog peciva je minimalna. Interval temperature zamrzavanja od -30 do -35°C neće uzrokovati značajnije promene zapremine ako je temperatura u središtu zamrznutih testanih komada bila -10°C . Dobijeni rezultati su usaglašeni sa rezultatima istraživanja Wickramarachchi sar. (2015).

Budući da su rezultati analize varijanse potvrdili da interakcija ulaznih faktora

nema statistički značajan uticaj na narastanje, jačina i smer pojedinačnih uticaja t_z i t_t na pomenuti specifični parametar kvaliteta prikazan je na slici 5.20. Najveće narastanje postignuto je pri t_z -30°C i t_t -15°C kao i t_t -20°C . Režim zamrzavanja t_z -25°C i t_t -10°C ima najveći negativan uticaj na narastanje proizvoda.



Slika 5.20 Narastanje lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon jedan dan skladištenja

Jačina uticaja ulaznih faktora i njihove interakcije na senzorski kvalitet lisnatog peciva nakon jedan dan skladištenja ispitana je analizom varijanse rezultata dobijenih metodom bodovanja i QDA metodom (tabela 5.15).

Tabela 5.15 Analiza varijanse (ANOVA) za senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

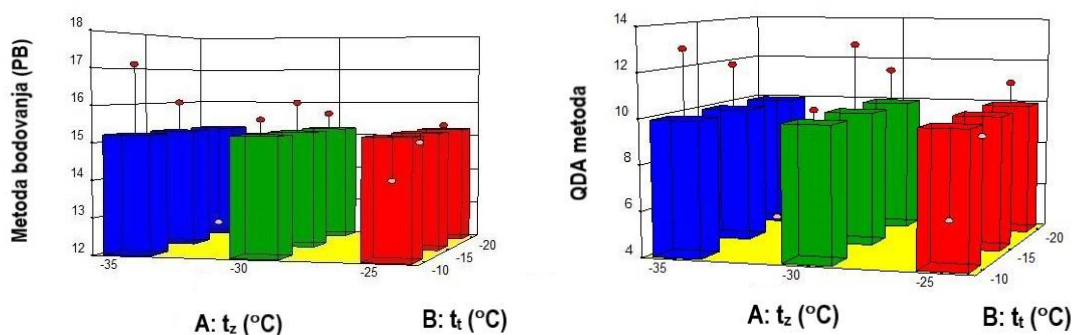
Faktori	SS	df	MSE	P
Metoda bodovanja (PB)				
A – t_z ($^{\circ}\text{C}$)	1,52	2	0,76	0,0345
B – t_t ($^{\circ}\text{C}$)	2,97	2	1,48	0,0478
AB – interakcija	10,89	4	2,72	0,3920
QDA metoda				
A – t_z ($^{\circ}\text{C}$)	14,00	2	7,00	0,0435
B – t_t ($^{\circ}\text{C}$)	9,50	2	4,75	0,0387
AB – interakcija	10,89	4	13,75	0,4010

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.

Na osnovu p vrednosti zaključuje se da t_t i t_z imaju statistički značajan uticaj na senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva koji se ocenjuju pomenutim metodama, dok njihova interakcija nema značajan uticaj.

Na slici 5.21 prikazan je pojedinačni efekat temperature zamrzavanja i temperature u središtu testanog komada na ukupan broj ponderisanih bodova ostvarenih metodom bodovanja. Na grafiku se jasno vidi da je najveći pozitivan efekat postignut pri režimu zamrzavanja t_z -35°C i t_t -10°C . U tom temperaturnom režimu je i postignuto metodom bodovanja najviše ponderisanih bodova za pecivo nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa.

U skladu sa dobijenim rezultatima statističke analize na slici 5.21 prikazan je i pojedinačni uticaj ulaznih faktora na senzorske ocene dobijene QDA metodom. Potvrđeno je da najbolji pozitivan efekat na kvalitet strukture peciva po QDA metodi dobija kada se lisnato testo zamrzava na -35°C do postizanja temperature -10°C u središtu testanog komada, kao i na t_z -30°C do t_t -15°C .



Slika 5.21 Senzorski kvalitet (metoda bodovanja - PB) i kvalitet strukture lisnatog peciva (QDA metoda) u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

Primenom funkcije poželjnosti određen je optimalni režim zamrzavanja. Usvojeni kriterijumi optimizacije nezavisno od dužine skladištenja zamrznutog testa prikazani su u tabeli 5.16. Zavisne promenljive odabrane za proces optimizacije su parametri kvaliteta lisnatog peciva (zapremina, čvrstoća, senzorska ocena metodom bodovanja i QDA metodom) mereni nakon jedan, sedam i trideset dana skladištenja.

Tabela 5.16 Kriterijumi optimizacije režima zamrzavanja na osnovu vrednosti izlaza za lisnato pecivo od zamrznutog testa

Faktori	Kriterijumi		Najniža vrednost	Najviša vrednost
	Cilj	Značajnost		
A – t_z (°C)	u opsegu	3	-25	-35
B – t_t (°C)	u opsegu	3	-10	-20
Zapremina (cm ³)	maksimum	4	55,44	80,36
Čvrstoća (kgs)	u opsegu	3	26,72	35,02
Metoda bodovanja (PB)	maksimum	5	12,26	17,1
QDA metoda	maksimum	5	4	13

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada.

U tabeli 5.17 prikazana su optimizaciona rešenja sa ukupnom željenom funkcijom (D) od 0,22 do 0,75, pri čemu su dobijena samo dva rešenja sa vrednošću D iznad 0,70. Zamrzavanje na -35°C uz postizanje temperature u središtu -10°C su optimalni ulazni faktori po prvom optimalnom rešenju, čija je funkcija poželjnosti maksimalna 0,75.

Tabela 5.17 Optimalni režim zamrzavanja i predviđeni odzivi za lisnato pecivo od zamrznutog testa nakon jedan dan skladištenja zamrznutog testa

Broj rešenja	t_z (°C)	t_t (°C)	Zapremina (cm ³)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	D
1	-35	-10	65,02	32,94	16,83	13,50	0,75
2	-25	-20	65,02	29,70	16,59	13,50	0,73
3	-30	-20	65,02	35,02	15,93	11,00	0,63
4	-35	-15	65,02	31,24	15,69	11,00	0,62
5	-30	-15	65,02	34,86	15,05	10,00	0,54
6	-25	-15	65,02	27,66	14,95	9,00	0,50
7	-30	-10	65,02	34,25	14,71	9,00	0,48
8	-25	-10	65,02	26,72	14,15	7,50	0,39
9	-35	-20	65,02	28,11	13,17	5,50	0,22

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; D – vrednost ostvarenja poželjnosti (desirability).

U cilju što pouzdanije optimizacije režima zamrzavanja statistički su obrađeni i eksperimentalni rezultati određivanja fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta peciva od zamrznutog testa nakon sedam dana skladištenja na -18°C. Eksperimentalne vrednosti fizičkih (zapremina, čvrstoća, narastanje) i senzorskih parametara (metoda bodovanja i QDA metoda) prikazane su u tabeli 5.18.

Tabela 5.18 Deskriptivna statistika izlaznih faktora nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Izlazni faktori	Min	Max	Srednja vrednost	SD
Zapremina (cm ³)	49,42	70,17	58,20	6,41
Čvrstoća (kgs)	23,99	31,06	27,47	2,82
Narastanje	3,26	4,60	3,89	0,44
Metoda bodovanja (PB)	11,70	16,17	14,55	1,59
QDA metoda	3,50	14,00	8,67	3,47

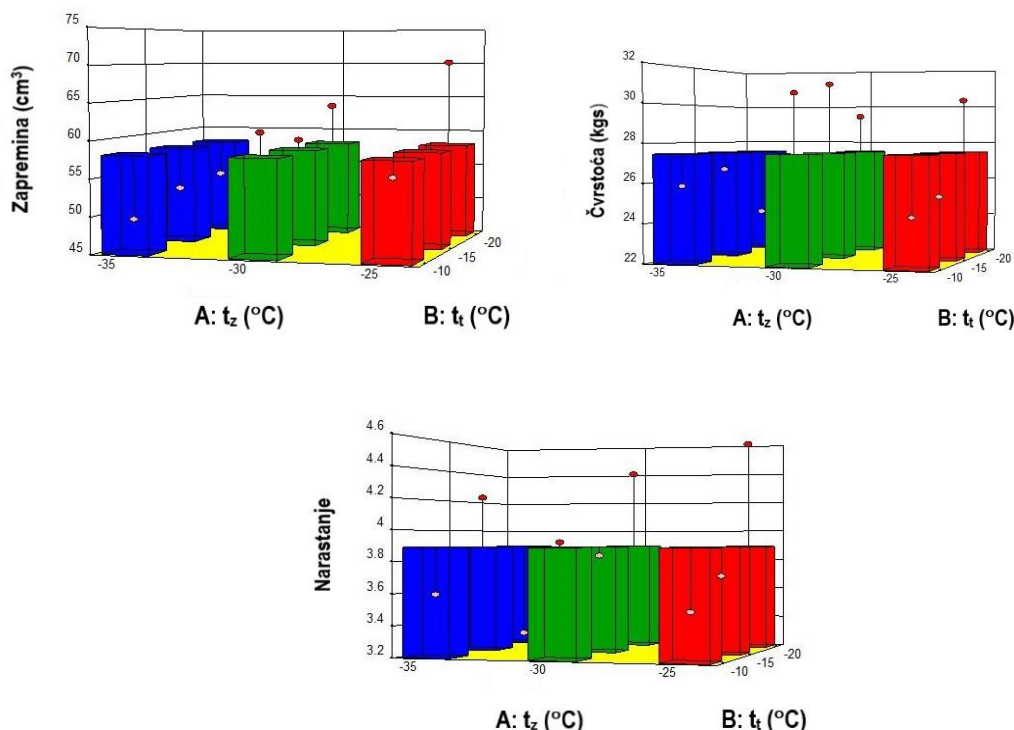
Jačina uticaja ulaznih faktora (t_z i t_t) i njihovih interakcija na odabrane izlazne faktore, koji su definisali kvalitet lisnatog peciva nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa, ispitana je korišćenjem ANOVE. U tabeli 5.19 prikazani su rezultati statističke analize za fizičke parametre, a u tabeli 5.20 za senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva. Na osnovu p vrednosti prikazanih u tabeli 5.19 potvrđen je statistički značajan pojedinačni uticaj oba ulazna faktora (t_z i t_t) na zapreminu, temperature u središtu testa (t_t) na čvrstoću, i temperature zamrzavanja (t_z) na narastanje lisnatog peciva. Interakcija ulaznih faktora nije imala statistički značajan efekat ni na jedan fizički parametar kvaliteta na pragu značajnosti od 95%.

Tabela 5.19 Analiza varijanse (ANOVA) za fizičke parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Faktori	SS	df	MSE	p
Zapremina (cm³)				
A – t_z (°C)	195,70	2	97,85	0,0321
B – t_t (°C)	78,87	2	39,43	0,0456
AB – interakcija	53,84	4	13,46	0,3145
Čvrstoća (kgs)				
A – t_z (°C)	195,70	2	97,85	0,6281
B – t_t (°C)	78,87	2	39,43	0,0431
AB – interakcija	53,84	4	13,46	0,6432
Narastanje				
A – t_z (°C)	0,20	2	0,10	0,0341
B – t_t (°C)	0,26	2	0,13	0,7381
AB – interakcija	1,09	4	0,27	0,6432

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.

Uticaj navedenih ulaznih parametara na fizičke parametre kvaliteta lisnatog peciva kao izlazne faktore prikazan je na slici 5.22. Najveći uticaj na zapreminu postiže se zamrzavanjem testa na t_z -25°C do postizanja t_t -20°C . Na osnovu dijagrama zavisnosti uticaja na čvrstoću lisnatog peciva od ulaznih faktora t_z i t_t , uočava se da je najveći pozitivan uticaj pri t_z -30°C bez obzira na temperaturu postignutu u središtu testanog komada. Najveći negativan efekat na čvrstoću lisnatog peciva izražen je pri režimu t_z -35°C do postizanja t_t -20°C .



Slika 5.22 Fizički parametri kvaliteta lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Statističkom analizom je potvrđeno da nezavisno od temperature zamrzavanja i postignute temperature u središtu testanih komada vrednosti čvrstoće zadovoljavaju postavljeni cilj pri optimizaciji. Kada je u pitanju narastanje peciva režim zamrzavanja na t_z -25°C do postizanja t_t -20°C ima statistički značajan uticaj na povećanje visine peciva tokom pečenja, kao i t_z -30°C do t_t -20°C . Postoji značajan negativan efekat na narastanje pri temperaturi zamrzavanja -35°C do temperature testa u središtu -20°C .

Statistička analiza efekata ulaznih faktora na senzorski kvalitet peciva metodom bodovanja i QDA metodom nakon jedan dan skladištenja je potvrdila da su pojedinačni efekti faktora t_z i t_t , kao i efekat interakcije identični (tabela 5.15). Na osnovu rezultata ANOVE senzorskih ocena peciva metodom bodovanja i QDA metodom za lisnato pecivo od zamrznutog testa nakon sedam dana skladištenja (tabela 5.20) uočava se da duže skladištenje nije izmenilo jačinu uticaja ulaznih faktora i njihove interakcije na izlazne faktore. Posmatrajući p vrednost evidentno je da na rezultate obe senzorske metode statistički značajan uticaj imaju pojedinačni ulazni faktori t_z i t_t ($p < 0,05$), dok je efekat interakcije temperature zamrzavanja i postignute temperature u središtu statistički neznačajan ($p > 0,05$).

Tabela 5.20 Analiza varijanse (ANOVA) za senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

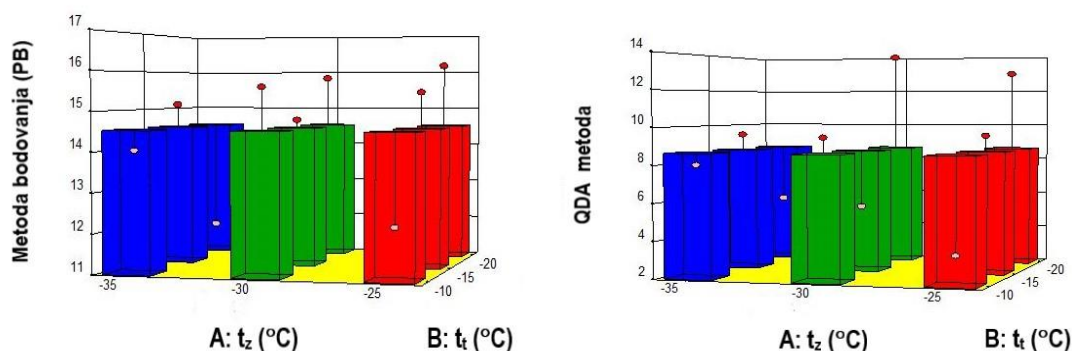
Faktori	SS	Df	MSE	p
Metoda bodovanja (PB)				
A – t_z (°C)	4,73	2	2,37	0,0467
B – t_t (°C)	1,97	2	0,99	0,0449
AB – interakcija	13,50	4	3,37	0,237
QDA metoda				
A – t_z (°C)	23,17	2	11,58	0,0387
B – t_t (°C)	6,00	2	3,00	0,0386
AB – interakcija	67,33	4	16,83	0,438

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.

Na slici 5.23 se vidi da se najveći pozitivan efekat na metodu bodovanja postiže u režimu zamrzavanja od t_z -25 do -30°C do t_t -20°C. Ovaj trend efekata ulaznih faktora se ispoljava i kod QDA metode (slika 5.23), ali je najpozitivniji efekat imala primena t_z -30°C do postizanja t_t -20°C.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata određivanja fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta lisnatog peciva od testa koje je nakon zamrzavanja skladišteno sedam dana na -18°C izvršena je optimizacija režima zamrzavanja metodom željene funkcije. Kriterijumi optimizacije su bili isti kao u slučaju rezultata koji su se odnosili na uzorke kod kojih je primenjeno skladištenja bilo jedan dan (tabela 5.16). U tabeli

5.21 prikazana su dobijena optimizaciona rešenja, pri čemu su samo četiri rešenja imala ukupnu željenu funkciju iznad 0,60.



Slika 5.23 Senzorski kvalitet (metoda bodovanja - PB i kvalitet strukture lisnatog peciva QDA metoda) u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Sagledavajući vrednosti D optimalan režim zamrzavanja je -25°C t_f i -20°C t_z , međutim, razmatrajući rezultate date u tabeli 5.8 koja prikazuje potrebno vreme za svaki od ispitivanih režima zamrzavanja, uočava se da je upravo kod prvog optimizacionog rešenja u realnim uslovima potrebno najduže vreme od 41 min za zamrzavanje testanih komada. S obzirom na dužinu trajanja zamrzavanja, kao i

Tabela 5.21 Optimalni režim zamrzavanja i predviđeni odzivi za lisnato pecivo od zamrznutog testa nakon sedam dana skladištenja zamrznutog testa

Broj rešenja	t_z (°C)	t_f (°C)	Zapremina (cm ³)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	D
1	-25	-20	62,72	30,69	16,07	10,83	0,77
2	-35	-15	60,27	28,43	15,49	11,00	0,69
3	-30	-10	60,75	28,19	15,34	10,16	0,66
4	-35	-10	58,72	28,40	15,54	10,67	0,66
5	-30	-20	56,27	26,14	14,97	10,83	0,57
6	-25	-15	56,75	25,90	14,81	10,00	0,55
7	-30	-15	57,58	28,09	13,33	5,00	0,27
8	-25	-10	55,13	25,83	12,76	5,17	0,21
9	-35	-20	55,61	25,58	12,61	4,34	0,16

t_z – temperatura zamrzavanja; t_f – temperatura u središtu testanog komada; D – vrednost ostvarenja poželjnosti (desirability).

samu vrednost t_z pomenuti režim neće naći praktičnu primenu kao šok zamrzavanje u

industrijskim uslovima. Sagledavajući da je D vrednost kod predikcionog rešenja broj 2 takođe relativno visoka ponuđeno rešenje $t_z -35^{\circ}\text{C}$ i $t_t -15^{\circ}\text{C}$ se prihvata kao optimalno za postizanje željenog kvaliteta lisnatog peciva koje je skladišteno sedam dana na -18°C .

Eksperimentalni rezultati merenja fizičkih i određivanja senzorskih parametara kvaliteta peciva od zamrznutog testa nakon trideset dana skladištenja na -18°C statistički su obrađeni u tabeli 5.22.

Tabela 5.22 Deskriptivna statistika izlaznih faktora nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

Izlazne veličine	Min	Max	Srednja vrednost	SD
Zapremina (cm^3)	58,63	76,3	67,59	6,14
Čvrstoća (kgs)	23,99	31,06	27,47	2,82
Narastanje	3,98	4,80	4,33	0,25
Metoda bodovanja (PB)	14,60	16,57	15,54	0,67
QDA metoda	8,50	14,50	11,56	2,23

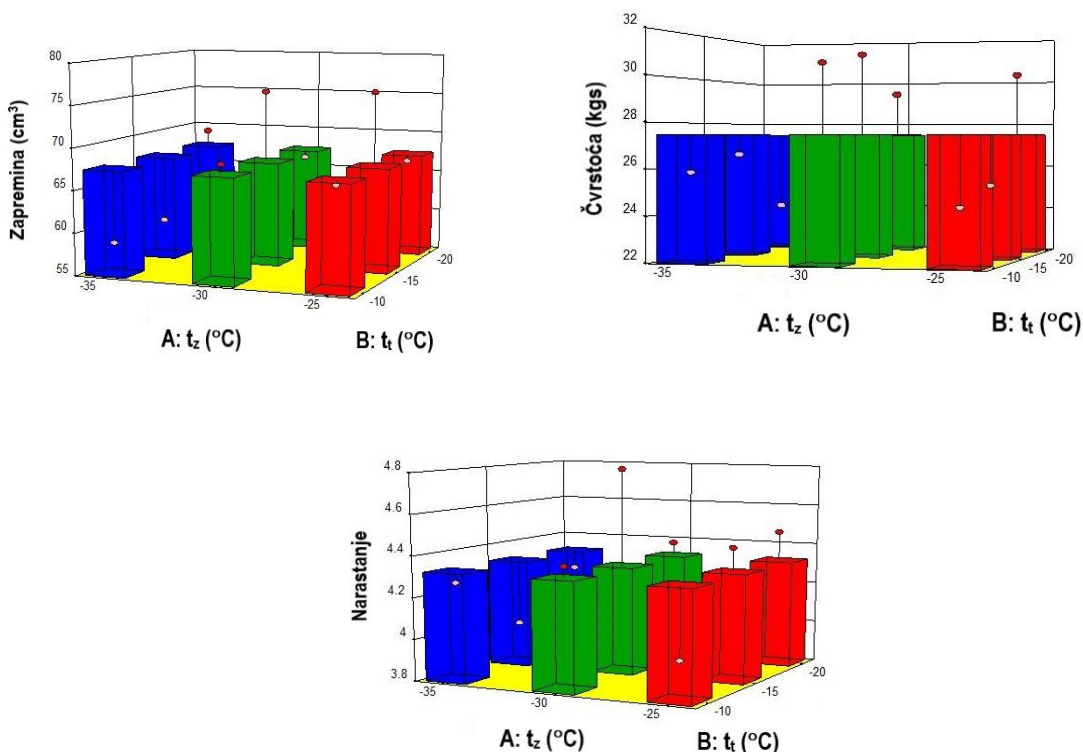
Jačina uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na fizičke parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja ispitana je primenom ANOVE (tabela 5.23). Posmatrajući p vrednost uočava se da na zapreminu peciva statistički značajan uticaj ima temperatura zamrzavanja, a na čvrstoću i narastanje i temperatura zamrzavanja i temperatura u središtu testanog komada. Interakcija ulaznih faktora nema statistički značajan uticaj ($p < 0,05$) ni na jedan fizički parametar kvaliteta lisnatog peciva.

Izražen pozitivan efekat temperature zamrzavanja na zapreminu lisnatog peciva primetan je u intervalu temperature zamrzavanja od -25°C do -30°C do postizanja $t_t -15^{\circ}\text{C}$. Negativan efekat na zapreminu peciva ispoljava se pri temperaturi zamrzavanja -35°C do postizanja temperature testa od -10 do -15°C (slika 5.24). Prema literaturnim podacima (Omedi sar., 2019), očekuje se da se primenom režima šok zamrzavanja stvaraju sitniji kristali leda koji manje oštećuju strukturu zamrznutog testa. Zamrzavanje na temperaturi -35°C nezavisno od temperature

Tabela 5.23 Analiza varijanse (ANOVA) fizičkih parametara kvaliteta lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

Faktori	SS	df	MSE	p
Zapremina (cm³)				
A – t _z (°C)	118,29	2	59,15	0,0456
B – t _t (°C)	50,50	2	25,25	0,3451
AB – interakcija	132,71	4	33,18	0,3145
Čvrstoća (kgs)				
A – t _z (°C)	38,46	2	19,23	0,0281
B – t _t (°C)	1,53	2	0,76	0,0431
AB – interakcija	23,59	4	5,90	0,5342
Narastanje				
A – t _z (°C)	0,20	2	0,098	0,0467
B – t _t (°C)	0,067	2	0,034	0,0448
AB – interakcija	0,24	4	0,060	0,7451

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.



Slika 5.24 Fizički parametri kvaliteta lisnatog peciva u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

postignute u središtu testanog komada izaziva negativan uticaj na čvrstoću peciva, odnosno čvrstoća se smanjuje. Pomenuti efekat je značajan i povoljan s obzirom na pozitivnu korelaciju čvrstoće kao teksturnog parametra i kao senzorskog parametra kvaliteta, koji ima vrlo važnu ulogu u prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača. Najveći pozitivan efekat na narastanje peciva postiže se primenom zamrzavanja na temperaturi -30°C do postizanja u središtu testanih komada -15°C , dok primena niže temperature nezavisno od postignute t_1 ima izrazito negativan efekat jer dovodi do smanjenja narastanja tokom pečenja (slika 5.24).

Rezultati statističke analize jačina uticaja ulaznih faktora (t_z i t_1) i njihovih interakcija na senzorski kvalitet lisnatog peciva metodom bodovanja i QDA metodom nakon trideset dana skladištenja korišćenjem ANOVE prikazani su u tabeli 5.24.

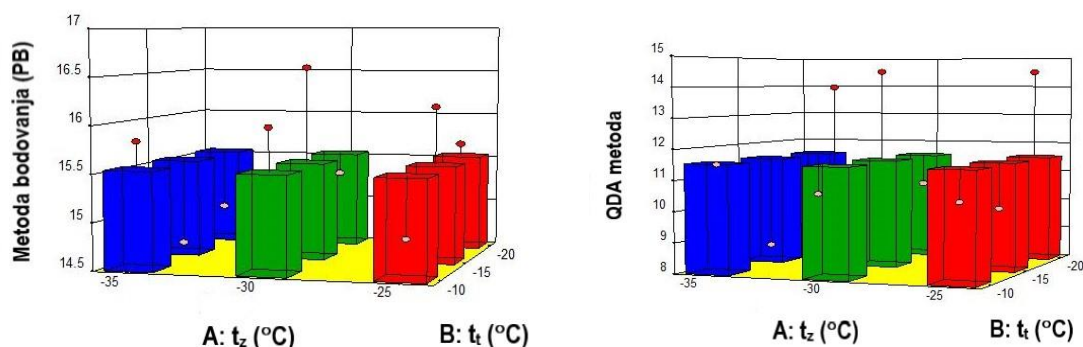
Tabela 5.24 Analiza varijanse (ANOVA) za senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

Izlazne veličine	SS	df	MSE	p
Metoda bodovanja (PB)				
A – t_z ($^{\circ}\text{C}$)	1,11	2	0,55	0,0367
B – t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	0,37	2	0,19	0,0349
AB – interakcija	2,08	4	0,52	0,437
QDA metoda				
A – t_z ($^{\circ}\text{C}$)	13,56	2	6,78	0,0486
B – t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	1,56	2	0,78	0,0487
AB – interakcija	24,61	4	6,15	0,5380

t_z – temperatura zamrzavanja; t_1 – temperatura u središtu testanog komada; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata.

Na osnovu dobijenih p vrednosti evidentno je da t_z i t_1 imaju statistički značajan efekat na rezultate senzorske ocene metodom bodovanja i QDA metodom, dok njihova interakcija nema statistički značajan efekat na posmatrani senzorski kvalitet peciva. Pomenuta zapažanja su usaglašena sa rezultatima statističke analize kvaliteta lisnatog peciva od uzoraka zamrznutog testa skladištenih jedan ili sedam dana (tabele 5.15 i 5.20). Na slici 5.25 se vidi da se najveći efekat na metodu bodovanja postiže na $t_z -30$ i $t_1 -15^{\circ}\text{C}$. Ovaj trend efekata ulaznih veličina se ispoljava i kod QDA metode (slika 5.25), s tim što je najpozitivniji efekat za QDA metodu imala

temperatura zamrzavanja -30°C i temperature od -10 do -15°C u središtu testanog komada.



Slika 5.25 Senzorski kvalitet (metoda bodovanja - PB i kvalitet strukture lisnatog peciva QDA metoda) u zavisnosti od režima zamrzavanja nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

U cilju optimizacije režima zamrzavanja koji će rezultirati najboljim tehnološkim kvalitetom lisnatog testa definisani su ciljevi za svaki fizički i senzorski parametar kvaliteta. Uprkos razlikama u eksperimentalnim vrednostima za zamrznute uzorke testa pri različitom vremenu skladištenja kriterijumi optimizacije su ostali isti (tabela 5.16). Optimizacija je sprovedena tako da su ulazni parametri t_z i t_t bili u opsegu, zapremina, senzorski parametri (metoda bodovanja i QDA metoda) u maksimumu, a čvrstoća u opsegu. Optimalne vrednosti ulaznih parametara i predviđeni odzivi prikazani su u tabeli 5.25.

Na osnovu vrednosti ostvarenja poželjnosti D prikazane u tabeli 5.25, ali sagledavajući i predložena optimizaciona rešenja data u tabelama 5.17 i 5.21 za zamrznuto lisnato test pri kraćem skladištenju odlučeno je da se izvrši verifikacija tri optimizaciona rešenja 1 (OR1), 2 (OR2) i 4 (OR3). U skladu sa literaturnim podacima *Leung i sar. (1984)*, koji ukazuje da je zamrzavanje najbezbedniji način čuvanja pekarskih proizvoda i da se u slučaju potrebe skladištenja lisnatog testa u trajanju do godinu dana preporučuje proces šok zamrzavanja, treće optimizaciono rešenje koje je imalo vrednost D 0,62 nije odabrano za verifikaciju, već naredno rešenje, odnosno režim zamrzavanja na -35°C do postizanja u središtu -20°C čija je ukupna željena funkcija bila nešto niža.

Tabela 5.25 Optimalni režim zamrzavanja i predviđeni odzivi za lisnato pecivo od zamrznutog testa nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa

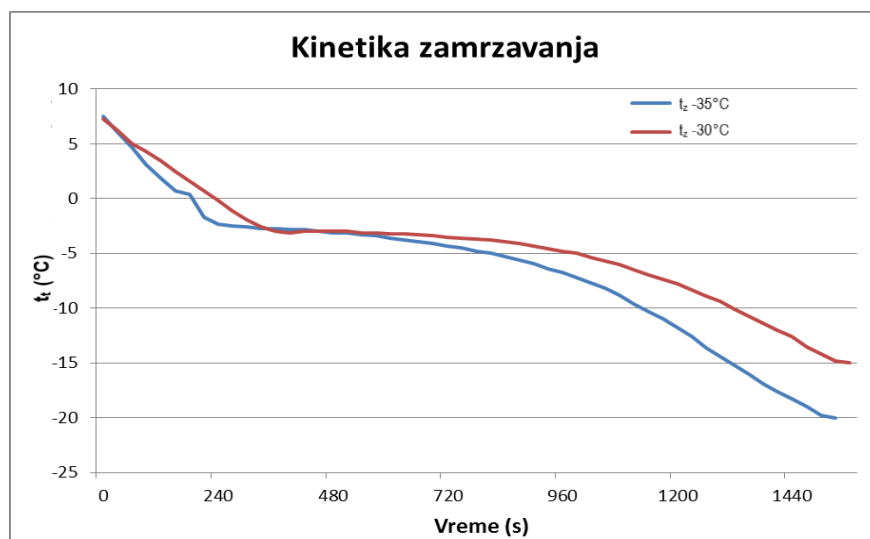
Broj rešenja	t_z (°C)	t_t (°C)	Zapremina (cm ³)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	D
1	-30	-15	70,25	28,09	15,9	13,61	0,73
2	-35	-10	66,60	28,40	16,2	12,61	0,65
3	-25	-20	64,33	30,69	15,9	14,28	0,62
4	-35	-20	74,65	25,58	15,6	11,44	0,59
5	-30	-10	68,74	28,19	15,6	12,11	0,55
6	-25	-15	71,01	25,90	15,9	10,44	0,52
7	-25	-10	67,44	25,83	14,8	9,94	0,23
8	-35	-15	61,52	28,43	14,8	10,61	0,19
9	-30	-20	63,79	26,14	15,2	8,94	0,18

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; D – vrednost ostvarenja poželjnosti (desirability).

5.2.4 VERIFIKACIJA OPTIMIZACIONIH REŠENJA

U cilju verifikacije rezultata optimizacije, uzorci lisnatog testa su zamrznuti primenom tri odabrana optimalna režima (OR1, OR2 i OR3). Tokom zamrzavanja na temperaturama -30 i -35°C praćena je promena temperature od početka zamrzavanja do postizanja optimalnih temperatura u središtu testanog komada t_t u skladu sa dobijenim optimizacionim rešenjima i na bazi dobijenih rezultata definisana je kinetika zamrzavanja (slika 5.26).

Kao što se na osnovu literaturnih podataka moglo pretpostaviti, brzina zamrzavanja testanog komada je najveća na početku procesa zamrzavanja, a pomeranjem granice podele unutar testanog komada se smanjuje (*Kremić, 1989*). Na krivama zamrzavanja uočavaju se zaravnjenja kada u testu započinje formiranje leda odnosno kada granica podele dospe do centra testa. Zamrzavanje testanih komada u zavisnosti od primenjene temperature počinje nakon 4 do 6 minuta od njihovog postavljanja u komoru za zamrzavanje. Zaravnjenja na krivama uočavaju se u temperaturnom intervalu od -2,3 do -4°C u središtu testanih komada, što odgovara literaturnim podacima da se najveći broj kristala leda formira između -1 i -4°C (*Omedi i sar., 2019*).



Slika 5.26 Kinetika zamrzavanja lisnatog peciva na optimalnim t_z

Na osnovu jednačine (4.4) koju su dali Ban i sar. (2016) izračunata je brzina zamrzavanja za sva tri optimalna rešenja. Na osnovu prikazanih rezultata u tabeli 5.26 uočava se da postoje razlike između različitih režima i da je brzina zamrzavanja na temperaturi -35°C veća nego na -30°C . U skladu sa literaturnim podacima Silvas-García (2014) i Omedi i sar. (2019) očekivalo se da će zbog veće brzine zamrzavanja lisnato testo zamrznuto na -35°C imati manje narušenu strukturu, što će na kraju rezultirati i boljim kvalitetom lisnatog peciva.

Tabela 5.26 Brzina zamrzavanja pri optimalnim režimima zamrzavanja

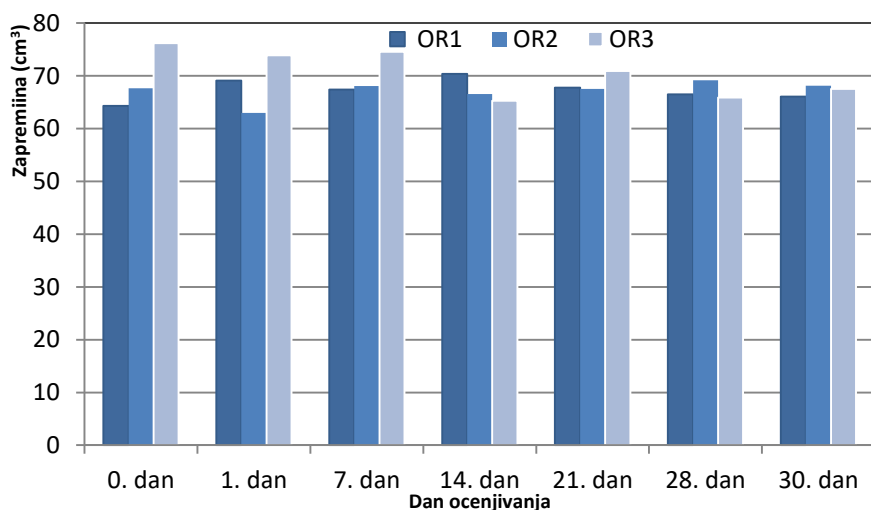
Režim	t_t (°C)	t_i (°C)	$t_t - t_i$ (°C)	Δt (min)	BZ (°C/min)
OR1 (-30°C do -15°C)	-15	7	-22	25,58	-0,86
OR2 (-35°C do -10°C)	-10	7	-17	19,00	-0,89
OR3 (-35°C do -20°C)	-20	7	-27	25,17	-1,07

t_t – konačna (terminalna) temperatura testa odnosno temperatura u središtu testanog komada; t_i – početna inicijalna temperatura testa; Δt - vreme potrebno da se temperatura spusti sa t_t do t_i ; BZ - brzina zamrzavanja.

U cilju potvrde pomenute pretpostavke ispitan je kvalitet lisnatog peciva od zamrznutih uzoraka testa neposredno nakon zamrzavanja (nulti dan), kao i nakon 1, 7, 14, 21, 28 i 30 dana skladištenja. Rezultati određivanja fizičkih i senzorskih parametara lisnatog peciva prikazani su u tabeli 5.27 i 5.28, prilogu P8 i na slikama 5.27-5.28.

Vrednosti zapremine lisnatog peciva su nezavisno od primenjenog optimalnog režima i perioda skladištenja bile u intervalu od 63 do 76 cm³ (slika 5.27). Minimalna zapremina peciva dobijena je kod uzorka zamrznutog testa na -35°C do t_t -10°C (OR2) koji nije skladišten (nulti dan), a maksimalna kod uzorka kod koga je primenjen t_z -35°C i t_t -20°C (OR3) nakon jednog dana skladištenja na -18°C. Generalno se može uočiti da su promene zapremine peciva u zavisnosti od dužine skladištenja najveće kod primenjenog OR3 režima (t_z -35°C i t_t -20°C). Zapremina peciva je u pomenutom slučaju nakon 30 dana skladištenja smanjena za skoro 10% u odnosu na pecivo dobijeno od zamrznutog testa koje nije skladišteno na -18°C.

Narastanje peciva (tabela 5.27) tokom ispitivanog perioda skladištenja zamrznutog lisnatog testa uglavnom se nije značajno menjalo. Međutim, izuzetak je pecivo od zamrznutog testa kod koga je primenjen OR1 (t_z -30°C do t_t -15°C). Pri pečenju pomenutog uzorka neposredno nakon zamrzavanja, odnosno nakon 7 i 21 dan skladištenja narastanje je bilo neznatno ispod 4.



Slika 5.27 Zapremina lisnatog peciva u zavisnosti od primenjenog optimalnog režima zamrzavanja (OR1 t_z -30°C do t_t -15°C; OR2 t_z -35°C do t_t -10°C; OR3 t_z -35°C do t_t -20°C) i vremena skladištenja zamrznutog testa

Najveća vrednost narastanja postignuta je primenom OR2 (t_z -35°C do t_t -10°C) nakon jedan dan skladištenja na -18°C (4,91). Lisnato pecivo od pomenutog uzorka je uglavnom, nezavisno od dužine skladištenja, imalo maksimalno narastanje. Što se tiče vremena skladištenja na tehnološki kvalitet lisnatog testa najveći

negativan efekat zabeležen je kod uzoraka koji su skladišteni sedam dana na -18°C . Dobijeni rezultati su usaglašeni sa literaturnim podacima Dodić (2007), da je optimalan period skladištenja zamrznutog kvasnog testa sedam dana.

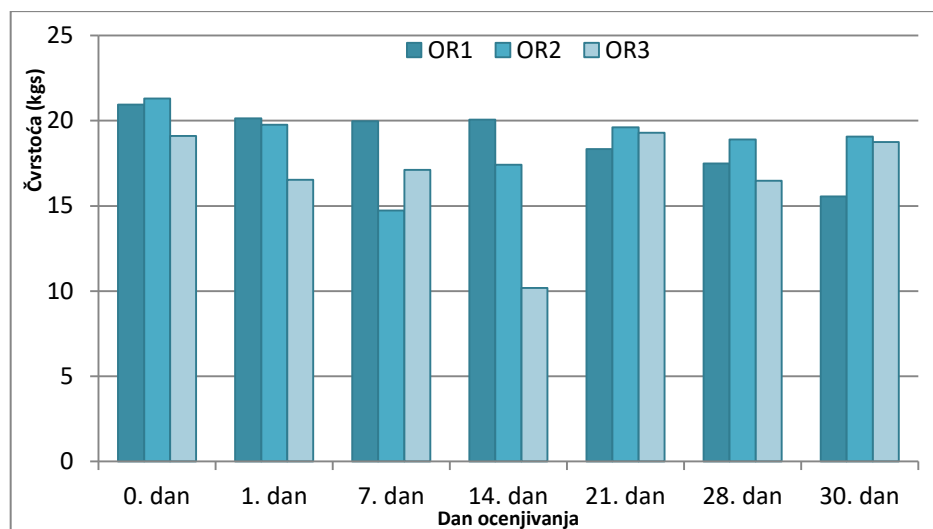
Eliptičnost uzoraka peciva (tabela 5.27) bila je najmanja kod uzoraka koji nakon zamrzavanja nisu skladišteni, međutim, odlaganje faze pečenja nakon zamrzavanja testa je dovelo do većih deformacija u obliku peciva. Promene vrednosti eliptičnosti u celini su bile najmanje kod lisnatog peciva od testa koje je zamrznuto pri OR1 ($t_z -30^{\circ}\text{C}$ do $t_t -15^{\circ}\text{C}$). Vrednosti skupljanja su bile veće kod uzoraka koji su zamrznuti na -35°C (OR2 i OR3), što je naročito bilo izraženo kod testa koje nakon zamrzavanja nije skladišteno. Međutim, nakon trideset dana skladištenja kod istih uzoraka tokom pečenja skupljanje testanih komada je bilo manje intezivno. U skladu sa rezultatima eliptičnosti, do najmanjeg skupljanja, nezavisno od vremena skladištenja, došlo je kod uzorka koji je zamrznut na OR1 ($t_z -30^{\circ}\text{C}$ do $t_t -15^{\circ}\text{C}$).

Najveće promene u zavisnosti od dužine skladištenja zamrznutog testa desile su se u teksturi peciva, jer je čvrstoća lisnatog peciva bila u granicama od 15 do 19 kgs. Važno je istaći da su kod pomenutog fizičkog parametra kvaliteta peciva primetne i razlike među uzorcima koji su zamrznuti pri različitim optimalnim režimima, a skladišteni isto vreme (slika 5.28, prilog P8). Promene čvrstoće peciva od zamrznutih uzoraka testa pri OR1 su bile minimalne do 21 dan skladištenja. Duže skladištenje je kod pomenutog uzorka imalo pozitivan uticaj na čvrstoću. Takođe se može uočiti da su značajne promene u čvrstoći peciva nastale u slučaju primene temperature zamrzavanja -35°C (OR2 i OR3) i skladištenja 14, odnosno 21 dan. Maksimalnu čvrstoću 21,3 kgs imao je uzorak peciva od zamrznutog testa na OR2 kod koga nije primenjeno skladištenje. Nakon skladištenja od 30 dana čvrstoća pomenutog uzorka se smanjila za 10,5%, ali je i dalje bila veća u odnosu na uzorke od zamrzavanog testa pri režimima OR1 i OR3.

Tabela 5.27 Fizički parametri kvaliteta lisnatog peciva u zavisnosti od primenjenog optimalnog režima i dužine skladištenja

Režim	t_z (°C)	t_t (°C)	Narastanje	Eliptičnost	Skupljanje
0 dana skladištenja					
OR1	-30	-15	3,98	1,09	0,09
OR2	-35	-10	4,55	0,96	0,15
OR3	-35	-20	4,51	1,03	0,15
1 dan skladištenja					
OR1	-30	-15	4,62	1,09	0,09
OR2	-35	-10	4,91	1,11	0,10
OR3	-35	-20	4,49	1,06	0,13
7 dana skladištenja					
OR1	-30	-15	3,98	1,05	0,1
OR2	-35	-10	4,05	1,07	0,12
OR3	-35	-20	4,41	1,09	0,14
14 dana skladištenja					
OR1	-30	-15	4,84	1,06	0,10
OR2	-35	-10	4,44	1,09	0,14
OR3	-35	-20	4,35	1,08	0,12
21 dan skladištenja					
OR1	-30	-15	3,97	1,05	0,08
OR2	-35	-10	4,24	1,1	0,12
OR3	-35	-20	4,56	1,1	0,12
28 dana skladištenja					
OR1	-30	-15	4,31	1,06	0,09
OR2	-35	-10	4,41	1,08	0,13
OR3	-35	-20	4,07	1,08	0,13
30 dana skladištenja					
OR1	-30	-15	4,30	1,09	0,06
OR2	-35	-10	4,78	1,08	0,13
OR3	-35	-20	4,42	1,1	0,09

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; OR1 t_z -30°C do t_t -15°C; OR2 t_z -35°C do t_t -10°C; OR3 t_z -35°C do t_t -20°C



Slika 5.28 Čvrstoća lisnatog peciva u zavisnosti od primenjenog optimalnog režima zamrzavanja (OR1 t_z -30°C do t_t -15°C; OR2 t_z -35°C do t_t -10°C; OR3 t_z -35°C do t_t -20°C) i dužine skladištenja

Senzorske ocene uzoraka (tabela 5.28) generalno su manje nakon trideset dana skladištenja nego nulti dan. Na osnovu rezultata senzorske ocene kvaliteta lisnatog peciva (tabela 5.28) može se uočiti da režim zamrzavanja nema značajan uticaj kod zamrznutih uzoraka testa koji nisu skladišteni i koji su nakon zamrzavanja skladišteni jedan dan. Ukupan broj ponderisanih bodova je za sva tri primenjena optimalna režima iznad 16,0 što odgovara kategoriji senzorskog kvaliteta vrlo dobar. Kod primenjenog OR3 za zamrzavanje testa čak je postignut visok kvalitet strukture lisnatog peciva, što potvrđuje ukupan zbir ocena pojedinačnih parametara (listanje, ravnomernost listanja, debljina slojeva, veličina pora, ujednačenost boje) od 14,5. Uzorak lisnatog peciva dobijen od uzorka testa kod koga je primenjen režim zamrzavanja OR2 je i nakon 14 dana skladištenja imao vrlo dobar senzorski kvalitet, kao i kvalitet strukture, dok su drugi optimalni režimi zamrzavanja (OR1 i OR3) nakon sedam i četrnaest dana skladištenja doveli do promene kategorije kvaliteta u dobar. U skladu sa literaturnim podacima (Bárcenas i sar. 2003) da su promene u zamrznutom testu izraženije nakon sedam dana, može se pretpostaviti da se pri režimu zamrzavanja na -35°C do postizanja -10°C u središtu testa najmanje narušava struktura lisnatog testa, tokom zamrzavanja formiraju najsitniji kristali i da je povećanje kristala tokom skladištenja minimalno. U prilog pomenutoj pretpostavki ide

i činjenica da je kod pomenutog uzorka lisnatog testa tehnološki kvalitet tokom trideset dana skladištenja na -18°C ostao očuvan i da je kvalitet peciva ostao stabilan, vrlo dobra kategorija kvaliteta i QDA ocena uglavnom iznad 12,0. Jedino je nakon 21 dan skladištenja zamrznutog testa došlo do pogoršanja senzorskog kvaliteta peciva. Broj ponderisanih bodova je bio 15,5 što je u intervalu vrednosti koji definiše kategoriju kvaliteta dobar, ali su pojedinačni parametri kvaliteta strukture ostali očuvani što je rezultiralo relativno visokom QDA ocenom 12,5. Kod uzoraka kod kojih su primenjeni optimalni režimi zamrzavanja OR1 i OR3 zabeleženo je pogoršanje senzorskog kvaliteta lisnatog peciva već posle sedam dana skladištenja. Ukupan broj ponderisanih bodova kod najvećeg broja ispitivanih uzoraka je bio ispod 15,7 što pripada kategoriji kvaliteta dobar, a zbir ocena za parametar strukture po QDA metodi je bio ispod 12,0. Izuzetak predstavlja uzorak peciva kod koga je primenjen režim zamrzavanja OR1 ($t_z -30^{\circ}\text{C}$ do $t_t -15^{\circ}\text{C}$) nakon 28 dana skladištenja. Kod pomenutog uzorka došlo je poboljšanja senzorskog kvaliteta peciva u celini, što potvrđuje i promena kategorije kvaliteta iz dobar u vrlo dobar. Međutim, treba istaći da je ostvareni broj ponderisanih bodova ipak na donjoj granici intervala koji definiše kategoriju kvaliteta vrlo dobar (15,7-17,8). Što se tiče kvaliteta sredine može se uočiti da su QDA ocene u zavisnosti od primenjenog režima zamrzavanja i dužine skladištenja bile u širem intervalu od 8,5 do 14,5. Najveće promene u kvalitetu sredine uočene su kod uzorka kod koga je primenjen režim zamrzavanja OR3 (slika 5.29).



Slika 5.29 Kvalitet lisnatog peciva pri primenjenom optimalnom režimu zamrzavanja OR3 ($t_z -35^{\circ}\text{C}$ do $t_t -20^{\circ}\text{C}$) tokom skladištenja

Lisnato pecivo od zamrznutog uzorka u režimu OR3 koje nije skladišteno imalo je najbolji kvalitet sredine i maksimalnu QDA ocenu 14,5. Nakon sedam dana skladištenja došlo je do najintenzivnijih promena u samom lisnatom testu, QDA ocena

snižena je za čak 40% (tabela 5.28).

Tabela 5.28 Senzorski kvalitet lisnatog peciva u zavisnosti od primenjenog optimalnog režima zamrzavanja i dužine skladištenja

Režim	t_z (°C)	t_t (°C)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
0 dana skladištenja				
OR1	-30	-15	16,2 – vrlo dobar	13,0
OR2	-35	-10	16,4 – vrlo dobar	12,5
OR3	-35	-20	16,8 – vrlo dobar	14,5
1 dan skladištenja				
OR1	-30	-15	16,2 – vrlo dobar	12,5
OR2	-35	-10	16,6 – vrlo dobar	13,0
OR3	-35	-20	16,6 – vrlo dobar	13,0
7 dana skladištenja				
OR1	-30	-15	15,5 - dobar	10,0
OR2	-35	-10	16,2 - vr.dobar	11,0
OR3	-35	-20	15,1 - dobar	8,5
14 dana skladištenja				
OR1	-30	-15	15,3 - dobar	10,0
OR2	-35	-10	16,2 - vr.dobar	12,0
OR3	-35	-20	15,6 - dobar	11,5
21 dan skladištenja				
OR1	-30	-15	14,6 - dobar	10,5
OR2	-35	-10	15,5 - dobar	12,5
OR3	-35	-20	15,4 - dobar	12,0
28 dana skladištenja				
OR1	-30	-15	15,8 - vr.dobar	12,0
OR2	-35	-10	16,0 - vr.dobar	13,5
OR3	-35	-20	15,3 - dobar	10,5
30 dana skladištenja				
OR1	-30	-15	15,3 - dobar	11,0
OR2	-35	-10	16,2 - vr. dobar	12,5
OR3	-35	-20	15,1 - dobar	11,0

t_z – temperatura zamrzavanja; t_t – temperatura u središtu testanog komada; OR1 t_z -30°C do t_t -15°C; OR2 t_z -35°C do t_t -10°C; OR3 t_z -35°C do t_t -20°C; PB – ponderisani bodovi (min 5, max 20); QDA (min 0, max 15).

Sagledavajući dobijene rezultate evidentno je da je nakon sedam dana skladištenja, nezavisno od primenjenog režima skladištenja, kod svih uzoraka došlo do pogoršanja kvaliteta. Ovi rezultati potvrđuju objavljena istraživanja koja se odnose na zamrzavanje i praćenje kvaliteta zamrznutog hlebnog testa nakon sedam i više dana skladištenja (Inoue i sar., 1994; Ribotta i sar., 2001; Bárcenas i sar., 2003;

Dodić, 2007). Pri optimalnom režimu zamrzavanja OR2 postignut je najbolji tehnološki kvalitet lisnatog testa, što je rezultiralo i najboljim kvalitetom peciva u celini i najmanjim promenama tokom skladištenja (slika 5.30).



Slika 5.30 Kvalitet lisnatog peciva pri primenjenom optimalnom režimu zamrzavanja OR2 (t_z -35°C do t_t -10°C) tokom skladištenja

Nakon trideset dana skladištenja pomenuti uzorak lisnatog peciva imao je zapreminu oko 84 cm³, čvrstoću ispod 35 kgs, narastanje 4,27 i vrlo dobar senzorski kvalitet. Broj ponderisanih bodova je bio 16,6 zahvaljujući povezanoj kori, neznatno izmenjenoj boji i obliku, slojevitoj strukturi i ravnomernom listanju, sitnim porama i ujednačenoj boji sredine. Miris je bio svojstven i delimično aromatičan, a ukus prijatan i svojstven, dok je topivost bila dobra.

5.2.5 KINETIKA PROMENE KVALITETA LISNATOG PECIVA U ZAVISNOSTI OD REŽIMA ZAMRZAVANJA I SKLADIŠTENJA 30 DANA

U cilju sagledavanja razlika između tri optimalna režima zamrzavanja: OR1 (t_z -30°C do t_t -15°C), OR2 (t_z -35°C do t_t -10°C) i OR3 (t_z -35°C do t_t -20°C) korišćen je Avramijev nelinearni model za modelovanje kinetike promene zapremine i senzorskih svojstava lisnatog peciva. Avramijev model se u početku koristio za modelovanje rekristalizacije amilopektina, ali se kasnije ispostavilo da je model koristan za opisivanje kinetike starenja, mnogo kompleksnijeg fenomena pri kome se pored migracije vlage odigrava i rekristalizacija skroba (Angioloni, Collar, 2009). Takođe treba istaći da se modelovanje po Avramiju najčešće koristi za definisanje promena teksturnih svojstava (tvrdoće, elastičnosti, kohezivnosti) sredine pekarskih proizvoda tokom starenja, koja se mogu direktno i indirektno povezati sa retrogradacijom skroba. Međutim, teksturni parametar čvrstoća lisnatog peciva, čija je promena

praćena u okviru ove disertacije, pokazao se manje adekvatnim za opisivanje tendencije kvalitetnih promena lisnatog peciva koje nastaju kao posledica zamrzavanja. Pretpostavlja se da je nemogućnost primene Avramijevog modela posledica specifične i značajno različite strukture lisnatog peciva u odnosu na sredinu hleba ili drugih vrsta peciva. Struktura lisnatog peciva je slojevita sa najčešće manje homogenim svojstvima po preseku (različito razlistavanje, različita debljina slojeva testa i veličina pora), što može uticati na varijabilnost rezultata merenja sile potrebne za sečenje lisnatog peciva kao indirektnog pokazatelja čvrstoće.

Na samom početku je utvrđeno da režim OR1 ne podleže fitovanju po Avramijevoj funkciji. Dobijeni kinetički parametri k , n i $t_{1/2}$ za optimalne režime OR2 i OR3 (tabela 5.29) ukazuju na manju brzinu pogoršanja kvalitativnih parametara (zapremina i senzorska svojstva) lisnatog peciva kada se zamrzavanje lisnatog testa na -35°C odvija do $t_f -10^{\circ}\text{C}$ u središtu testanih komada. Pomenuta zapažanja potvrđuju veće vrednosti poluvremena promena $t_{1/2}$ kod primenjenog režima OR2 u odnosu na OR3.

Tabela 5.29 Uticaj režima zamrzavanja i dužine skladištenja zamrznutog testa na kinetiku promene kvaliteta lisnatog peciva po Avramiju

Parametri modela	Zapremina (cm^3)		Metoda bodovanja (PB)		QDA metoda	
	OR2	OR3	OR2	OR3	OR2	OR3
n	2,55	1,90	0,83	1,11	0,70	0,51
k (merna jed. ⁻ⁿ)	0,0002	0,0005	0,0678	0,0615	0,0108	0,4124
$t_{1/2}$ (dan)	23,85	13,64	16,67	8,89	14,04	2,77
R^2	0,58	0,97	0,63	0,99	0,67	0,97

t_z – temperatura zamrzavanja; t_f – temperatura u središtu testanog komada; OR2 - $t_z -35^{\circ}\text{C}$ do $t_f -10^{\circ}\text{C}$; OR3 - $t_z -35^{\circ}\text{C}$ do $t_f -20^{\circ}\text{C}$; n , K – konstante, $t_{1/2}$ – poluvreme promena, R^2 – koeficijent determinacije.

Parametar $t_{1/2}$ ukazuje koliko se dugo zamrznuto testo može skladištiti bez promene tehnološkog kvaliteta, a samim tim i bez promene fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta lisnatog peciva. Parametar $t_{1/2}$ je i za zapreminu i za broj ponderisanih bodova ostvarenih metodom bodovanja 1,7 puta veći kod primenjenog režima zamrzavanja OR2 u odnosu na OR3. Takođe i pet puta veća vrednost parametra $t_{1/2}$ za QDA metodu ukazuje da se promene kvaliteta sredine lisnatog peciva značajno kasnije dešavaju pri zamrzavanju testa do -10°C u središtu.

Relativno visoke vrednosti koeficijenta determinacije od 0,58 do 0,67 za optimalni režim OR2, i vrlo visoke od 0,97 do 0,99 za OR3 potvrđuju pouzdanost modelovanja kinetike promene zapremine i senzorskog kvaliteta lisnatog peciva po Avramiju.

Budući da se promene zapremine i senzorskog kvaliteta lisnatog peciva pri primenjenom režimu zamrzavanja OR2 dešavaju znatno kasnije u odnosu na primenjeni režim OR3, evidentno je da je modelovanje po Avramiju potvrdilo da je optimalni režim zamrzavanja u III fazi istraživanja t_z -35°C do t_t -10°C.

5.3 OPTIMIZACIJA SASTAVA FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA OBOGAĆENOG VLAKNIMA ŠEĆERNE REPE I ČIJA SEMENOM

U cilju određivanja pozitivnog efekta funkcionalnih dodataka izraženih hidratacionih svojstava na smanjenje negativnih efekata zamrzavanja testa u III fazi istraživanja određena je optimalna količina vlakana šećerne repe i čija semena. Pored vlakana šećerne repe i čija semena kao treća nezavisno promenljiva po planu eksperimenta korišćen je i hidrokolid ksantan guma (tabela 4.5). U ovoj fazi primenjen je optimalan režim zamrzavanja testa (t_z -30°C do t_t -10°C).

Budući da je cilj disertacije bio da se ispita efekat šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva obogaćenog funkcionalnim dodacima, praćene su promene fizičkih i senzorskih parametara nakon pečenja zamrznutog u odnosu na nezamrznuto testo (nulti dan). Kao relevantni zavisni fizički parametri ispitivani su žilavost i rastegljivost testa, kao i zapremina, čvrstoća, narastanje, skupljanje i eliptičnost peciva. Senzorski kvalitet funkcionalnog lisnatog peciva definisan je na osnovu ocene spoljnog izgleda, strukture sredine, mirisa i ukusa.

5.3.1 FIZIČKE OSOBINE LISNATOG TESTA

Rezultati određivanja žilavosti, rastegljivosti i lepljivosti lisnatog testa prikazani su u tabeli 5.30. Dobijene vrednosti žilavosti testa su u širokom rasponu od 197,98 do 403,09 g, pri čemu je najmanju žilavost imao uzorak bez čija semena sa maksimalnom količinom vlakana šećerne repe, i 0,25% ksantan gume, dok je najveću vrednost imao uzorak sa 10% vlakana šećerne repe, 6% čija semena i 0,25% ksantan gume. Kod najvećeg broja uzoraka žilavost je bila značajno ispod preporučenog optimalnog intervala 380-410 g u istraživanju Šoronja Simović (2009). Ako se izuzmu uzorci III-1, III-4 i III-15, identičnog sirovinskog sastava po eksperimentalnom planu, dobijene vrednosti žilavosti su statistički značajno različite ($p < 0,05$). Na osnovu analize uzoraka III-6 i III-14 uočava se da dodatak vlakana šećerne repe smanjuje žilavost testa za 35%, odnosno skoro 50% u odnosu na uzorak III-9 koji od nezavisno promenljivih sadrži samo 0,25% ksantana. Primetno je i da povećanje količine vlakana sa 5% (uzorak III-6) na 10% (uzorak III-14) uzrokuje statistički značajne promene žilavosti ($p < 0,05$). Upoređujući uzorke sa maksimalnom količinom čija semena (III-2, III-3, III-8 i III-11) uočava se, da najveću vrednost žilavosti ima uzorak sa dodatkom 10% vlakana šećerne repe, 6% čija semena i 0,25% ksantana (III-2), a najmanju sa dodatkom 5% vlakana šećerne repe, 6% čija semena i 0,5% ksantana (III-8). Sa dodatkom 6% čija semena, posmatrajući uzorke sa 5% vlakana šećerne repe i 0,5% ksantan gume (III-6 i III-8), žilavost je veća za 10%. Isti trend je prisutan kod uzoraka III-2 i III-14 sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantan gume, gde je sa dodatkom 6% čija semena žilavost dvostruko veća. Generalno je uočeno da čija semena, naročito pri većem udelu vlakana šećerne repe u sirovinskom sastavu testa, dovodi do povećanja žilavost testa. Budući da je u istraživanjima Šoronja Simović (2009) potvrđeno da je za postizanje dobrog kvaliteta lisnatog peciva poželjno da žilavost testa bude u granicama od 380 do 400 g, uzorci III-2 i III-9 su sa aspekta žilavosti optimalnog sastava (tabela 5.30).

Vrednosti rastegljivosti testa (tabela 5.30) su u relativno užem intervalu od 33,47 do 38,59 mm, što je uticalo na manji broj uzoraka sa statistički značajno

Tabela 5.30 Fizičke osobine lisnatog testa sa funkcionalnim dodacima

Uzorak	Nezavisno promenljive			Zavisno promenljive		
	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Žilavost (g)	Rastegljivost (mm)	Lepljivost (g)
III-1	5	3	0,25	250,80 ± 6,75 ^{bc}	35,64 ± 1,17 ^{cde}	21,24 ± 1,58 ^{bcd}
III-2	10	6	0,25	403,09 ± 12,57 ^h	37,42 ± 3,11 ^{gh}	19,50 ± 1,15 ^{bc}
III-3	5	6	0	304,13 ± 18,05 ^{def}	37,27 ± 2,43 ^{fgh}	15,34 ± 1,13 ^a
III-4	5	3	0,25	248,10 ± 9,98 ^{bc}	35,42 ± 1,28 ^{bcd}	21,25 ± 1,12 ^{bcd}
III-5	0	3	0	314,48 ± 15,21 ^{ef}	38,22 ± 2,45 ^h	24,50 ± 1,99 ^{ef}
III-6	5	0	0,5	245,05 ± 10,26 ^{bc}	35,76 ± 1,95 ^{cdef}	18,25 ± 1,40 ^{ab}
III-7	0	3	0,5	336,74 ± 11,27 ^{fg}	37,78 ± 1,09 ^{gh}	19,90 ± 1,09 ^{bc}
III-8	5	6	0,5	262,75 ± 12,08 ^{cd}	36,47 ± 0,89 ^{defg}	20,65 ± 1,20 ^{bc}
III-9	0	0	0,25	389,21 ± 16,97 ^h	38,58 ± 2,65 ^h	24,09 ± 0,57 ^{def}
III-10	10	3	0,5	239,37 ± 14,14 ^{bc}	34,77 ± 1,40 ^{abc}	21,79 ± 0,81 ^{cde}
III-11	0	6	0,25	364,98 ± 22,19 ^{gh}	37,86 ± 2,06 ^{gh}	25,08 ± 1,66 ^f
III-12	10	3	0	221,75 ± 17,65 ^{ab}	33,47 ± 1,08 ^a	15,67 ± 0,74 ^a
III-13	5	0	0	293,90 ± 22,13 ^{de}	35,09 ± 0,96 ^{bcd}	20,29 ± 1,47 ^{bc}
III-14	10	0	0,25	197,98 ± 24,15 ^a	34,04 ± 0,94 ^{ab}	18,45 ± 1,01 ^{ab}
III-15	5	3	0,25	252,61 ± 17,87 ^{bc}	37,09 ± 2,33 ^{efgh}	21,14 ± 1,22 ^{bcd}

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne (p < 0,05).

različitim vrednostima ovog parametra. Uzorak sa 10% vlakana šećerne repe, 3% čija semena i 0,25% ksantana (III-12) koji je imao najmanju žilavost imao je i najmanju rastegljivost. Na osnovu promene vrednosti rastegljivosti kod uzorka III-10 u odnosu na III-7 može se zapaziti da dodatak vlakana šećerne repe povećava rastegljivost testa. Kod uzoraka sa identičnom količinom vlakana šećerne repe (10%) i ksantan gume 0,25% (III-2 i III-14) uočava se da povećanje količine čija semena sa 3% na 6% dovodi do blagog, ali statistički značajnog povećanja rastegljivosti (p < 0,05). Kod uzoraka sa maksimalnim sadržajem čija semena (III-2, III-3, III-8 i III-11) vrednost rastegljivosti je najveća kod uzorka bez vlakana šećerne repe. Sa druge strane, kod uzoraka koji pored čije sadrže i 5% vlakana šećerne repe rastegljivost, kao i žilavost, je manja kod uzorka sa većim sadržajem ksantan gume. Kao i kod žilavosti, dodatkom čija semena povećava se rastegljivost testa, dok dodatak ksantana ne

uzrokuje statistički značajne promene pomenutog fizičkog pokazatelja (uzorci III-6 i III-13). Na osnovu rezultata istraživanja Šoronja Simović (2009) utvrđeno je da je optimalna rastegljivost lisnatog testa u najvećoj meri uslovljena osobinama margarina, pre svega sadržajem čvrstih triglicerida (SFC).

Takođe je u pomenutom istraživanju zaključeno da je pri primeni margarina sa visokim sadržajem SFC neophodno obezbediti da rastegljivost testa nakon finalnog laminiranja bude 40 mm. Budući da je SFC margarina za laminiranje korišćenog u ovom istraživanju bio visok i na nivou vrednosti najboljih uzoraka margarina ispitivanih u istraživanju Pajin i sar. (2011), pretpostavilo se da će se od testa veće rastegljivosti dobiti i bolji kvalitet lisnatog peciva. Na osnovu dobijenih rezultata prikazanih u tabeli 5.38 i preporuka iz literature (Šoronja Simović, 2009; Pajin i sar., 2011) uočava se da nijedan uzorak nije imao rastegljivost 40 mm, međutim, kod uzoraka III-5, III-9 i III-11 dobijene vrednosti pomenutog parametra su oko 38 mm, odnosno vrlo blizu.

Na osnovu dobijenih vrednosti za lepljivost testa ne može se uočiti prisustvo određenog trenda koji bi mogao objasniti uticaj nezavisno promenljivih. Vrednosti su u intervalu od 15,34 g do 25,08 g. Uzorak testa III-3 bez ksantana, sa 5% vlakana šećerne repe i 6% čija semena imao je minimalnu lepljivost, dok je uzorak III-11 bez čija semena, sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana imao maksimalnu vrednost pomenutog fizičkog parametra. Lepljivost uzoraka III-1, III-4 i III-15 identičnog sirovinskog sastava, ponovljenih po eksperimentalnom planu, gotovo je identična (tabela 5.30). Interesantno je da povećanje količine vlakana (uzorci III-6 i III-14) ne uzrokuje statistički značajne promene lepljivosti, dok su parametri žilavost i rastegljivost pomenutih uzoraka bili statistički značajno različiti. Takođe se može uočiti da kod većine uzoraka povećanje količine čija semena i ksantana povećava lepljivost. Pretpostavlja se da odsustvo pravilnosti u promenama lepljivosti sa promenom količine funkcionalnih dodataka može biti posledica složenih interakcija između nezavisno promenljivih.

Nedostatak literaturnih podataka vezanih za lisnato pecivo, a naročito parametra koji definišu kvalitet lisnatog testa, svakako otežava analizu dobijenih rezultata u okviru ove disertacije. Međutim, budući da je utvrđeno da su uzorci III-5, III-9 i III-11 imali žilavost i rastegljivost blisku preporučenim vrednostima u

istraživanjima Šoronja Simović (2009), može se pretpostaviti da je i njihova lepljivost optimalna. Na osnovu prezentovanih rezultata u tabeli 5.30 veruje se da je optimalna lepljivost lisnatog testa oko 25 g.

5.3.2 KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA

Rezultati određivanja fizičkih parametara kvaliteta peciva u zavisnosti od količina funkcionalnih dodataka dati su u tabeli 5.31 i prilogu P9 i P9/I. Na osnovu prezentovanih rezultata može se uočiti da sirovinski sastav značajno utiče na narastanje jer su između uzoraka potvrđene značajne statističke razlike ($p < 0,05$). Vrednosti pomenutog fizičkog parametra su u širokom intervalu od 2,17 do 6,02. Najmanje narastanje imao je uzorak III-14 bez čija semena, sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana, dok je najveća vrednost dobijena kod peciva koje sadrži samo 0,25% ksantana (III-9).

Tabela 5.31 Fizičke osobine lisnatog peciva sa funkcionalnim dodacima

Uzorak	Nezavisno promenljive			Zavisno promenljive		
	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Narastanje	Specifična zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)
III-1	5	3	0,25	3,23 ± 0,46 ^{bcd}	3,17 ± 0,45 ^d	20,06 ± 4,58f
III-2	10	6	0,25	2,69 ± 0,11 ^{ab}	2,11 ± 0,08 ^a	16,03 ± 2,13cdef
III-3	5	6	0	3,21 ± 0,11 ^{bcd}	2,78 ± 0,12 ^{bcd}	29,37 ± 2,45g
III-4	5	3	0,25	2,82 ± 0,13 ^b	2,50 ± 0,16 ^{abc}	9,99 ± 1,42abcd
III-5	0	3	0	4,91 ± 0,23 ^f	3,91 ± 0,25 ^{ef}	15,38 ± 1,36cdef
III-6	5	0	0,5	3,54 ± 0,19 ^d	2,82 ± 0,17 ^{bcd}	11,19 ± 1,43bcde
III-7	0	3	0,5	5,66 ± 0,30 ^g	4,40 ± 0,37 ^f	16,06 ± 2,39cdef
III-8	5	6	0,5	3,43 ± 0,13 ^{cd}	3,15 ± 0,12 ^{cd}	19,16 ± 1,84ef
III-9	0	0	0,25	6,02 ± 0,45 ^g	5,15 ± 0,64 ^g	18,40 ± 8,59def
III-10	10	3	0,5	2,89 ± 0,05 ^{bc}	2,40 ± 0,07 ^{ab}	7,61 ± 1,45abd
III-11	0	6	0,25	4,82 ± 0,26 ^{ef}	4,01 ± 0,32 ^{ef}	14,62 ± 6,87cdef
III-12	10	3	0	2,83 ± 0,06 ^b	2,30 ± 0,06 ^{ab}	4,62 ± 0,60ab
III-13	5	0	0	4,32 ± 0,25 ^e	3,35 ± 0,07 ^{de}	12,24 ± 2,82bcdef
III-14	10	0	0,25	2,17 ± 0,05 ^a	1,88 ± 0,16 ^a	1,51 ± 0,47a
III-15	5	3	0,25	3,68 ± 0,13 ^d	3,20 ± 0,14 ^d	12,17 ± 1,48bcdef

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti ponovljenih merenja ± SD (n = 5); vrednosti u kolonama označene različitim slovima su statistički značajne ($p < 0,05$).

Kod pet uzoraka postignuto je narastanje iznad 4, što je na nivou vrednosti koje se postižu u istraživanjima (Šoronja Simović i sar. 2009; 2017). Međutim, od pomenutih uzoraka samo jedan III-13 je u svom sirovinskom sastavu imao vlakna šećerne repe i to 5%, dok su drugi funkcionalni dodaci izostavljeni. Narastanje uzoraka koji su pored 5% vlakana u svom sastavu imali i čija seme i ksantan je bilo manje (2,82-3,68), pri čemu je pri većem udelu čija semena i ksantana narastanje bilo manje (tabela 5.31). Uprkos navedenim rezultatima nije potvrđeno da čija seme i ksantan imaju negativan uticaj na narastanje (slika 5.31). Naprotiv, kod uzoraka III-5 sa samo 3% čija semena narastanje je bilo 4,91, dok je kod uzorka III-7 sa kombinovanim dodatkom 3% čija semena i 0,5% ksantana došlo do statistički značajnog povećanja narastanja na 5,66 ($p < 0,05$). Uzorak III-11 sa 6% čija semena potvrđuje da povećanje udela čije u sirovinskom sastavu lisnatog testa ne doprinosi povećanju narastanja, ali ne uzrokuje ni statistički značajno smanjenje pomenutog parametra u odnosu na uzorak III-5.



Slika 5.31 Uticaj čija semena na narastanje lisnatog peciva

Maksimalna vrednost narastanja 6,02 kod uzorka III-9, koji u svom sastavu sadrži samo 0,25% ksantana, potvrđuje pozitivan uticaj ovog hidrokoloida u izradi lisnatog peciva sa integralnim brašnom, čija semenom i vlaknima šećerne repe. Takođe je važno istaći da je vrednost narastanja iznad 6,0 na nivou teorijskih vrednosti (Cauvain, Young, 2001) i da se vrlo retko postižu u praksi.

Povećanje količine šećerne repe na 10% dodatno smanjuje povećanje visine tokom pečenja, što potvrđuju vrednosti narastanja u intervalu 2,17-2,89 za uzorke III-2, III-10, III-12 i III-14. Može se zapaziti da dodatak 3% čija semena i izostanak

ksantana (uzorak III-12) statistički značajno povećava narastanje na 2,83 u odnosu na uzorak III-14. Dodatak 0,5% ksantana, međutim, nema statistički značajan uticaj ($p > 0,05$) na povećanje narastanja peciva sa 10% vlakana šećerne repe i 3% čija semena (uzorci III-10 i III-12). Pozitivan uticaj čija semena potvrđuje povećanje narastanja uzorka III-2 u odnosu na uzorak III-14 koji sadrži identičnu količinu vlakana šećerne repe i ksantan gume. Pretpostavlja se da je dodatak 10% vlakana šećerne repe sa izraženom sposobnošću i vezivanja i zadržavanja vode (Đorđević i sar. 2018; Đorđević 2020) značajno uticao na razvoj i jačinu glutenske strukture. Uzimajući u obzir i prisustvo celuloznih vlakana iz integralnog brašna koja po Bock, Damodaran (2013) izazivaju redistribuciju vode, promene u sekundarnoj strukturi glutena i pogoršanje viskoelastičnih svojstava testa, verovatno je nemoguće pri ovakvom sirovinskom sastavu postići veće narastanje lisnatog peciva.

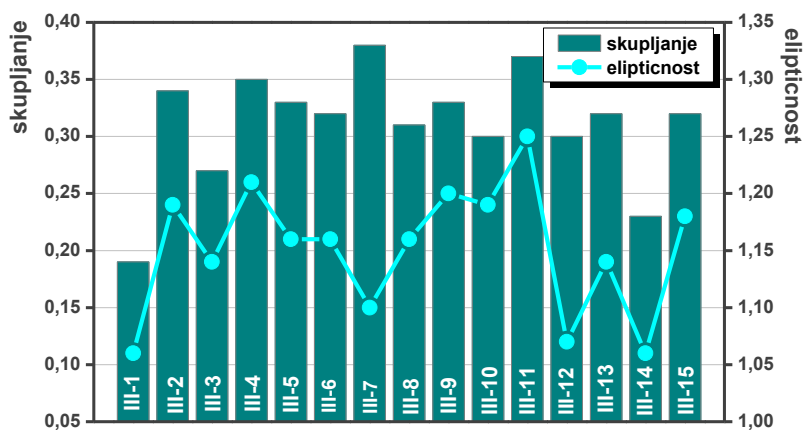
Na osnovu rezultata analize uticaja nezavisno promenljivih na narastanje testa može se uočiti da su pretpostavke o optimalnim vrednostima žilavosti, rastegljivosti i lepljivosti potvrđene. Kod uzoraka III-5, III-9 i III-11 čije su fizičke osobine testa bile u granicama preporučenih vrednosti iz literature postignuto je vrlo dobro (iznad 4,8) i odlično narastanje (6,02).

Specifična zapremina (tabela 5.31) je najveća kod peciva bez vlakana šećerne repe i čija semena sa 0,25% ksantan gume (III-9), dok je najmanju specifičnu zapreminu imao uzorak sa dodatkom 10% vlakana šećerne repe, bez dodatka čija semena i sa 0,25% ksantan gume (III-14). Statističkom analizom utvrđeno je da su razlike minimalne i maksimalne specifične zapremine i statistički značajne ($p < 0,05$). Generalno, može se uočiti da su manju specifičnu zapreminu imali uzorci sa najvećom količinom vlakana šećerne repe, a veću uzorci bez vlakana šećerne repe. Takođe je i dodatak čija semena imao nepovoljan uticaj na specifičnu zapreminu i to naročito u kombinaciji sa vlaknima šećerne repe (III-6, III-10 i III-12). Međutim, interesantno je da je kod uzoraka koji u sirovinskom sastavu sadrže čija seme, a ne sadrže vlakna, specifična zapremina relativno visoka. Uzorak sa 3% čija semena i 0% ksantana (III-5) imao je specifičnu zapreminu $3,91 \text{ cm}^3/\text{g}$, dok je uzorak sa 6% čija semena i 0,25% ksantana imao $4,01 \text{ cm}^3/\text{g}$ (III-9).

Upoređivanjem rezultata čvrstoće peciva (tabela 5.31) evidentno je da postoje

velike razlike među uzorcima, što potvrđuje širok interval dobijenih vrednosti od 1,51 do 29,37 kgs. Uočava se da je najmanju čvrstoću 1,51 kgs imao uzorak III-14 sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana, bez čija semena. Zbog nedovoljnog narastanja i slojevitosti pomenuti uzorak je imao i najmanju specifičnu zapreminu. S obzirom da je struktura lisnatog peciva značajno različita od strukture drugih pekarskih proizvoda, dobijeni rezultati za specifičnu zapreminu i čvrstoću su logični. Zbijenija struktura lisnatog peciva, uz prisustvo slaninastih mekših slojeva na pojedinim mestima, pri merenju je pružala manji otpor mernom priboru (nož) što je rezultovalo manjom silom kao indirektnim pokazateljem čvrstoće. Pomenute pretpostavke potvrđuju i niske vrednosti čvrstoće kod uzorka III-10 sa narastanjem ispod 2,9 i specifičnom zapreminom 2,40 cm³/g. Najveću čvrstoću 29,37 kgs imao je uzorak sa 5% vlakana šećerne repe i 6% čija semena. Uzorci sa maksimalnom količinom vlakana šećerne repe uglavnom su imali manju čvrstoću, međutim, izdvojio se uzorak koji pored 10% vlakana šećerne repe sadrži 6% čija semena. Čvrstoća pomenutog uzorka je veća od prosečne vrednosti čvrstoće drugih uzoraka sa maksimalnim sadržajem vlakana šećerne repe 3,5 puta (tabela 5.31).

Uticaj funkcionalnih dodataka na skupljanje i eliptičnost peciva može se sagledati na osnovu grafika prikazanog na slici 5.32.



Slika 5.32 Uticaj funkcionalnih dodataka na skupljanje i eliptičnost peciva

Vrednosti skupljanja su u opsegu od 0,19 do 0,38, a eliptičnosti od 1,06 do 1,25. Skupljanje je maksimalno kod uzorka bez vlakana šećerne repe, 3% čija

semena i 0,5% ksantan gume (III-7). Kod uzorka III-11 bez vlakana šećerne repe, sa 6% čija semena i 0,25% ksantana (III-11) takođe je došlo do intenzivnog skupljanja jer je dobijena vrednost 0,37.

Generalno se može uočiti da su pri kombinovanom dodatku vlakana šećerne repe i čija semena deformacije pri pečenju manje. Međutim, zapaža se da je kod uzoraka sa maksimalnom količinom vlakana šećerne repe i identičnom količinom ksantana (III-2 i III-14) skupljanje veće pri većem sadržaju čija semena. Najmanje skupljanje zabeleženo je kod uzorka III-1 (0,19) i kod uzorka III-14 (0,27). Prema statističkoj analizi pomenute vrednosti skupljanja su statistički značajno različite ($p < 0,05$) od dobijenih vrednosti za druge uzorke. Što se tiče ksantan gume na osnovu uzoraka sa 5% vlakana šećerne repe (III-6 i III-13) kao i uzoraka sa 10% vlakana šećerne repe i 3% čija semena (III-10 III-12) evidentno je da dodatak ksantana nema uticaj na skupljanje tokom pečenja.

Vrednosti eliptičnosti, drugog specifičnog parametra lisnatog peciva koji ukazuje na deformacije tokom pečenja, prikazane su grafički na slici 5.32. U skladu sa vrednostima skupljanja najveća eliptičnost dobijena je kod uzorka III-11 bez vlakana šećerne repe, sa 6% čija semena i 0,25% ksantana. Među uzorcima sa 10% vlakana šećerne repe i identičnom količinom ksantan gume 0,25% (III-2 i III-14) eliptičnost je izraženija i statistički značajno različita kod uzorka III-2 sa 6% čije. Povećanje količine ksantana u uzorcima u kojima je količina drugih dodataka identična ili nema uticaj na promenu oblika tokom pečenja (III-3 i III-8) ili dovodi do statistički značajnog povećanja eliptičnosti (III-10 i III-12).

Rezultati senzorske ocene kvaliteta peciva metodom bodovanja i kvaliteta sredine QDA metodom (tabela 5.32 i prilog P9/I) usklađeni su sa rezultatima određivanja fizičkih parametara kvaliteta peciva. Sedam uzoraka je bilo dobrog, dva uzorka vrlo dobrog, a po tri uzorka su bila prihvatljivog i odličnog senzorskog kvaliteta. Generalno, prihvatljiv senzorski kvalitet imali su uzorci sa maksimalnim sadržajem vlakana šećerne repe (III-10, III-12 i III-14), izuzev uzorka III-2 koji je pored 10% vlakana u sirovinskom sastavu imao maksimalnu količinu čije i 0,25% ksantana. Najlošiji senzorski kvalitet imao je uzorak III-14 bez čija semena, sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana. Spoljni izgled pomenutog uzorka je bio dobar (boje

koja odstupa od svojstvene, delimično izmenjen oblik), međutim, njegova struktura bila je manje slojevita, zbijena, sa izrazito sitnim porama. Miris pomenutog uzorka je bio svojstven ali slabije izražen, dok je ukus bio nezaokružen, malo testast, a topivost loša. Analiza kvaliteta sredine primenom QDA metode potvrdila je rezultate senzorske analize metodom bodovanja. Ostvarenu ukupan broj bodova uzorka III-14 (slika 5.34) je 7,5. Ocene svih vrednovanih parametara kvaliteta strukture (listanje, ravnomernost listanja, debljina slojeva, veličina pora i ravnomernost boje) ocenjeni su ocenom 1,5.

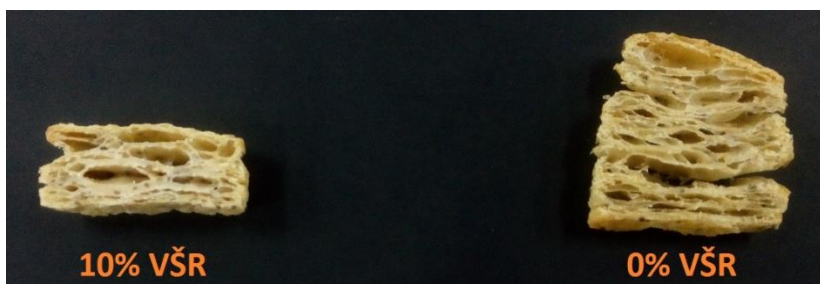
Tabela 5.32 Parametri senzorskog kvaliteta lisnatog peciva obogaćenog funkcionalnim dodacima

Uzorak	Nezavisno promenljive			Zavisno promenljive	
	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
III-1	5	3	0,25	14,6 – dobar	9,5
III-2	10	6	0,25	14,2 – dobar	6,0
III-3	5	6	0	15,3 – dobar	8,5
III-4	5	3	0,25	14,0 – dobar	9,5
III-5	0	3	0	18,2 – odličan	14,0
III-6	5	0	0,5	14,2 – dobar	10,0
III-7	0	3	0,5	16,8 – vrlo dobar	13,5
III-8	5	6	0,5	14,3 – dobar	9,5
III-9	0	0	0,25	17,9 – odličan	15,0
III-10	10	3	0,5	12,1 – prihvatljiv	8,0
III-11	0	6	0,25	18,2 – odličan	15,0
III-12	10	3	0	12,5 – prihvatljiv	8,5
III-13	5	0	0	15,7 – vrlo dobar	11,5
III-14	10	0	0,25	12,0 – prihvatljiv	7,5
III-15	5	3	0,25	14,4 – dobar	9,5

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme, K – ksantan guma; PB – ponderisani bodovi (min 5; max 20); QDA (min 0, max 15).

Vlakna šećerne repe negativno utiču na strukturu lisnatog testa, a zatim i na kvalitet lisnatog peciva. Pretpostavlja se da je pomenuti negativan uticaj vlakana šećerne repe uzrokovan većim udelom celuloze u njihovom sastavu. Kao što je već napomenuto dodatak celuloznih vlakana uzrokuje redistribuciju vode što dovodi do izmena u konformaciji glutena i slabljenja njegovih viskoelastičnih svojstava (Bock, Damodaran, 2013). Pomenute pretpostavke najbolje potvrđuju razlike u strukturi uzoraka III-2 i III-11 koji sadrže istu količinu hidrokolidnih dodataka (6% čija semena i 0,25% ksantan gume). Uzorak III-2 koji pored čije i ksantana sadrži i 10% vlakana

šećerne repe ima malo narastanje, slabo i nepravilno razvijenu strukturu, dok sa druge strane uzorak III-11 bez vlakana šećerne repe odlikuje specifična slojevita struktura lisnatog peciva (slika 5.33).



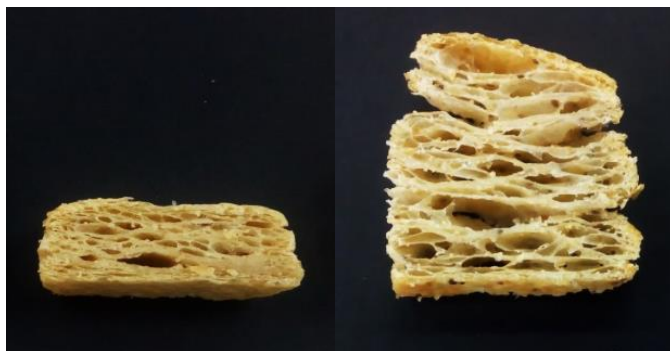
Slika 5.33 Uticaj vlakana šećerne repe na strukturu lisnatog peciva sa 6% čija semena i 0,25% ksantana (s leva na desno uzorci III-2 i III-11)

Međutim, fizički i senzorski parametri kvaliteta uzorka III-13, koji sadrži samo 5% vlakana šećerne repe, ukazuju da manja količina vlakana ima manje izražen negativan efekat na glutensku strukturu. Pomenuti uzorak je imao relativno visoku specifičnu zapreminu od 3,35 cm³/g, narastanje 4,32 i malu čvrstoću 12,24 kgs, što je rezultiralo vrlo dobrim senzorskim kvalitetom. Pretpostavlja se da bi dodatak vlakana šećerne repe ispod 5% imao dovoljan pozitivni efekat na nutritivni kvalitet peciva, a znatno manji negativan efekat na kvalitet lisnatog peciva. Sa druge strane, na osnovu hipoteze rada zahvaljujući izraženim hidratacionim svojstvima vlakana šećerne repe njihovo prisustvo u sirovinskom sastavu bi trebalo da smanji količinu zamrznute vode tokom šok zamrzavanja i time obezbedi bolji kvalitet lisnatog peciva.

Prisustvo ksantana uz vlakna šećerne repe neznatno utiče na strukturu lisnatog peciva. Uzorci III-6 i III-13 bez čija semena i sa 5% vlakana šećerne ukazuju da je prisustvo ksantana kod uzorka III-13 poboljšalo senzorski kvalitet, ali da nije došlo do promene kategorije kvaliteta lisnatog peciva (tabela 5.32).

Najveći broj ponderisanih bodova (18,2) i odličan kvalitet postignut je kod dva uzorka, uzorka III-5 bez vlakana šećerne repe i ksantana, sa 3% čija semena i uzorka III-11 bez vlakana šećerne repe, sa 6% čije i 0,25% ksantana. Struktura pomenutih uzoraka je bila pravilno razlistana, sa izrazito tankim slojevima i krupnim porama. Ukus uzorka najboljeg senzorskog kvaliteta bio je svojstven, zaokružen i aromatičan, a topivost odlična. Kod uzorka III-11 svi pomenuti parametri kvaliteta sredine QDA

metodom ocenjeni su ocenom 3 što je rezultiralo maksimalnim ukupnim brojem bodova 15. Na slici 5.34 prikazana je razlika u kvalitetu sredine najlošijeg (III-14) i najboljeg uzorka lisnatog peciva (III-11). Dobijeni rezultati su potpuno usklađeni sa rezultatima određivanja fizičkih parametara kvaliteta testa i peciva (tabele 5.30 i 5.31). Zahvaljujući pomenutoj činjenici jasno je da se na bazi rezultata ispitivanja lepljivosti i fizičkih svojstava lisnatog testa pri biaksijalnom istezanju može predvideti kvalitet lisnatog peciva obogaćenog funkcionalnim dodacima.



Slika 5.34 *Struktura peciva najlošijeg i najboljeg senzorskog kvaliteta (s leva na desno uzorci III-14 i III-11)*

5.4 UTICAJ ŠOK ZAMRZAVANJA TESTA NA KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA

U cilju sagledavanja uticaja šok zamrzavanja deo pripremljenih uzoraka testa sa funkcionalnim dodacima po eksperimentalnom dizajnu (tabela 4.5) zamrznut je primenom optimalnog režima iz II faze (t_z -35°C i t_t -10°C) i skladišten na -18°C . Nakon 30 dana zamrznuti uzorci testa su ispečeni, a potom su određeni relevantni fizički (narastanje, specifična zapremina, skupljanje, eliptičnost) i senzorski parametri kvaliteta lisnatog peciva. Rezultati određivanja ispitivanih zavisno promenljivih prikazani su u priložima P10 i P11 i na slici 5.35. U tabeli 5.33 prikazana je promena pomenutih parametara kvaliteta, izražena kao procentualna razlika dobijenih vrednosti uzoraka peciva od zamrznutog testa u odnosu na pecivo od nezamrznutog testa (tabele 5.31 i 5.32).

Na osnovu rezultata prikazanih u prilogu P10 i u tabeli 5.33 narastanje peciva

sa funkcionalnim dodacima od zamrznutog testa smanjeno je kod svih uzoraka u odnosu na vrednosti koje su dobijene za pecivo od nezamrznutog testa (od 1,89 do 5,58). Najmanje narastanje dobijeno je kod uzorka bez čija semena, sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana (III-14). Sa druge strane maksimalno narastanje postignuto je kod peciva bez vlakana šećerne repe, sa 3% čija semena i 0,5% ksantana (III-7). Iako je maksimalno narastanje nezamrznutih uzoraka 6,02 (tabela 5.31) postignuto kod uzorka III-7, statističkom analizom je utvrđeno da nije bilo statistički značajnih razlika između dobijenih vrednosti kod peciva III-5 i III-7 ni kod nezamrzavanih, a ni kod zamrzavanih uzoraka. Takođe je utvrđeno da su vrednosti narastanja uzoraka sa vlaknima šećerne repe statistički značajno različite ($p < 0,05$) u odnosu na uzorke bez vlakana. Dodatak 0,5% ksantana kod uzorka III-7 uzrokuje statistički značajno povećanje narastanja u odnosu na uzorak III-5, koji sadrži identičnu količinu čija semena. Međutim, kod uzoraka III-6 i III-13 koji sadrže samo 5% vlakana šećerne repe nije potvrđen statistički značajan uticaj dodatka ksantana u sirovinski sastav testa.

Šok zamrzavanje nije uticalo na trend promene narastanja u zavisnosti od sirovinskog sastava, međutim evidentan je uticaj funkcionalnih dodataka na ublažavanje efekata zamrzavanja (tabela 5.33). Uočava se da su promene narastanja minimalne kod uzoraka koji sadrže i vlakna šećerne repe i čija seme (III-1 i III-2), kao i kod uzoraka koji sadrže 3%, odnosno 6% čije, a ne sadrže vlakna šećerne repe (III-5 i III-7). Takođe se može uočiti da prisustvo ksantana kod uzoraka koji sadrže samo čiju (III-5 i III-7) ima pozitivan uticaj, dok kod uzoraka koji sadrže samo vlakna šećerne repe (III-6 i III-13) bolje narastanje imaju uzorci bez ksantana. Do statistički značajnih promena u narastanju peciva od nezamrznutog i zamrznutog testa došlo je kod uzoraka III-8, III-9, III-12 i III-13 (tabela 5.33, prilog P13).

Na osnovu prezentovanih rezultata uočava se da i nakon zamrzavanja i skladištenja na -18°C 30 dana malu specifičnu zapreminu imaju uzorci sa maksimalnom količinom vlakana šećerne repe, a znatno veću uzorci koji su bez dodatka vlakana šećerne repe. Vrednosti specifične zapremine su u širokom

Tabela 5.33 Uticaj šok zamrzavanja testa na promene fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta funkcionalnog lisnatog peciva

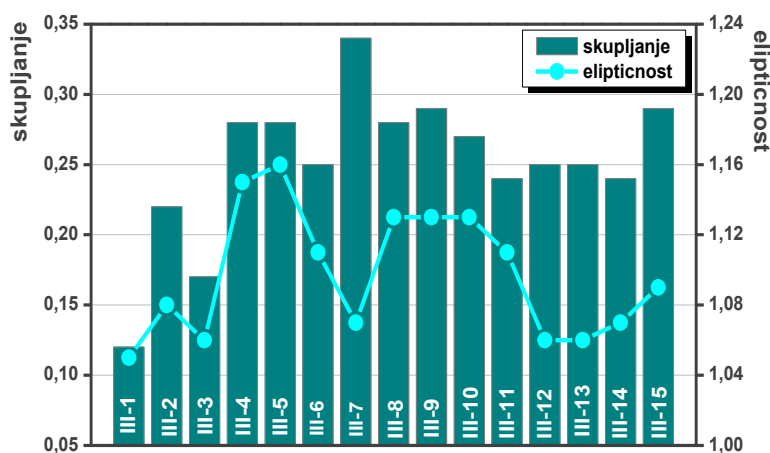
Uzorak	Nezavisno promenljive (%) ^a			Promena zavisno promenljivih (%) ^b			
	VŠR	ČS	K	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
III-1	5	3	0,25	-4,02	0,32	-1,4	10,5
III-2	10	6	0,25	-3,35	14,22*	-17,6	25,0
III-3	5	6	0	-12,15	-2,88	-13,1	11,8
III-4	5	3	0,25	-1,77	-2,40	-2,1	-5,3
III-5	0	3	0	-6,92	-1,02	-3,3	0,0
III-6	5	0	0,5	-6,50	1,42	7,7	15,0
III-7	0	3	0,5	-1,41	1,14	1,2	-7,4
III-8	5	6	0,5	-15,74*	-21,59*	2,8	5,3
III-9	0	0	0,25	-11,30*	-13,01	-9,5	-16,7
III-10	10	3	0,5	-5,54	-2,08	24,8	37,5
III-11	0	6	0,25	-9,34	-4,49	-6,0	-13,3
III-12	10	3	0	-16,96*	3,48	15,2	-5,9
III-13	5	0	0	-12,27*	-6,57	0,0	0,0
III-14	10	0	0,25	-12,90	-12,23	-20,8	-26,7
III-15	5	3	0,25	-7,34	-8,75	11,1	21,1
OSTDEV							

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan; OSTDEV – objedinjena standardna devijacija; y₁ – narastanje; y₂ – specifična zapremina; y₃ – senzorska ocena metodom bodovanja; y₄ – senzorska ocena QDA metodom. Vrednosti označene * su statistički značajne (p < 0,05). Tabele sa srednjim vrednostima zavisno promenljivih ± SD i statističkom značajnošću date su u prilogima P10 i P11.

intervalu, a između najvećeg broja uzoraka potvrđene su statistički značajne razlike (p < 0,05). Najveća (4,48 cm³/g) i najmanja (1,65 cm³/g) specifična zapremina dobijena je kod uzoraka III-9 i III-14, što je bio slučaj i kod peciva od nezamrznutog testa. Međutim, na osnovu izračunatih promena specifične zapremine (tabela 5.33) zapaža se da je primena šok zamrzavanja ipak uzrokovala smanjenje specifične zapremine kod uzoraka III-9 i III-14 za 12%, odnosno 13%. Takođe je kod čak deset uzoraka došlo do pogoršanja pomenutog fizičkog parametra, dok je kod samo pet uzoraka III-1, III-2, III-6, III-7 i III-12 specifična zapremina povećana. Uprkos blagom povećanju specifične zapremine kod uzorka III-1 treba istaći da je šok zamrzavanje kod uzoraka III-4 i III-15 identičnog sirovinskog sastava imalo suprotan efekat. S obzirom na činjenicu da promene specifične zapremine usled zamrzavanja (tabela 5.33), kao ni razlike u dobijenim eksperimentalnim vrednostima između pomenutih uzoraka nisu bile statistički značajne (prilog P13), efekat šok zamrzavanja na dati sirovinski sastav

razmatraće se nakon analize svih ispitivanih izlaznih parametara. Jedino je kod uzorka III-2 sa 10% vlakana, 6% vlakana i 0,25% čije došlo do statistički značajnog povećanja zapremine za 14,2%. Pomenuta zapažanja su u skladu sa hipotezom da prisustvo dodatka sa izraženim hidratacionim svojstvima (vlakana šećerne repe i čije) u većem procentu smanjuje količinu zamrznute vode u testu i time pruža mogućnost da se poboljša kvalitet obogaćenih proizvoda. Manje pozitivne promene (3,5%) specifične zapremine kod uzorka III-12 bez ksantana, sa 10% vlakana i 3% čije takođe su usaglašene sa navedenim pretpostavkama. Uprkos uzorcima kod kojih je i pored učešća funkcionalnih dodataka sa hidratacionim svojstvima nakon zamrzavanja došlo do negativnih promena, potvrđeno je da dobijena smanjenja specifične zapremenine kod najvećeg broja uzoraka nisu statistički značajna ($p > 0,05$). Najveće i statistički značajno smanjenje specifične zapremenine usled šok zamrzavanja i skladištenja 30 dana, uočeno je kod uzorka III-8. Pretpostavlja se da je količina komponenti sa hidratacionim svojstvima prešla kritičnu granicu i usporila razvoj glutenske strukture tokom zamesa što se na kraju odrazilo i na tehnološki kvalitet zamrznutog testa.

Kada se analiziraju deformacije oblika testanih komada tokom pečenja može se uočiti da su vrednosti skupljanja u intervalu od 0,12 do 0,34 (prilog P12, slika 5.35).



Slika 5.35 Uticaj funkcionalnih dodataka na skupljanje i eliptičnost peciva od zamrznutog testa

Skupljanje je kod uzorka III-7 bez vlakana šećerne repe, sa 3% čija semena i 0,5% ksantana i dalje maksimalno, ali manje za 10,5% u odnosu na vrednost dobijenu za nezamrzavano testo.

Kada je u pitanju uticaj sirovinskog sastava uzoraka na ublažavanje negativnih efekata šok zamrzavanja na vrednosti skupljanja može se uočiti da je kod uzorka bez vlakana šećerne repe, sa 6% čija semena i 0,25% ksantana (III-11) skupljanje tokom pečenja manje za 35% u odnosu na isti uzorak od nezamrzanog testa (slike 5.32 i 5.35). Identična promena se desila i kod uzorka III-2 sa 10% vlakana šećerne repe, 6% čija semena i 0,25% ksantana. Generalno se može zapaziti da je skupljanje gotovo svih zamrznutih uzoraka manje u odnosu na nezamrznute.

Dobijene vrednosti eliptičnosti (prilog P12) su u opsegu od 1,05 do 1,16. Između uzoraka različitog sirovinskog sastava uglavnom nema statistički značajnih razlika ($p > 0,05$). Za razliku od peciva od nezamrzanog testa, kod kojih je eliptičnost bila najveća kod uzorka bez vlakana šećerne repe, sa 6% čija semena, i 0,25% ksantana (III-11), nakon primene šok zamrzavanja i skladištenja zamrznutih uzoraka 30 dana odstupanje od okruglog oblika lisnatog peciva je bilo najveće kod uzorka bez vlakana šećerne repe i ksantana, a sa 3% čija semena (III-5). Međutim, kod pomenutog uzorka nije došlo do promene vrednosti eliptičnosti u odnosu na eliptičnost peciva od nezamrzanog testa (1,16). Interesantno je da primenom šok zamrzavanja kod najvećeg broja uzoraka nije došlo do povećanja eliptičnosti (prilog P12). Naprotiv došlo je do smanjenja eliptičnosti u proseku za 4,5%. Kod uzorka III-11 deformacije oblika su smanjene za čak 11,2% u odnosu na isti uzorak peciva od nezamrzanog testa.

Rezultati senzorske ocene kvaliteta peciva od zamrznutog testa metodom bodovanja i QDA metodom prikazani su u prilogu P14. Čak pet uzoraka je (III-5, III-7, III-9, III-11, III-13 i III-15) je bilo vrlo dobrog senzorskog kvaliteta. Od pomenutih uzoraka najbolji kvalitet je postignut kod peciva III-5 bez vlakana šećerne repe i ksantana, sa 3% čija semena. Uzorak III-5 je imao odličnu strukturu (ravnomerno listanje sa izrazito tankim slojevima, krupnim porama i ujednačenom bojom sredine), odličan ukus (svojestven, zaokružen i aromatičan) i topivost. QDA metodom su maksimalnom ocenom 3,0 ocenjeni listanje, ravnomernost listanja i ravnomernost

boje, a ocenom 2,5 debljina slojeva i veličina pora. Pomenute karakteristike su rezultirale maksimalnim brojem bodova 17,6 pri senzorskoj oceni metodom bodovanja i sa 14,0 bodova za kvalitet sredine QDA metodom. Uzorak III-11 bez vlakana šećerne repe, sa 6% čije i 0,25% ksantana je takođe imao relativno visok broj ponderisanih bodova 17,0 i čak 13,0 za kvalitet sredine. Pomenuti rezultati ukazuju da se dodatkom maksimalne količine čije sa izraženim hidrokolooidnim svojstvima (*Ahmed i sar., 2006*) uz dodatak i hidrokolida ksantana pogoršava struktura i kvalitet peciva u celini. S obzirom na činjenicu da uzorci III-5 i III-11 u celini imaju bolji senzorski kvalitet u odnosu na uzorak III-9 (metoda bodovanja - 16,2, QDA metoda – 12,5), uobičajenog sirovinskog sastava, može se smatrati da se upotrebom čija semena mogu smanjiti negativni efekti šok zamrzavanja na tehnološke karakteristike testa i kvalitet funkcionalnog lisnatog peciva.

Šest uzorka peciva (III-1, III-4, III-6, III-8, III-10 i III-12) je bilo dobrog senzorskog kvaliteta, pri čemu je interval ostvarenih bodova u okviru ove grupe bio 13,3-15,3 (metoda bodovanja), odnosno 9,9-11,5 (QDA metoda). Svi uzorci dobrog senzorskog kvaliteta su u sirovinskom sastavu imali 5% ili 10% vlakana šećerne repe, uz određeni kombinovani dodatak čije i ksantana.

Dva uzorka (III-2 i III-3) su imala prihvatljiv, a samo jedan (III-14) neprihvatljiv senzorski kvalitet. Svi parametri kvaliteta (spoljnji izgled, struktura, miris i ukus) uzorka bez čija semena sa 10% vlakana šećerne repe i 0,25% ksantana su bili loši. Lisnato pecivo je bilo izmenjene boje i delimično izmenjenog oblika, malo nepovezane kore, struktura izrazito zbijena, sa debelim slojevima i prisutnim sitnim porama, ukus testast i nesvojstven, topivost loša. Ukupan broj bodova za strukturu bio je 5,5, pri čemu su svi posmatrani parametri (listanje, ravnomernost listanja, debljina slojeva, veličina pora) osim ravnomernosti boje ocenjeni najnižim ocenama. Slika 5.36 potvrđuje odsustvo specifične slojevite strukture kod uzorka III-14, kao i razlike u narastanju u odnosu na najbolji uzorak peciva III-5.

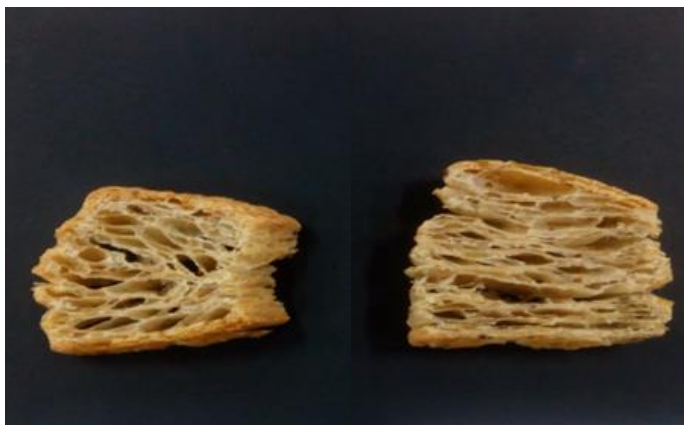
Kada se analizira efekat šok zamrzavanja na senzorski kvalitet uzoraka različitog sirovinskog sastava (prilog P14) može se uočiti da se kod sedam uzoraka kategorija kvaliteta peciva nije značajno menjala (III-1, III-4, III-6, III-7, III-8, III-13 i III-15). Iako je kod uzoraka III-6, III-7 i III-8 došlo do povećanja ukupnog broja bodova

(metoda bodovanja), nije došlo do promene kategorije kvaliteta jer su razlike između zamrznutih i nezamrznutih uzoraka statistički neznačajne ($p > 0,05$), prilog P14. Među pomenutim uzorcima treba istaći uzorak III-7 bez vlakana, sa 3% čije i 0,5% ksantana čiji je senzorski kvalitet i od nezamrznutog i od zamrznutog testa bio vrlo dobar.



Slika 5.36 Razlike u kvalitetu najboljeg i najlošijeg uzorka lisnatog peciva (s leva na desno uzorci III-5 i III-14)

Od preostalih osam, kod pet uzoraka je došlo do pogoršanja pojedinih senzorskih parametara i promene kategorije kvaliteta (III-1, III-2, III-5, III-9 i III-11). Promene ukupnog broja bodova nakon šok zamrzavanja kod tri uzorka (III-5, III-9 i III-11), koji su nakon pečenja nezamrznutog testa imali odličan senzorski kvalitet (tabela 5.32) su od 3,3% do 9,5% (tabela 5.33). Kod uzorka III-9 i III-11 je smanjen i broj bodova za strukturu peciva za 16,7%, odnosno 13,3%. Kod uzorka III-5 parametri listanje, ravnomernost listanja, debljina slojeva, veličina pora i ujednačenost boje ostali su na nivou kvaliteta peciva od nezamrzavanog testa (tabela 5.32). Maksimalne i statistički značajne promene senzorskog kvaliteta nastale su kod uzorka III-9 bez vlakana i čije, sa 0,25% ksantana. Budući da je ovo uobičajeni sirovinski sastav lisnatog zamrzavanog testa, manje promene u senzorskom kvalitetu uzorka III-5 i III-11 sa 3 i 6% čije kao funkcionalnog dodatka opravdavaju postavljeni cilj disertacije (slika 5.37). Uprkos statistički neznačajnim razlikama u ukupnom broju ponderisanih bodova peciva od nezamrzavanog i zamrzavanog testa ($p > 0,05$) kod pomenutih uzoraka ipak je došlo do promene kategorije kvaliteta iz odličan u vrlo dobar.



Slika 5.37 Struktura lisnatog peciva od zamrzavanog testa sa 3% čije i 6% (s leva na desno uzorci III-5 i III-11)

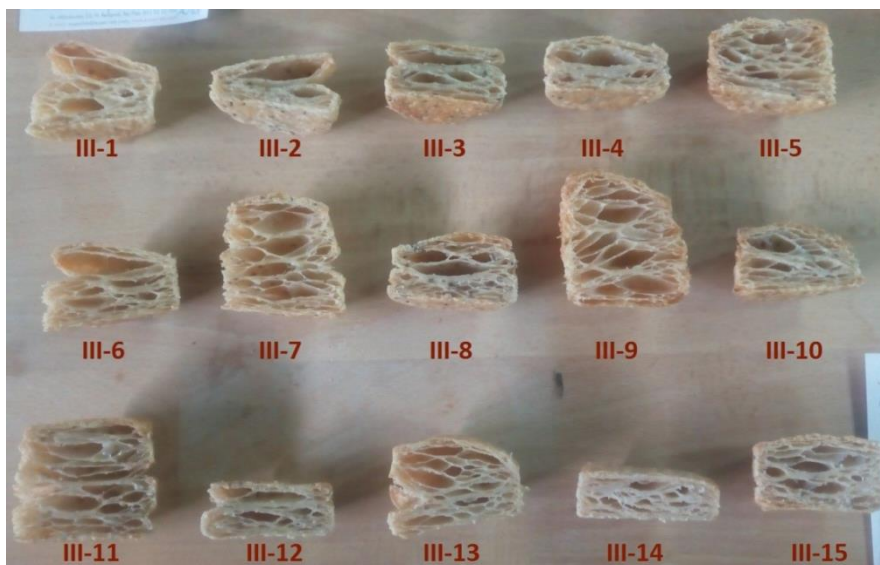
Šok zamrzavanje je kod dva uzorka (III-10 i III-12) imalo pozitivan efekat i dovelo do poboljšanja senzorskog kvaliteta iz kategorije prihvatljiv u dobar. Važno je istaći da pomenuti uzorci imaju maksimalnu količinu vlakana šećerne repe i 3% čija semena, a razlikuju se po sadržaju 0,5% ksantan gume. Uzorak III-10 sa 0,5 % ksantana ima veći ukupan broj bodova i bolji kvalitet strukture u odnosu na uzorak III-12 bez ksantana. Sredina uzorka III-10 bila je slojevita, delimično ravnomernog listanja i delimično tankih listova, sa velikim porama i ujednačene boje. Uzorak III-12 imao je delimično slojevitou strukturu sredine sa malim porama i malo neujednačene boje, neravnomerno listanje i debele listove. Na osnovu promene broja bodova ostvarenih metodom bodovanja od 24,8% kod uzorka III-10, odnosno 15,2% kod uzorka III-12 jasno je da pri maksimalnom udelu prehranebnih vlakana, uprkos njihovom uticaju na viskoelastična svojstva testa (*Sudha i sar., 2007; Peressini, Sensidoni, 2009; Lebesi, Tzia, 2011; Foschia i sar., 2013; Magaña-Barajas i sar. 2014; Ferrero, 2017; Liu i sar., 2019; Culetu i sar., 2020*) ipak dolazi do poboljšanja kvaliteta zamrznutih proizvoda. Naročito izražena poboljšanja u strukturi peciva od zamrznutog testa uočena su kod uzorka III-10 kod koga je došlo do povećanja broja bodova za čak 37,5% u odnosu na pecivo od nezamrznutog testa. Pretpostavlja se da se ova poboljšanja mogu dovesti u vezu sa prisustvom komponenti sa izraženom sposobnošću vezivanja i zadržavanja vode koja povećavaju količinu vezane vode u testu, a time smanjuju količinu zamrznute vode (freezable water) tokom zamrzavanja (*Lovrić, 2003*). Dobijeni rezultati svakako idu u prilog hipotezi ove disertacije, jer

ukazuju da se dodatkom veće količine prehramenih vlakana, u ovom slučaju vlakana šećerne repe i vlakana čija semena, pri proizvodnji zamrznutog lisnatog testa mogu umanjiti negativni efekti šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva. S obzirom na činjenicu da se pored pozitivnog tehnološkog efekta prehrambenih vlakana postiže i značajno poboljšanje nutritivnog kvaliteta lisnatog peciva dobijeni rezultati svakako postaju još značajniji.

Sa druge strane, budući da je uzorak neprihvatljivog senzorskog kvaliteta (III-14) imao najveću količinu vlakana šećerne repe postavlja se pitanje opravdanosti prethodnih zapažanja. Međutim, treba istaći da uzorak III-14 u sirovinskom sastavu nije imao čija seme, već samo 0,25% ksantana. Fizički i senzorski parametri kvaliteta pomenutog uzorka i od nezamrzavanog testa su bili loši (tabela 5.31 i 5.32), pa je šok zamrzavanje samo dodatno smanjilo narastanje i specifičnu zapreminu, kao i senzorski kvalitet.

U cilju potvrde rezultata ispitivanja efekata šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva koja su dobijena kod uzoraka koji su skladišteni 30 dana na -18°C produženo je skladištenje pri istim uslovima još 150 dana. Nakon ukupnog vremena skladištenja od 180 dana na -18°C svi uzorci su ispečeni i analiziran je njihov senzorski kvalitet (slika 5.38).

Na osnovu slike jasno se vidi da ni nakon 180 dana skladištenja nije došlo do značajnijih razlika u narastanju peciva i izgledu strukture. Uzorci III-5, III-7, III-9 i III-11, vrlo dobrog senzorskog kvaliteta nakon 30 dana skladištenja, i dalje su imali relativno veliko narastanje, karakterističnu slojevitou strukturu sa krupnim porama. U njihovoj strukturi su dominirali tanki slojevi bez prisustva slaninastih delova, ukus i miris je bio svojstven, zaokružen i prijatan po dodacima, a topivost vrlo dobra. Pored navedenih uzoraka svakako treba istaći da je i uzorak III-13 bez čije i ksantana, sa 5% vlakana šećerne repe i pored nešto manjeg narastanja imao vrlo svojstvenu slojevitou strukturu, dobru topivost i zaokružen miris i ukus. Uzorak III-14 najlošijeg senzorskog kvaliteta nakon 30 dana skladištenja zamrznutog testa je i nakon 180 dana imao izuzetno malo narastanje, nerazvijenu strukturu sa prisutnim sitnim porama i slaninastim delovima, ukus testast i izražen na mast.



Slika 5.38 Struktura lisnatog peciva nakon 180 dana skladištenja zamrznutog testa na -18°C

Budući da se na osnovu dobijenih rezultata potvrdio pozitivan uticaj pre svega čije, ali ne i izrazito negativan uticaj vlakana šećerne repe na tehnološka svojstva nezamrznutog i zamrznutog testa jasno je da je neophodno eksperimentalne rezultate matematički modelovati i izvršiti optimizaciju sirovinskog sastava lisnatog testa.

5.4.1 GLAVNI I INTERAKCIJSKI EFEKTI FUNKCIONALNIH DODATAKA

U cilju pravilne optimizacije sastava lisnatog testa obogaćenog funkcionalnim dodacima dobijeni eksperimentalni rezultati određivanja fizičkih osobina lisnatog testa pri biaksijalnom istezanju (žilavost, rastegljivost i lepljivost) i kvaliteta lisnatog peciva (zapremina, narastanje, čvrstoća, senzorska ocena metodom bodovanja i QDA metodom) su statistički analizirani. Analizirana je značajnost ulaznih faktora (količina čija semena, količina vlakana šećerne repe i količina ksantan gume) i njihove interakcije na pomenute izlazne faktore primenom statističke metode ANOVA i analize ostataka. Rezultati statističke obrade prikazani su tabelarno (ANOVA), perturbacionim dijagramima efekata ulaznih faktora i njihovih interakcija na posmatrane izlazne veličine.

U ovoj fazi definisani su matematički modeli na osnovu kojih je izvršena optimizacija željenih ulaznih parametra (vlakna šećerne repe - VŠR, čija seme - ČS, ksantan - K). Kao izlazni faktori odabrani su: parametri kvaliteta lisnatog testa

(žilavost - ŽT, rastegljivost - RT i lepljivost - LT) i parametri kvaliteta peciva (zapremina - ZP, narastanje – NP, čvrstoća - ČP, metoda bodovanja - MBP, QDA metoda - QDAP). Eksperimentalni podaci pomenutih izlaznih faktora su fitovani polinomom (4.16) :

$$Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_{ii}^2 + \sum \sum b_{ij} X_i X_{ij}$$

gde su: Y izlazni faktori (odzivna funkcija), X_i ulazni faktori, b_0 odsečak, b_i linearni koeficijenti, b_{ii} kvadratni koeficijenti, b_{ij} koeficijenti interakcije.

U tabeli 5.34 prikazani su rezultati deskriptivne statistike za ulazne i izlazne faktore.

Tabela 5.34 Deskriptivna statistika ulaznih i izlaznih faktora u III fazi

Faktori	Min	Max	Srednja vrednost	Standardna devijacija
Ulazni				
VŠR (%)	0	10,0	5,0	3,65
ČS (%)	0	6,0	3,0	2,19
K (%)	0	0,5	0,25	0,18
Izlazni				
Žilavost testa (g)	205,29	397,89	290,85	56,28
Rastegljivost testa (mm)	100,41	115,73	108,62	4,59
Lepljivost testa (g)	14,54	25,08	20,13	3,00
Zapremina (cm ³)	23,68	71,96	44,78	14,81
Narastanje	1,89	5,58	3,43	1,08
Čvrstoća (kgs)	19,04	41,43	26,63	5,73
Metoda bodovanja (PB)	9,47	19,97	14,98	2,48
QDA metoda	5,5	14	10,43	2,27

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma.

Jačina uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na žilavost i rastegljivost testa ispitana je korišćenjem ANOVE. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.35 može se zapaziti da od ulaznih faktora jedino vlakana šećerne repe imaju statistički značajan uticaj na oba fizička parametra lisnatog testa ($p < 0,05$). Pojedinačni uticaj drugih ulaznih faktora kao i interakcija faktora VŠR, ČS i K nemaju značajn uticaj na osobine lisnatog testa pri biaksijalnom istezanju (tabela 5.35).

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje model žilavosti testa (ŽT), odnosno rastegljivosti testa:

$$\text{ŽT} = 327,78 - 10,04 \cdot \text{VŠR} + 5,70 \cdot \text{ČS} - 15,37 \cdot \text{K} \quad (5.1)$$

$$\text{RT} = 111,56 - 1,00 \cdot \text{VŠR} + 0,485 \cdot \text{ČS} + 2,53 \cdot \text{K} \quad (5.2)$$

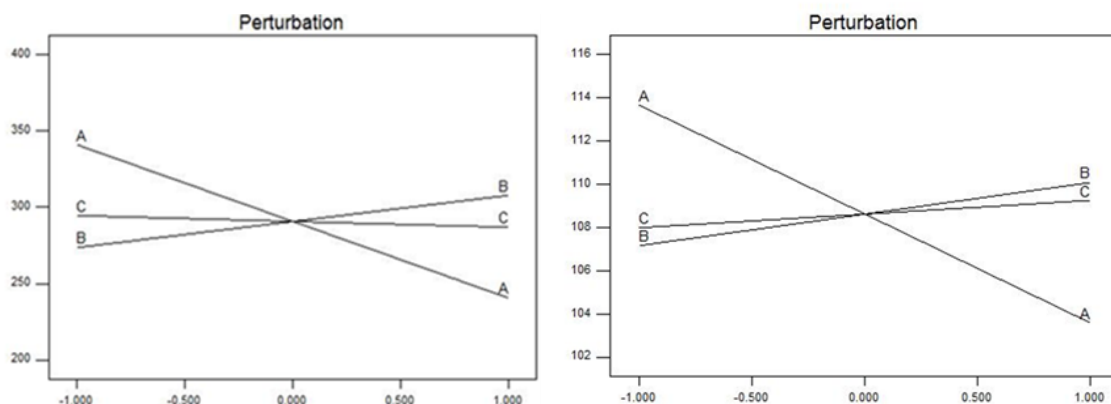
Jačina i smer delovanja ulaznih faktora (vlakna šećerne repe, čija seme i ksantan) na žilavost i rastegljivost lisnatog testa se najbolje vide na pertubacionim dijagramima (slika 5.48).

Tabela 5.35 ANOVA za fizičke osobine testa pri biaksijalnom istezanju

Faktori	SS	df	MSE	F	p
Žilavost testa (kg)					
Model	22613,06	3	7537,69	3,82	0,0426
A – VŠR (%)	20154,30	1	20154,30	10,20	0,0085
B – ČS (%)	2340,65	1	2340,65	1,19	0,2996
C – K (%)	118,12	1	118,12	0,06	0,8113
Ostatak	21726,45	11	1975,13		
Total	44339,52	14			
Rastegljivost testa (mm)					
Model	222,40	3	74,13	11,26	0,0011
A – VŠR (%)	202,21	1	202,21	30,72	0,0002
B – ČS (%)	16,99	1	16,99	2,58	0,1364
C – K (%)	3,20	1	3,20	0,49	0,5001
Ostatak	72,40	11	6,58		
Total	294,80	14			

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

Može se uočiti da ulazni faktori imaju gotovo identičan uticaj na oba fizička parametra pri biaksijalnom istezanju. Vlakna šećerne repe (VŠR) značajno smanjuju i žilavost i rastegljivost testa (slika 5.47), međutim, uticaj VŠR na smanjenje rastegljivosti je izraženije. Čija seme (ČS) i ksantan (K) imaju suprotan i statistički manje značajan efekat na pomenute parametre.



Slika 5.39 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na žilavost (levo) i rastegljivost (desno) lisnatog testa

Rezultati analize varijanse za lepljivost lisnatog testa prikazani su u tabeli 5.36. Dobijene p vrednosti potvrđuju da na pomenuti parametar kvaliteta statistički značajan uticaj ima linearni efekat vlakana šećerne repe i ksantana i kvadratni efekat ksantana.

Tabela 5.36 ANOVA za izlaznu veličinu lepljivost testa

Faktori	SS	df	MSE	F	p
Model	116,99	9	13,00	6,88	0,0235
A – VŠR	49,10	1	49,10	25,99	0,0038
B – ČS	1,16	1	1,16	0,61	0,4696
C – K	4,81	1	4,81	2,54	0,1716
AB	0,70	1	0,70	0,37	0,5701
AC	25,65	1	25,65	13,58	0,0142
BC	12,08	1	12,08	6,39	<u>0,0526</u>
A ²	4,96	1	4,96	2,62	0,1662
B ²	3,89	1	3,89	2,06	0,2108
C ²	13,63	1	13,63	7,21	0,0435
Ostatak	9,45	1	1,89		
Total	126,43	5			

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

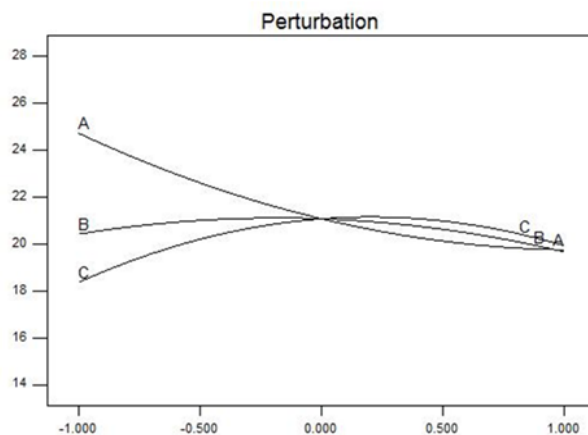
Na lepljivost testa statistički značajno utiče i interakcija vlakana šećerne repe i ksantana, dok je interakcijski efekat čija semena i ksantana prisutan, ali ne i statistički značajan.

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje model lepljivosti

testa (LT):

$$LT = 25,23 - 1,38 \cdot V\check{S}R + 0,12 \cdot \check{C}S + 1,39 \cdot K - 0,028 \cdot V\check{S}R \cdot \check{C}S + 2,03 \cdot V\check{S}R \cdot K + 2,32 \cdot \check{C}S \cdot K + 0,05 \cdot V\check{S}R^2 - 0,11 \cdot \check{C}S^2 - 30,74 \cdot K^2 \quad (5.3)$$

Jačina i smer efekata ulaznih faktora i njihovih interakcija na lepljivost testa prikazani su na slici 5.40. Primetno je da je i kod ovog izlaznog parametra smer efekta vlakana šećerne repe negativan, odnosno da se sa povećanjem količine vlakana smanjuju vrednosti lepljivosti. Čija seme i ksantan imaju suprotan i manji efekat na lepljivost testa u odnosu na vlakna šećerne repe.



Slika 5.40 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na lepljivost lisnatog testa

Jačina uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na zapreminu lisnatog peciva ispitivana je korišćenjem ANOVE i rezultati su prikazani u tabeli 5.37. Posmatrajući p vrednosti zaključuje se da samo vlakna šećerne repe imaju statistički značajan uticaj na zapreminu proizvoda.

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje model zapremine lisnatog peciva (ZP):

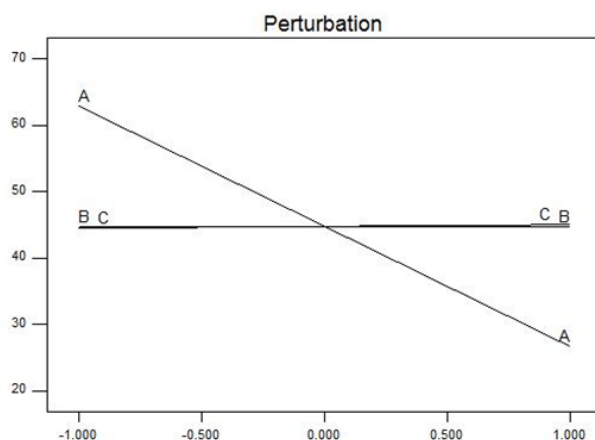
$$ZP = 62,605 - 3,62 \cdot V\check{S}R + 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot \check{C}S + 1,06 \cdot K \quad (5.4)$$

Tabela 5.37 ANOVA za izlaznu veličinu zapremina lisnatog peciva

	SS	df	MSE	F	p
Model	2618,84	3	872,95	21,30	< 0,0001
A – VŠR	2618,27	1	2618,27	63,89	< 0,0001
B – ČS	$1,125 \times 10^{-6}$	1	$1,125 \times 10^{-6}$	$2,745 \times 10^{-8}$	0,9999
C – K	0,57	1	0,57	0,014	0,9085
Ostatak	450,79	11	40,98		
Total	3069,63	14			

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

Jačina i smer uticaja vlakana šećerne repe, čija semena i ksantana i njihove interakcije na zapreminu lisnatog peciva prikazan je na perturbacionom dijagramu (slika 5.41). Sa dijagrama se može uočiti da je statistički značajan uticaj vlakana šećerne repe na zapreminu lisnatog peciva. Zavisnost pomenutog ulaznog i izlaznog faktora je negativna jer sa povećanjem količine vlakana šećerne repe dolazi do značajnog smanjenja zapremine. Uticaj čija semena i ksantana kao ulaznih faktora na zapreminu lisnatog peciva je identičan i zanemarljiv. Nezavisno od količine pomenutih funkcionalnih dodataka zapremina lisnatog peciva se ne menja.



Slika 5.41 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na zapreminu lisnatog peciva

Jačina uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na narastanje lisnatog peciva ispitivana je korišćenjem ANOVE i rezultati su prikazani u tabeli 5.38. U skladu sa rezultatima statističke analize eksperimentalnih vrednosti zapremine lisnatog peciva,

kao i činjenice o visokoj korelaciji zapremine i narastanja, na osnovu p vrednosti potvrđeno je da samo vlakna šećerne repe imaju statistički značajan uticaj na povećanje visine lisnatog peciva tokom pečenja.

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje model narastanja lisnatog peciva (NP):

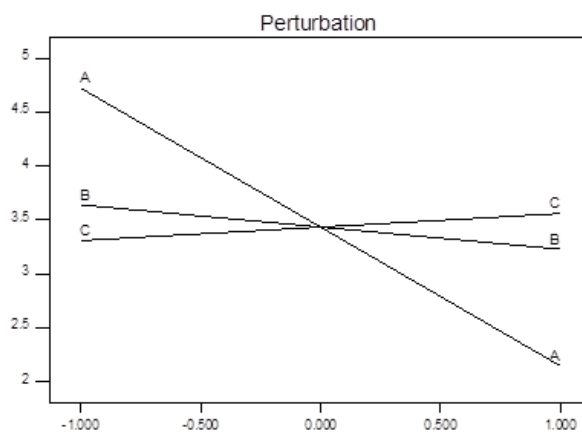
$$NP = 4,80 - 0,257 \cdot V\check{S}R - 0,0683 \cdot \check{C}S + 0,500 \cdot K \quad (5.5)$$

Tabela 5.38 ANOVA za izlaznu veličinu narastanje lisnatog peciva

	SS	df	MSE	F	p
Model	13,67	3	4,56	17,79	0,0002
A – VŠR	13,21	1	13,21	51,56	< 0,0001
B – ČS	0,34	1	0,34	1,31	0,2763
C – K	0,13	1	0,13	0,49	0,4994
Ostatak	2,82	11	0,26		
Total					

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

Jačina i smer uticaja vlakana šećerne repe, čija semena i ksantana na narastanje lisnatog peciva prikazan je na perturbacionom dijagramu na slici 5.42.



Slika 5.42 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na narastanje lisnatog peciva

Sa dijagrama (slika 5.42), može da se uoči da je statistički značajan efekat

vlakana šećerne repe, pri čemu sa povećanjem količine vlakana šećerne repe dolazi do naglog smanjenja narastanja. Uticaj čija semena je takođe negativan, ali znatno manje izražen u odnosu na vlakna šećerne repe. Sa druge strane, povećanje količine ksantana izaziva umereno povećanje visine peciva tokom pečenja.

Rezultati analize varijanse koji ukazuju na jačinu i smer uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na teksturni parametar čvrstoću lisnatog peciva prikazani su u tabeli 5.39. Na osnovu dobijenih p vrednosti potvrđeno je da samo vlakna šećerne repe imaju statistički značajan uticaj na pomenuti fizički parametar kvaliteta lisnatog peciva.

Tabela 5.39 ANOVA za izlaznu veličinu čvrstoća lisnatog peciva

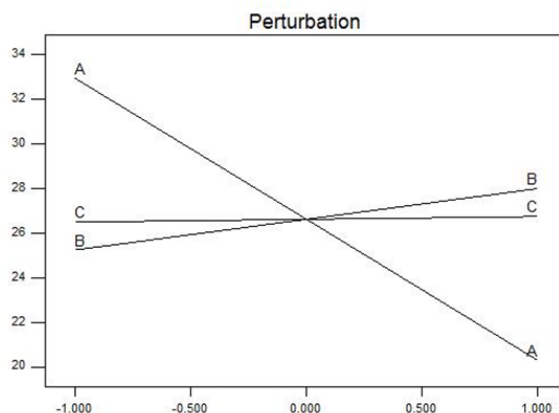
	SS	df	MSE	F	p
Model	334,01	3	111,34	9,68	0,0020
A – VŠR	318,78	1	318,78	27,71	0,0003
B – ČS	15,10	1	15,10	1,31	0,2763
C – K	0,13	1	0,13	0,011	0,9180
Ostatak	126,55	11	11,50		
Total	460,55	14			

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje model čvrstoće lisnatog peciva (ČP):

$$\text{ČP} = 31,439 - 1,262 \cdot \text{VŠR} + 0,458 \cdot \text{ČS} + 0,505 \cdot \text{K} \quad (5.6)$$

Grafički prikazan intenzitet i pravac uticaja ulaznih faktora na čvrstoću lisnatog peciva dat je perturbacionim dijagramom na slici 5.43. Evidentno je da je i čvrstoća lisnatog peciva u velikoj meri uslovljena vlaknima šećerne repe kao ulaznim faktorom, dok je uticaj čija semena i ksantana mnogo manje značajan. Sa povećanjem količine vlakana šećerne dolazi do drastičnog smanjenja zapremine što potvrđuje negativnu zavisnost ova dva faktora. Čija seme ima umeren pozitivan efekat, dok ksantan nema uticaj na čvrstoću lisnatog peciva.



Slika 5.43 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na čvrstoću lisnatog peciva

Jačina uticaja ulaznih faktora (vlakna šećerne repe, čija seme i ksantan) i njihovih interakcija na senzorsku ocenu lisnatog peciva metodom bodovanja i QDA metodom ispitana je korišćenjem ANOVE (tabela 5.40).

Tabela 5.40 ANOVA za parametre senzorskog kvaliteta lisnatog peciva kao izlazne faktore

Faktori	SS	df	MSE	F	p
Metoda bodovanja (PB)					
A – VŠR	51,36	1	51,36	17,25	0,0016
B – ČS	$2,812 \times 10^{-3}$	1	$2,812 \times 10^{-3}$	$9,44 \times 10^{-4}$	0,9760
C – K	2,18	1	2,18	0,73	0,4100
QDA metoda					
A – VŠR	50,00	1	50,00	25,81	0,0004
B – ČS	0,00	1	0,00	0,00	1,000
C – K	1,12	1	1,12	0,58	0,4620

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; SS – suma kvadrata; df – stepen slobode; MSE – srednja vrednost kvadrata; F – odnos, p vrednost.

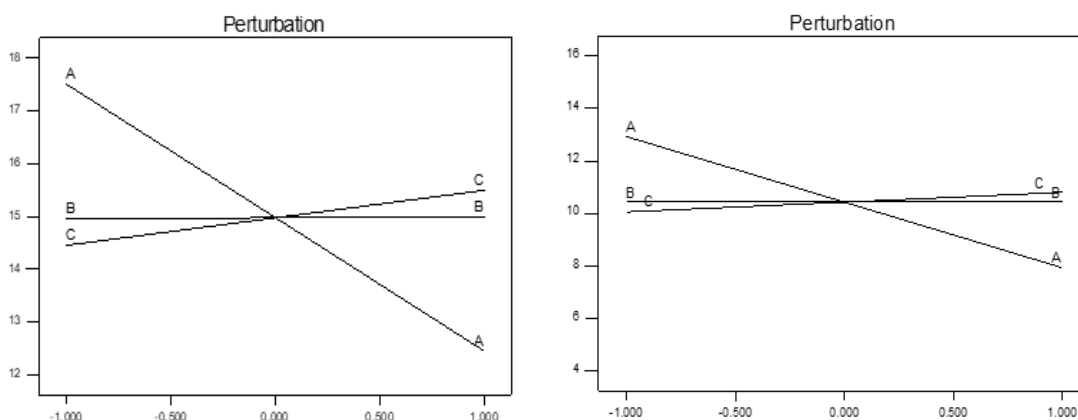
S obzirom na rezultate statističke obrade parametara kvaliteta lisnatog testa i fizičkih parametara kvaliteta lisnatog peciva potpuno je očekivano da i na senzorske parametre, koji definišu kvalitet lisnatog peciva metodom bodovanja i QDA metodom, vlakna šećerne repe imaju najizraženiji uticaj.

Primenom regresione analize dobijena je funkcija koja opisuje modele senzorske ocene lisnatog peciva metodom bodovanja (MBP) i QDA metodom (QDAP):

$$\text{MBP} = 16,97 - 0,51 \cdot \text{VŠR} + 6,25 \cdot \text{ČS} + 2,09 \cdot \text{K} \quad (5.7)$$

$$\text{QDAP} = 12,56 - 0,50 \cdot \text{VŠR} - 3,40 \times 10^{-16} \cdot \text{ČS} + 1,50 \cdot \text{K} \quad (5.8)$$

Perturbacionim dijagramima na slici 5.44 prikazan je intenzitet i pravac uticaja ulaznih faktora na senzorsku ocenu kvaliteta lisnatog peciva.



Slika 5.44 Perturbacioni dijagram efekata A (vlakna šećerne repe), B (čija seme) i C (ksantan) na senzorsku ocenu metodom bodovanja (levo) i QDA metodom (desno)

Na osnovu grafika (slika 5.44) može se uočiti da najveći efekat na senzorsku ocenu lisnatog peciva i metodom bodovanja i QDA metodom imaju vlakna šećerne repe, što je u skladu sa rezultatima analize varijanse ($p < 0,05$) prikazanim u tabeli 5.40. Sa povećanjem količine vlakana pogoršava se kvalitet lisnatog peciva, pri čemu je negativna promena kvaliteta lisnatog peciva u celini po metodi bodovanja izraženija u odnosu na pogoršanje parametara strukture koji se ocenjuju QDA metodom. Čija seme gotovo da nema uticaj na senzorski kvalitet peciva, dok je uticaj ksantana pozitivan ali slabo izražen i to naročito kada je u pitanju kvalitet strukture lisnatog peciva.

U cilju smanjenja negativnih efekata šok zamrzavanja na tehnološki kvalitet lisnatog testa primenom željene funkcije određena je optimalna količina čija semena i vlakana šećerne repe u sirovinskom sastavu lisnatog peciva sa dodatkom integralnog pšeničnog brašna. Pored funkcionalnih dodataka optimizovana je i količina ksantana,

čija je uloga u proizvodnji zamrznutih pekarskih proizvoda tehnološka. Ksantan zahvaljujući svojim hidrokolooidnim svojstvima utiče na reološka svojstva testa, na raspodelu vode i kontrolu migracije vode tokom skladištenja zamrznutog testa (Linden, Lorient, 1999). Odabrani izlazni faktori i postavljeni kriterijumi optimizacije prikazani su u tabeli 5.41.

Tabela 5.41 Kriterijumi optimizacije sastava funkcionalnog lisnatog peciva

Ulazni i izlazni faktori	Kriterijumi		Najniža vrednost	Najviša vrednost
	Cilj	Značajnost		
A – VŠR (%)	u opsegu	3	0	10,0
B – ČS (%)	u opsegu	3	0	6,0
C – K (%)	u opsegu	3	0	0,5
Zapremina (cm ³)	ciljano: 55,0	4	23,7	60
Narastanje	ciljano: 4,8	3	1,89	5,58
Metoda bodovanja (PB)	ciljano: 18,0	4	9,5	17,6
QDA metoda	ciljano: 13,0	4	5,5	14,0

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma.

U tabeli 5.42 prikazano je optimizaciono rešenje maksimalne vrednosti željene funkcije D od 0,89 i predikcione vrednosti izlaznih faktora. Na osnovu optimizacionog rešenja, u skladu sa postavljenim ciljevima optimizacije ulaznih faktora, optimalan sirovinski sastav funkcionalnog lisnatog peciva je 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čija semena i 0,5% ksantana.

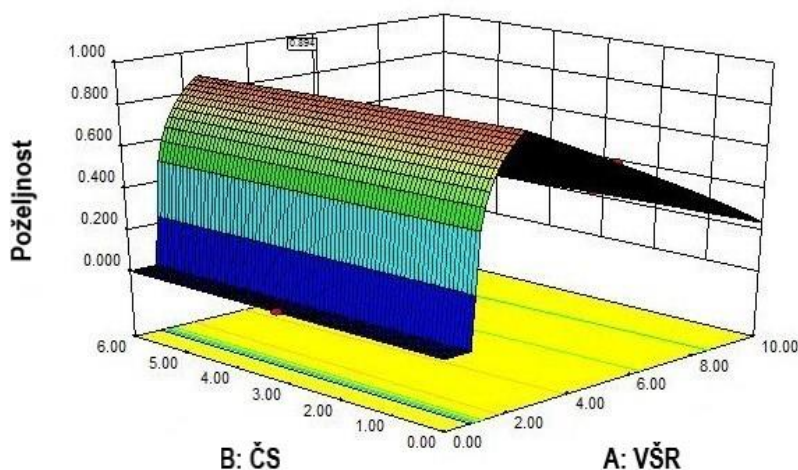
Tabela 5.42 Predikciono optimizaciono rešenje za sastav testa i predikcione vrednosti optimizovanih parametara kvaliteta lisnatog peciva

VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	D
<u>2,25</u>	<u>3,60</u>	<u>0,5</u>	<u>55,00</u>	<u>4,22</u>	<u>16,90</u>	<u>12,18</u>	<u>0,89</u>

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K – ksantan guma; D – vrednost željene funkcije (desirability)

Na slici 5.45 prikazan je 3D dijagram zavisnosti željene funkcije (D) od količine vlakana šećerne repe i čija semena. Može se uočiti da promena količine čija semena nema uticaja na D, dok vlakna šećerne repe imaju značajan uticaj. Povećanjem količine vlakana šećerne repe do 5% dolazi do intenzivnog povećanja vrednosti

željene funkcije. Međutim, dalje povećanje udela vlakana uzrokuje pad pomenutog parametra optimizacije.



Slika 5.45 Grafički prikaz uticaja vlakana šećerne repe VŠR i čija semena ČS na vrednost željene funkcije

Nakon matematičkog modelovanja eksperimentalnih rezultata ispitivanja efekata šok zamrzavanja na fizičke i senzorske osobine lisnatog peciva izvršena je verifikacija optimalnog uzorka po Design-Expert-u (OD) maksimalne željene funkcije sirovinskog sastava 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čija semena i 0,5% ksantana.

5.5 VERIFIKACIJA OPTIMALNOG SASTAVA FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA

U cilju potpunijeg sagledavanja doprinosa optimalnog sirovinskog sastava smanjenju negativnih efekata šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva, pored odabranog optimalnog uzorka OD, pripremljen je i kontrolni uzorak KU (osnovno testo bez vlakana šećerne repe, čija semena i ksantana) i dva uzorka koja su na osnovu eksperimentalnih rezultata nakon zamrzavanja i skladištenja 30 dana na -18°C imali vrlo dobar senzorski kvalitet: uzorak OE1 sa 6% čija semena i 0,25% ksantana i uzorak OE2 bez čije i ksantana, sa 5% vlakana šećerne repe.

U ovoj fazi istraživanja ispitan je i uticaj sirovinskog sastava na reološka svojstva osnovnog testa i lisnatog testa nakon finalnog laminiranja. Kao i u III fazi istraživanja deo uzoraka je ispečen od nezamrznutog testa, a deo uzoraka je zamrznut na $t_z -35^{\circ}\text{C}$ do postizanja temperature u središtu $t_t -10^{\circ}\text{C}$ i skladišten 120 dana. Na bazi reoloških ispitivanja i razlika u senzorskim parametrima kvaliteta peciva od nezamrznutog i zamrznutog testa izvršena je verifikacija optimalnog rešenja koje je dobijeno matematičkim modelovanjem eksperimentalnih rezultata III faze istraživanja.

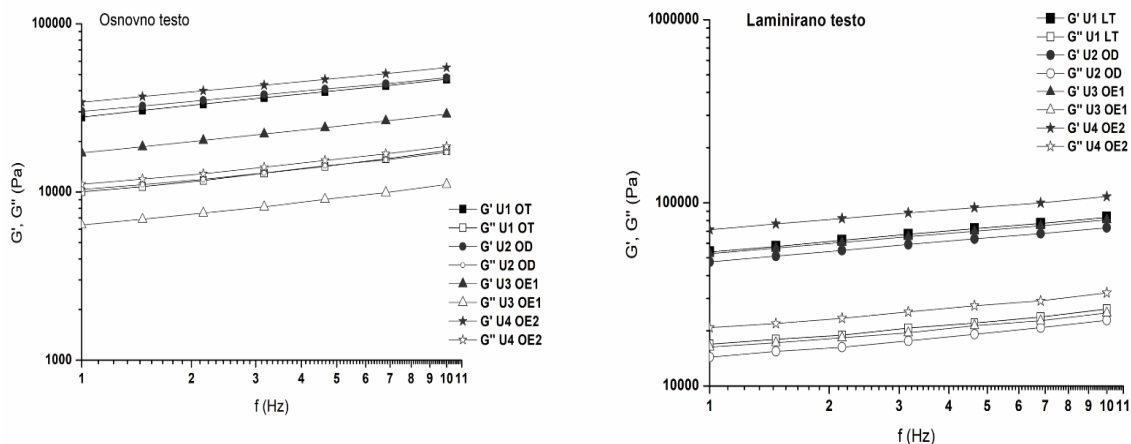
5.5.1 REOLOŠKA SVOJSTVA OPTIMALNIH UZORAKA TESTA

S obzirom na činjenicu da prisustvo funkcionalnih dodataka u sirovinskom sastavu optimalnih uzoraka OE1, OE2 i OD može uticati na reološka svojstva testa primenom fundamentalnih reoloških metoda, dinamičkih oscilatornih merenja i testa puzanja i oporavka ("creep-recovery"), određeni su relevantni reološki parametri uzoraka osnovnog testa i laminiranog testa nakon finalnog istanjivanja. Uticaj vlakana šećerne repe i čija semena kao funkcionalnih dodataka i ksantana, čija je uloga u proizvodnji zamrznutog lisnatog testa tehnološka, na reološka svojstva testa utvrđen je na osnovu promene elastičnog G' i viskoznog G'' modula kao i reoloških

parametara u fazi puzanja i fazi oporavka optimalnih uzoraka OE1, OE2 i OD u odnosu na kontrolni uzorak.

Dinamička oscilatorna merenja

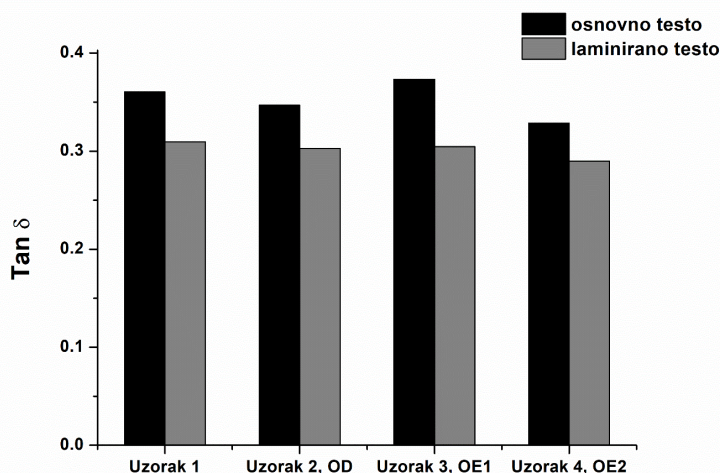
Oba posmatrana modula, moduo elastičnosti G' i moduo viskoznosti G'' , za sve posmatrane uzorke bili su u posmatranom opsegu oscilatornog merenja, pri čemu je uočen blagi porast vrednosti sa porastom frekvencije. Pomenuta promena viskoelastičnih modula kao i konstantna dominacija elastičnog G' nad viskoznim modulom G'' ukazuju na tipičnu viskoelastičnu prirodu umrežene strukture testa (Bonnand-Ducasse i sar., 2010). Na osnovu grafika na slici 5.46 može se uočiti visoka podudarnost između viskoelastičnih modula uzorka OD i kontrolnog uzorka i kod osnovnog testa i kod laminiranog testa. Izraženije vrednosti elastičnog i viskoznog modula u odnosu na ostale uzorke zabeležene su kod uzorka OE2 sa 5% vlakana šećerne repe. Pomenuta zapažanja su usaglašena sa istraživanima Gómez i sar. (2004) koji ukazuju na značajan uticaj prehrambenih vlakana pre svega na hidrataciju strukturnih komponenti testa tokom zamesa, a kasnije i na njegovu rastegljivost koja je svakako uslovljena viskoelastičnom prirodom posmatranog reološkog sistema.



Slika 5.46 Promene elastičnog (G') i viskoznog (G'') modula sa porastom frekvencije

Posmatranjem odnosa elastičnog i viskoznog modula dobijena je vrednost

viskoelastičnog parametra $\tan \delta = G''/G'$, koji opisuje doprinos viskoznih odnosno elastičnih komponenata u strukturi testa i time ukazuje na ukupan odgovor sistema na dejstvo primenjenih nedestruktivnih sila (Marchetti i sar., 2012; Bravo-Nuñez i sar., 2018). Na slici 5.47 je uočljiva dominacija elastičnog modula nad viskoznom, s obzirom da su vrednosti parametra $\tan \delta$ za sve uzorke manje od 1, odnosno u intervalu od 0,290 do 0,373.



Slika 5.47 Vrednosti parametra $\tan \delta$

Takođe se može zapaziti nešto izraženija razlika između vrednosti elastičnog i viskoznog modula nakon finalnog laminiranja testa (slika 5.46). To potvrđuju i vrednosti reološkog parametra $\tan \delta$ (slika 5.47), gde su vrednosti pomenutog parametra svih uzoraka osnovnog testa više u odnosu na uzorke laminiranog testa. Povećanje parametra $\tan \delta$ direktno je povezano sa smanjenom dominacijom elastičnog modula i porastom doprinosa viskozne komponente u sistemu (Sarabhai i sar., 2017). Prema tome, postupak laminiranja je ojačao elastičnu komponentu testa i doprineo jačanju njegove strukture.

Viskoelastična priroda uzoraka testa dalje se može opisati nagibom krive linearne zavisnosti između G' i frekvencije, na osnovu jednačine $G' = G_0 \omega$, koja se obično koristi za predviđanje viskoelastičnih karakteristika polimera (Ahmed i sar., 2013). Na osnovu prikazanih vrednosti G_0' uočljivo je da se uzorak OE2 izdvaja od ostalih ispitivanih uzoraka po izraženom elastičnom modulu. Takođe, porast vrednosti

G_0' pokazuje da postupak laminiranja značajno doprinosi jačanju elastičnog modula uzoraka testa, što potvrđuje prethodnu reološku analizu viskoelastičnih modula. Dobra zavisnost modula elastičnosti od frekvencije za posmatrane uzorke potvrđena je visokim vrednostima koeficijenta determinacije $R^2 > 0,99$, tabela 5.43), koji ukazuje na visoku podudarnost sa regersionom jednačinom linearne zavisnosti (power law modelom zavisnosti). Sa druge strane visok koeficijent podudarnosti takođe opisuje uzorke testa kao viskoelastične umrežene sisteme duž celog posmatranog opsega frekvencije (Leroy i sar., 2010). Prema autorima Ortolan i sar. (2017) iz power law jednačine mogu se odrediti i vrednosti nagiba zavisnosti G' od frekvencije, prikazane u tabeli 5.43.

Tabela 5.43 Parametri power law jednačine zavisnosti modula G' od frekvencije

	Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	G_0' (kPa) \pm SD	$n \pm$ SD	$R^2 \pm$ SD
Osnovno testo	KU	0	0	0	28,03	0,222	0,9999
	OD	2,25	3,6	0,5	30,11	0,200	0,9999
	OE1	0	6	0,25	17,00	0,232	0,9999
	OE2	5	0	0	34,14	0,205	0,9999
Laminirano testo	KU	0	0	0	53,83	0,190	0,9998
	OD	2,25	3,6	0,25	47,60	0,186	0,9999
	OE1	0	6	0,25	52,70	0,184	0,9999
	OE2	5	0	0	71,60	0,178	0,9996

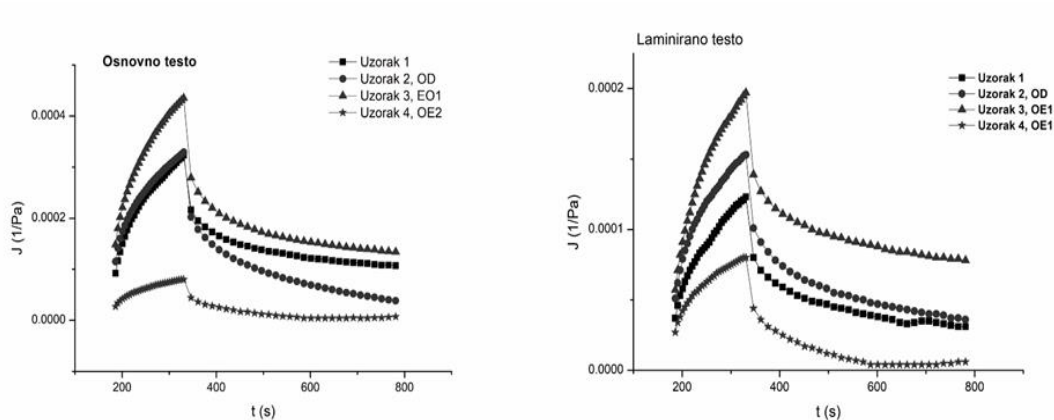
KU – kontrolni uzorak, OE1 i OE2 – optimalni eksperimentalni, OD – optimalni po Design-Expert-u; VŠR – vlakna šećerne repe, ČS – čija seme, K – ksantan guma; G_0' – odsečak prave zavisnosti na x osi, n – odgovarajući nagib krive zavisnosti, R^2 – koeficijent determinacije.

Nakon laminiranja testa vrednosti nagiba n opadaju. Pad nagiba krive zavisnosti G' od frekvencije direktna je posledica izraženijih mehaničkih svojstava testa karakterističnih za čvrsta tela (Ahmed i sar., 2013), koja doprinose većoj tvrdoći testa. Generalno, niže vrednosti nagiba ukazuju na viskoelastično ponašanje koje je manje zavisno od primenjene frekvencije i povezano je sa većim stepenom izduženja unutar strukture (Renzetti i sar., 2016). Zbog toga su vrednosti nagiba za laminirano testo niže u odnosu na vrednosti za osnovno testo i posledica su biaksijalnog istezanja tokom faze laminiranja testa (Hay, 1993).

Test puzanja i oporavka

Ispitivanje krivi puzanja i oporavka sistema nakon dejstva napona omogućavaju karakterizaciju viskoelastičnog ponašanja testa u dužim vremenskim intervalima i određivanje otpornosti viskoelastičnih i viskozni sistema na dejstvo nedestruktivne sile (Bonnand–Ducasse i sar., 2010).

Na slici 5.48 prikazane su krive puzanja i oporavka ispitivanih uzoraka testa.



Slika 5.48 Krive puzanja i oporavka uzoraka osnovnog i laminiranog testa

Tabela 5.44 Parametri Burger's modela za krive puzanja i oporavka testa

Uzorak		Faza puzanja						Faza oporavka				
		$J_1 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$J_1 \cdot 10^{-4}$ (1/Pa)	$\eta_0 \cdot 10^6$ (Pas)	λ_1 (s)	$J_{max_4} \cdot 10^{-}$ (1/Pa)	R^2	$J_0 \cdot 10^{-4}$ (1/Pa)	$J_1 \cdot 10^{-5}$ (1/Pa)	$\eta_0 \cdot 10^6$ (Pas)	λ_1 (s)	R^2
Osnovno testo	KU	9,25	1,064	1,026	143,8	3,225	0,9937	2,160	3,536	7,291	339,7	0,8314
	OD	11,49	1,084	1,007	143,8	3,286	0,9933	2,023	1,243	20,074	339,7	0,9951
	OE1	14,79	1,437	7,592	143,7	4,355	0,9956	2,790	4,429	5,819	339,6	0,8084
	OE2	2,744	2,653	41,14	143,8	0,831	0,9931	0,437	0,219	11,78	339,6	0,9890
Laminirano testo	KU	3,721	0,405	2,696	143,9	1,227	0,9971	0,8022	1,035	24,91	339,7	0,8909
	OD	5,070	5,055	2,160	143,9	1,532	0,9921	1,109	1,203	21,43	339,7	0,9059
	OE1	5,694	0,6509	1,677	143,8	1,972	0,9948	1,388	2,573	10,02	339,6	0,8052
	OE2	2,744	0,2653	4,114	143,8	0,8039	0,9931	0,4375	0,2189	11,78	339,6	0,9660

KU – kontrolni uzorak bez vlakana, čije i ksantana; OE1 – optimalni eksperimentalni bez vlakana sa 6% čije i 0,25% ksantana; OE2 – optimalni eksperimentalni bez čije i ksantana, sa 5% vlakana; OD – optimalni po Design-Expert-u sa 2,25% vlakana, 3,6% čije i 0,5% ksantana;

J_0 - početna popustljivost sistema; J_1 - viskoelastična naknadna popustljivost; η_0 – njutnovski viskozitet; λ_1 – vreme usporavanja; J_{max} - maksimalna popustljivost izmerena na kraju faze puzanja; R^2 – koeficijent determinacije.

Visok koeficijent determinacije, $R^2 = 0,80-0,99$, potvrdio je veliku podudarnost dobijenih krivi sa jednačinom Burger's modela za krive puzanja i oporavka sistema. Na osnovu prikazanih parametara u tabeli 5.44 uočljivo je da se uzorak OE2 izdvaja po izraženo nižim vrednostima kompliance, odnosno prilagodljivosti testa dejstvu napona tokom faze puzanja. Niže vrednosti parametara J_0 , J_1 i J_{max} ukazuju da je testo OE2 male elastičnosti i izražene tvrdoće u odnosu na ostale uzorke. To potvrđuje i izrazito veća vrednost viskoziteta za ovaj uzorak, odnosno parametra η_0 .

Nakon faze laminiranja odstupanje reoloških parametara pomenutog uzorka u odnosu na druge uzorke testa je i dalje izraženo, ali u mnogo manjoj meri nego kod osnovnog nelaminiranog testa. Bliske vrednosti viskoziteta i prilagodljivosti osnovnog testa dejstvu napona imaju uzorak OD i kontrolni uzorak. Na osnovu parametara krivi puzanja i oporavka sistema uzorka laminiranog testa može se uočiti da je sličnost između uzorka OD i KU i nakon formiranja lisnate strukture testa i dalje prisutna.

Dobijeni rezultati fundamentalnih reoloških merenja potvrđuju da je sirovinski sastav uzorka OD imao najmanji uticaj na promenu reoloških svojstava testa u odnosu na kontrolni uzorak, što ukazuje da će i tehnološka svojstva zamrznutog testa i kvalitet peciva biti bar na nivou kontrolnog uzorka bez dodatka vlakana šećerne repe i čija semena. Osim toga, reološka svojstva testa uzorka OD ukazuju i da je matematički model validan.

Fizičke osobine laminiranog testa pri biaksijalnom istezanju

Budući da su rezultati I i II faze istraživanja potvrdili da postoji određena korelacija između žilavosti i rastegljivosti lisnatog testa nakon finalnog laminiranja kvaliteta lisnatog peciva i u ovom delu su određena fizička svojstva testa pri biaksijalnom istezanju. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je u kojoj meri sirovinski sastav optimalnih uzoraka OE1, OE2 i OD utiče na promenu žilavosti i rastegljivosti u odnosu na kontrolni uzorak.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5.45 može se uočiti postojanje razlika u vrednostima žilavosti i rastegljivosti laminiranog testa između uzoraka. Žilavost testa je u intervalu od 393,90 do 489,61 g, pri čemu je minimalna vrednost dobijena kod uzorka OE2, a maksimalna kod uzorka OD. U skladu sa rezultatima

fundamentalnih reoloških merenja kod uzorka OE2 su fizička svojstva značajno drugačija u odnosu na kontrolni uzorak, ali i uzorke OE1 i OD. Međutim, žilavost testa kod uzorka OE2 je u intervalu optimalnih vrednosti 380-420 g, koji omogućava dobijanje lisnatog peciva vrlo dobrog kvaliteta. Vrednost žilavosti uzorka OE1 je malo iznad gornje granice koju je definisala Šoronja Simović (2009), dok su vrednosti žilavosti kod uzoraka OD i KU veće za oko 15% od optimalne vrednosti u pomenutom istraživanju.

Tabela 5.45 Fizičke osobine optimalnih uzoraka laminiranog testa

Uzorak	Žilavost (g)	Rastegljivost (mm)
KU	486,14 ± 42,86	31,16 ± 0,86
OE1	434,34 ± 28,09	23,38 ± 0,96
OE2	393,90 ± 16,65	21,35 ± 0,75
OD	489,61 ± 27,33	30,44 ± 1,30

KU – kontrolni uzorak bez vlakana, čije i ksantana; OE1 – optimalni eksperimentalni bez vlakana sa 6% čije i 0,25% ksantana; OE2 – optimalni eksperimentalni bez čije i ksantana, sa 5% vlakana; OD – optimalni po Design-Expert-u sa 2,25% vlakana, 3,6% čije i 0,5% ksantana.

Rastegljivost testa pri biaksijalnom istezanju je u intervalu od 21,35 do 31,16 mm. Uzorak OE2 sa minimalnom žilavošću imao je i minimalnu rastegljivost, dok je kontrolni uzorak pružao najmanji otpor sili istezanja. U skladu sa dobijenim rezultatima fundamentalnih reoloških merenja manja prilagodljivost testa dejstvu napona kod uzorka OE2 odrazila se i na smanjenje rastegljivosti testa i to za više od 30%. Kod uzorka OE2 sa 6% čija semena i 0,25% ksantana takođe je došlo do smanjenja rastegljivosti pri biaksijalnom istezanju za 25% u odnosu na kontrolni uzorak, dok je uzorak laminiranog testa OD imao rastegljivost na nivou kontrolnog uzorka. U skladu sa rezultatima fundamentalnih reoloških merenja i pri biaksijanom istezanju je potvrđeno slično ponašanje optimalnog uzorka OD i kontrolnog uzorka KU, što još jednom ukazuje da dodatak 2,25% vlakana šećerne repe ne utiče negativno na reološka svojstva testa.

5.5.2 EFEKAT ŠOK ZAMRZAVANJA NA KVALITET LISNATOG PECIVA OPTIMALNOG SASTAVA

U tabeli 5.46 prikazani su rezultati ocenjivanja senzorskog kvaliteta uzoraka peciva od nezamrznutog i zamrznutog testa nakon 120 dana skladištenja. Na osnovu dobijenih rezultata evidentno je da su pogoršanja kvaliteta lisnatog peciva od nezamrznutog testa u odnosu na kontrolni uzorak uslovljena količinom i vrstom funkcionalnih sirovina u sirovinskom sastavu optimalnih uzoraka. Svi parametri kontrolnog uzorka spoljni izgled, struktura, miris i ukus ocenjeni su relativno visokim ocenama što je rezultiralo ukupnom broju ponderisanih bodova 17,6, odnosno kategoriji kvaliteta vrlo dobar. Uzorci OE1 i OD su imali vrlo dobar senzorski kvalitet, pri čemu su ukupan broj ponderisanih bodova kao i zbir ocena za strukturu sredine bili maksimalni kod uzorka OE1. Interesantno je da je struktura peciva OE1 čak bila značajno bolja i od kontrolnog uzorka. Listanje je bilo izraženije i ravnomernije, slojevi tanji a krupne pore ravnomerno raspoređene.

Tabela 5.46 Senzorski parametri kvaliteta lisnatog peciva uzoraka optimalnog sirovinskog sastava od nezamrzavanog i zamrzavanog testa

Uzorak	Metoda bodovanja (PB)		QDA metoda	
	nezamrznuto testo	zamrznuto testo	nezamrznuto testo	Zamrznuto testo
KU	17,6 – vrlo dobar	17,2 – vrlo dobar	13,5	12,0
OE1	17,8 – vrlo dobar	15,8 – vrlo dobar	14,5	10,5
OE2	15,7 – vrlo dobar	13,6 – dobar	10,5	8,5
OD	16,6 – vrlo dobar	16,4 – vrlo dobar	11,5	11,0

KU – kontrolni uzorak bez vlakana, čije i ksantana; OE1 – optimalni eksperimentalni bez vlakana, sa 6% čije i 0,25% ksantana; OE2 – optimalni eksperimentalni bez čije i ksantana, sa 5% vlakana; OD – optimalni po Design-Expert-u sa 2,25% vlakana, 3,6% čije i 0,5% ksantana; PB – ponderisani bodovi (min 5; max 20); QDA (min 0, max 15).

Uzorak peciva OD je bio karakteristične boje, delimično simetričnog i pravilnog oblika, povezane kore. Struktura mu je bila manje slojevita i neravnomerna, sa delimično prisutnim slepljenim slojevima i uglavnom sitnijim porama. Miris i ukus pomenutog peciva bili su svojstveni, zaokruženi i delimično aromatični, a topivost odlična. Uzorak OE2 sa 5% vlakana šećerne repe imao je najlošiji kvalitet što potvrđuje minimalan broj bodova 15,8 za celokupan kvalitet

peciva metodom bodovanja i 10,5 bodova za kvalitet sredine peciva određen QDA metodom.

Na slici 5.49 prikazana je struktura lisnatog peciva od nezamrznutog testa kontrolnog uzorka, uzorka OE1 sa 6% čija semena i 0,25% ksantana, uzorka OE2 sa samo 5% vlakana šećerne repe i optimalnog uzorka OD sa 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čije i 0,5% ksantana.

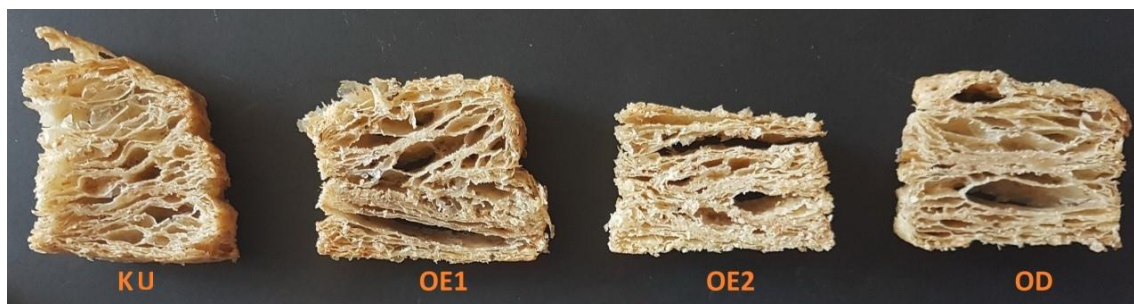


Slika 5.49 Struktura lisnatog peciva kontrolnog i optimalnih uzoraka (s leva na desno uzorci KU, OE1, OE2 i OD)

Rezultati senzorske ocene peciva od zamrznutih uzoraka lisnatog testa su u skladu sa očekivanjima. Kod kontrolnog uzorka i uzorka OE1 i OD nije došlo do značajnog pogoršanja kvaliteta peciva u celini, što potvrđuje identična kategorija kvaliteta kao kod peciva od nezamrznutog testa. Međutim, na osnovu rezultata QDA metoda evidentno je da su promene relevantnih parametara strukture najmanje kod uzorka OD (oko 5%), a najveće kod uzorka OE1 kod kojeg je zbir ocena smanjen za čak 27%. U celini se može konstatovati da se šok zamrzavanje kod uzorka OD najviše odrazilo na spoljni izgled i ukus, dok je struktura peciva ostala nepromenjena. Iako je kod uzorka OE2 šok zamrzavanje i duže skladištenje uticalo na promenu kategorija kvaliteta iz vrlo dobar u dobar, smanjenje zbira ocena za strukturu sredine je bilo manje nego kod uzorka OE1. Pomenuta zapažanja se mogu objasniti manjin zbirom ponderisanih bodova kod peciva OE2 od nezamrznutog testa, koji je bio na donjoj granici intervala kategorije kvaliteta vrlo dobar (15,7-17,8). Minimalne promene u bilo kom parametru kvaliteta (spoljni izgled, struktura, miris, ukus) uzrokovane šok zamrzavanjem testanih komada uzorka OE2 su se neminovno morale odraziti i na ukupan broj ponderisanih bodova koji definiše kategoriju kvaliteta lisnatog peciva.

Struktura funkcionalnog lisnatog peciva od zamrznutog testa nakon 120 dana skladištenja prikazana je na slici 5.50. Na osnovu slike vidi se da je

narastanje peciva OE2 značajno manje u odnosu na druge uzorke, što se neminovno odrazilo i na kvalitativne parametre strukture (neravnomerna slojevitost, neujednačena veličina pora, prisustni slaninasti slojevi).



Slika 5.50 Struktura lisnatog peciva od zamrznutog testa nakon 120 dana skladištenja

Takođe se može uočiti da uzorci OE1 i OD, uprkos prisutnim razlikama u odnosu na kontrolni uzorak, imaju karakterističnu i ravnomerno slojevitu strukturu koja daje specifična senzorska svojstva lisnatom pecivu. Treba istaći da su uzorci OE1 i OD obogaćeni funkcionalnim dodacima, što je moglo uticati i na pad kvaliteta u odnosu na tradicionalne proizvode. Dodatak iznad 5% prehrambenih vlakana u sirovinski sastav pekarskih proizvoda, usled interakcije vlakana sa strukturnim komponentama testa (gluten i skrob), može značajno da naruši reološka svojstva testa i kvalitet proizvoda (Gómez, 2004). Ktenioudaki i Gallagher (2012) ističu da je za smanjenje negativnih efekata vlakana na kvalitet pekarskih proizvoda neophodna primena aditiva za jačanje glutenske strukture ili modifikacija postupka proizvodnje (upotreba kiselog testa, duža fermentacija, procesni parametri). Od aditiva za jačanje glutenske strukture testa sa dodatkom vlakana najčešće se koriste vitalni gluten, oksidaciona sredstva i emulgatori (Gómez, 2003). Literaturni podaci ukazuju da i dodatak čije smanjuje specifičnu zapreminu, pogoršava teksturne i senzorske parametre kvaliteta hleba, ali ne utiče na njegovu prihvatljivost od strane potrošača (Coelho, Salas-Mellado, 2015). S obzirom da je kod uzorka OD sa vlakanima šećerne repe i čija semena postignut vrlo dobar senzorski kvalitet bez upotrebe poboljšivača za jačanje glutenske strukture, svakako se može konstatovati da prisustvo pomenutih funkcionalnih dodataka ne umanjuje tehnološki kvalitet zamrznutog testa, već naprotiv obezbeđuje poboljšanje pojedinih parametara kvaliteta strukture lisnatog peciva.

5.5.3 NUTRITIVNI KVALITET FUNKCIONALNOG LISNATOG PECIVA

Pored vrlo dobrog senzorskog kvaliteta treba istaći, da dodatak vlakana šećerne repe i čija semena utiče i na poboljšanje nutritivnog kvaliteta lisnatog peciva. U tabeli 5.47 prikazani su rezultati određivanja nutritivnog sastava uzoraka KU, OE1, OE2 i OD.

Na osnovu prikazanih rezultata evidentno je da svi uzorci, nezavisno od sirovinskog sastava, imaju velik sadržaj masti što je generalno posledica procentualnog udela margarina za laminiranje u sirovinskom sastavu lisnatog testa. Da bi se formirala karakteristična slojevita strukture lisnatog peciva udeo namenskog margarina je u granicama od 50 do čak 100% na masu brašna (*Cauvain, Young, 2001; Simović i sar. 2009*). Uprkos višedecenijskim nastojanjima naučne i stručne javnosti da se smanjenjem sadržaja masti poboljša nutritivna vrednost lisnatog peciva jedino je potpuno rešen problem povećanog udela *trans* masnih kiselina (*Trans fatty acids, TFA*) koje predstavljaju rizik faktor mnogih bolesti savremenog društva (*Stender i sar., 2008; Wijesundera i sar. 2007; Šoronja Simović, 2009*). Međutim, problem povećanog prisustva zasićenih masnih kiselina (*Saturated fatty acids, SAFA*), a naročito aterogenih (miristinska, palmitinska i stearinska) u *low trans* namenskim margarinima, postao je još izraženiji. S obzirom da se optimalna fizička svojstva namenskih margarina dobijaju kada je SAFA + TFA na nivou $50 \pm 1\%$, smanjenje *trans masnih* kiselina moralo je dovesti do značajnog povećanja SAFA (*Šoronja Simović, 2009*). Rezultati prikazani u tabeli 5.47 potvrđuju da je udeo zasićenih masnih kiselina u lisnatom pecivu u granicama od 14,35 do 15,59%. Pomenuta količina SAFA u 100 g lisnatog peciva obezbeđuje čak 7% dnevno potrebne energije, a prema preporukama Svetske zdravstvene organizacije dnevni unos pomenutih masnih kiselina treba da obezbedi 10% dnevnih energetskih potreba (*World Health Organization, 2014*).

Energetska vrednost uzorka OE1 bez vlakana, sa 6% čije i 0,25% ksantana je maksimalna. Sadržaj masti je malo povećan, udeo svarljivih ugljenih hidrata smanjen, dok je udeo proteina na nivou kontrolnog uzorka. Pomenute promene su svakako u skladu sa hemijskim sastavom čija semena (*Coelho, Salas-Mellado, 2015; <https://fdc.nal.usda.gov>*) i njenim udelom u sirovinskom sastavu pomenutog

uzorka. Dobijeni rezultati su u skladu sa literaturnim podacima Zettel i Hitzmann (2018) vezanim za promenu nutritivnog sastava hleba sa dodatkom čija semena. Povećanje količine ukupnih prehrambenih vlakana sa 3,44 na 5,04 g/100 g nije dovoljno da bi se pri deklarisanju lisnatog peciva ovog sirovinskog sastava koristila nutritivna izjava “bogat vlaknima”, već nutritivna izjava kao i kod kontrolnog uzorka “izvor vlakana”. Međutim, treba istaći da je kod uzorka OE1 postignut odnos nerastvorljivih i rastvorljivih vlakana vrlo blizak idealnom od 3:1 (Šoronja Simović, 2005).

Tabela 5.47 Nutritivni sastav i energetska vrednost na 100 g lisnatog peciva

Nutrijenti	KU	OE1	OE2	OD
Energetska vrednost (kJ/kcal)	1926/460	1968/470	1855/443	1909/456
Masti (g)	27,78	29,71	27,22	26,57
<i>Od toga zasićene masne kiseline (g)</i>	15,50	15,99	14,78	14,35
Ugljeni hidrati (g)	42,15	39,55	39,49	42,92
Ukupna prehrambena vlakna (g)	3,44	5,04	5,63	6,17
<i>Nerastvorljiva vlakna (g)</i>	2,37	3,77	4,35	3,98
<i>Rastvorljiva vlakana (g)</i>	0,62	1,16	1,09	1,49
Proteini (g)	8,66	8,66	7,28	8,30
So (g)	1,21	1,13	1,18	1,19
Gvožđe (mg)	2,07	2,95	2,03	2,55
Magnezijum (mg)	55	75	48	64
Mangan (mg)	1,4	1,7	1,16	1,9
Cink (mg)	1,2	1,8	1,38	1,54

KU – kontrolni uzorak bez vlakana, čije i ksantana; OE1 – optimalni eksperimentalni bez vlakana, sa 6% čije i 0,25% ksantana; OE2 – optimalni eksperimentalni bez čije i ksantana, sa 5% vlakana; OD – optimalni po Design-Expert-u sa 2,25% vlakana, 3,6% čije i 0,5% ksantana.

Nutritivni kvalitet optimalnog uzorka OE2 je u celini najbolji, što potvrđuje i najmanja energetska vrednost 1855 kJ/433 kcal. Sadržaj masti je niži u odnosu na kontrolni uzorak i uzorak OE1, a sadržaj svarljivih ugljenih hidrata i proteina u odnosu na kontrolni i uzorke OE1 i OD. Jedino je sadržaj ukupnih prehrambenih vlakana povećan 1,6 puta u odnosu na kontrolni uzorak i za 11% u odnosu na uzorak OE1. Međutim, uprkos pomenutom povećanju količina vlakana na 100 g lisnatog peciva sa 5% vlakana šećerne repe je i dalje ispod 6 g, što je po *Pravilniku o prehrambenim i zdravstvenim izjavama koje se navode na deklaraciji*

hrane (2018) propisana količina za nutritivnu izjavu „bogat vlaknima“. Količina ukupnih vlakana od 5,63 g/100 g je kao kod kontrolnog uzorka i uzorka OE1 dovoljna samo za nutritivnu izjavu „izvor vlakana“.

Uzorak OD ima energetske vrednosti 1909 kJ/456 kcal, što je neznatno iznad energetske vrednosti uzorka OE2, a ispod izračunatih vrednosti za uzorke KU i OE1. Sadržaj masti je minimalan, a svarljivih ugljenih hidrata i ukupnih prehrambenih vlakana maksimalan. Prema pomenutom *Pravilniku (2018)* sadržaj ukupnih vlakana od 6,17 g/100 g lisnatog peciva OD predstavlja dovoljnu količinu za nutritivnu izjavu „bogat vlaknima“, što predstavlja najznačajniji doprinos poboljšanju nutritivnog kvaliteta lisnatog peciva. Adekvatan unos prehrambenih vlakana se danas vezuje za zdravstvene benefite kao što su bolja kontrola nivoa glukoze i holesterola u krvi, prevencija kardiovaskularnih bolesti, regulacija intestinalne funkcije, poboljšanje stanja gastro intestinalnog trakta i prevencija raka debelog creva (*Kendall i sar., 2010; Ktenioudaki, Gallagher, 2012*).

Na osnovu preporučenih dnevnih unosa, odnosno nutritivnih referentnih vrednosti (*Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane, 2017*) i sadržaja minerala (Fe, Mg, Mn i Zn), može da se sagleda procentualni unos preporučenih dnevnih potreba ispitivanih minerala pri konzumaciji 100 g peciva (tabela 5.48).

Tabela 5.48 Procenat od preporučenog dnevnog unosa minerala pri konzumaciji 100 g lisnatog peciva

Minerali	PDU	15% PDU	%PDU			
			KU	OE1	OE2	OD
Gvožđe (mg)	14	2,1	14,78	21,07	14,56	18,21
Magnezijum (mg)	375	56,25	14,66	20	12,80	17,10
Mangan (mg)	2	0,3	70	85	58	95
Cink (mg)	10	1,5	12	18	13,80	15,40

PDU – preporučeni dnevni unos minerala (za odrasle); 15% PDU - značajna količina minerala; %PDU - procenat unosa minerala u odnosu na PDU pri konzumaciji 100 g lisnatog peciva; KU – kontrolni uzorak bez vlakana, čije i ksantana; OE1 – optimalni eksperimentalni bez vlakana, sa 6% čije i 0,25% ksantana; OE2 – optimalni eksperimentalni bez čije i ksantana, sa 5% vlakana; OD – optimalni po Design-Expert-u sa 2,25% vlakana, 3,6% čije i 0,5% ksantana.

Prema pomenutim *Pravilnicima (2017; 2018)*, nutritivna izjava „izvor“ minerala odobrena je prilikom deklarisanja ukoliko sadržaj minerala u pecivu iznosi najmanje *značajnu količinu*, 15% od PDU na 100 g, dok je „bogat“ mineralom izjava dozvoljena za najmanje dvostruku količinu minerala u odnosu na „izvor“. Svi

ispitivani uzorci sadrže više od 50% preporučenih dnevnih potreba za manganom (tabela 5.48) i nosioci su izjave „bogat manganom“. Visok sadržaj mangana obezbeđuju i minerali iz integralnog pšeničnog brašna koje je u sirovinski sastav lisnatog peciva uključeno kao zamena dela namenskog pšeničnog brašna. U integralnom pšeničnom brašnu sačuvani su svi anatomski delovi zrna pšenice, omotač (mekinje), središnji deo (endosperm) i klica, a samim tim obezbeđeno i veće prisustvo minerala (mangan, magnezijum, fosfor, gvožđe), vitamina (B grupa vitamina), prehrambenih vlakana, proteina i aminokiselina (*Vitali i sar., 2008; Van der Kamp i sar., 2014*).

Uzorci lisnatog peciva OE1 i OD predstavljaju i „izvor gvožđa, magnezijuma i cinka“, jer u svom sastavu sadrže određeni procenat čija semena što dodatno obogaćuje nutritivni kvalitet lisnatog peciva (*Katunzi-Kilewela i sar., 2021*).

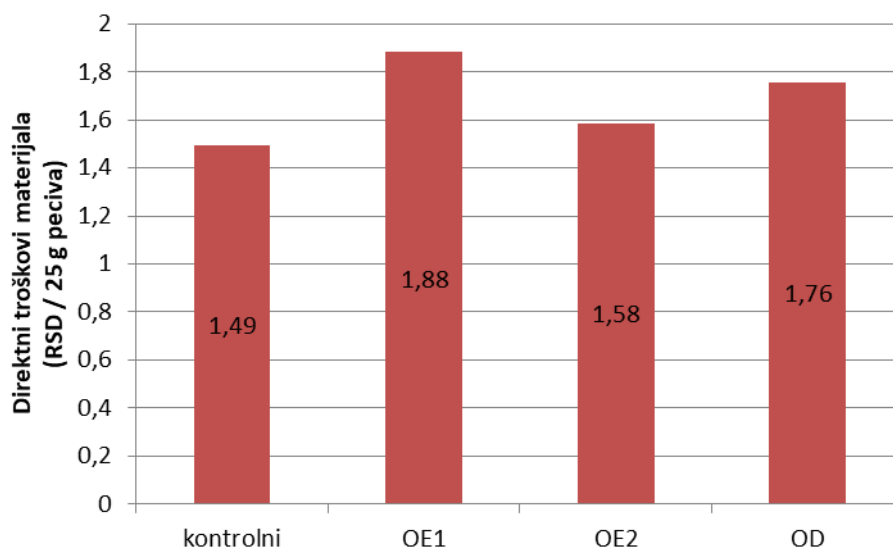
Osim navedenih nutritivnih izjava uzorci lisnatog peciva KU, OE1, OE2 i OD, ukoliko se ispune uslovi propisani pomenutim *Pravilnikom (2018)* i *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti dijetetskih proizvoda (2010)*, na deklaraciji bi mogli imati i četiri zdravstvene izjave koje se odnose na mangan, dok uzorci OE1 i OD zahvaljujući sadržaju gvožđa, magnezijuma i cinka, potencijalno mogu da budu nosioci većeg broja zdravstvenih izjava ukoliko se ispune zakonski uslovi. Za gvožđe trenutno postoji osam odobrenih zdravstvenih izjava, za magnezijum deset, dok za cink ima 18 izjava, koje bi se mogle iskombinovati.

5.6 EKONOMSKA ANALIZA OPTIMALNIH UZORAKA

U cilju sagledavanja realnih mogućnosti za primenu rezultata disertacije u industriji urađena je i ekonomska analiza, kojom su procenjene promene troškova proizvodnje uzoraka lisnatog peciva optimalnog sirovinskog sastava na osnovu eksperimentalnih rezultata (uzorci OE1 i OE2) i rezultata matematičkog modelovanja (uzorak OD) u odnosu na kontrolni uzorak standardnog sirovinskog sastava (uzorak KU).

Analizom su obuhvaćeni direktni troškovi materijala, procenjeni na osnovu sirovinskog sastava lisnatog peciva određenog na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu (tabela 4.2) i tržišnih cena sirovina na lokalnom tržištu (tabela 4.3).

Direktni troškovi materijala pri proizvodnji 1 komada lisnatog peciva (25 g) se kreću u rasponu od 1,49 do 1,88 RSD/komadu (slika 5.51). Očekivano najniži troškovi su ostvareni kod kontrolnog uzorka, dok je dodatak čija semena i vlakana šećerne repe značajno povećao direktne troškove proizvodnje peciva.

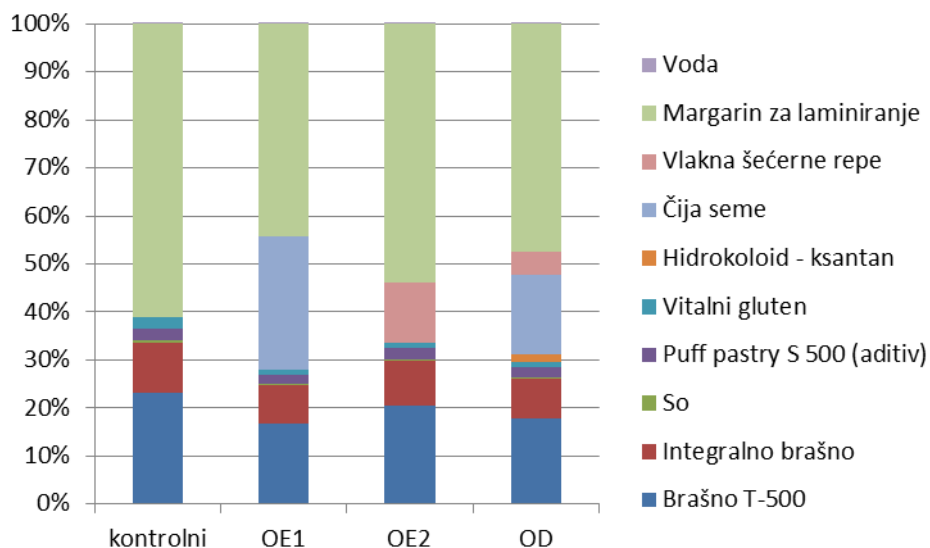


Slika 5.51 Direktni troškovi materijala pri proizvodnji jednog komada lisnatog peciva

Relativna promena u direktnim troškovima materijala u odnosu na kontrolni scenario (kontrolni scenario = 100%) za uzorak OE1 iznosi +26%, uzorak OD +17% a za OE2 je minimalna i iznosi +6%. U direktnim troškovima materijala kontrolnog uzorka dominiraju troškovi margarina za laminiranje i brašna, dok je udeo ostalih sirovina i aditiva zanemarljiv (slika 5.52). Pored margarina i brašna u varijantama OE1, OE2 i OD uočava se i značajan udeo troškova čija semena i/ili vlakana šećerne repe u ukupnim troškovima materijala.

Pri aktuelnim tržišnim cenama sirovina uzorci lisnatog peciva sa dodatkom čija semena i vlakana šećerne repe nisu troškovno konkurentni pecivu standardnog sirovinskog sastava. Senzitivnom analizom je testirano pri kojoj nabavnoj ceni čija semena i vlakana šećerne repe bi obogaćeno lisnato pecivo bilo konkurentno kontrolnoj varijanti. Rezultati pokazuju da bi optimalni uzorak OE1 bio cenovno konkurentan kontrolnom samo pri drastičnom smanjenju nabavne cene čija semena za 75% u odnosu na sadašnju cenu, odnosno sa trenutnih 580 na 145

RSD/kg. Sa druge strane lisnato pecivo OE2 bilo bi konkurentno kontrolnom uzorku ukoliko bi se nabavna cena vlakana smanjila za 47%.



Slika 5.52 Struktura direktnih troškova u zavisnosti od vrste lisnatog peciva

Na osnovu rezultata ekonomske analize jasno je da cena lisnatog peciva obogaćenog vlaknima šećerne repe i čija semenom ne može biti na nivou kontrolnog uzorka. Međutim, još jednom treba istaći da se zahvaljujući visokom sadržaju prehrambenih vlakana (6,17 g/100g) i minerala mangana, kao i gvožđa, magnezijuma i cinka, pri deklarisanju lisnatog peciva sa 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čije i 0,5% ksantana (uzorak OD) mogu koristiti:

- nutritivne izjave „bogat vlaknima“, „bogat manganom“ i „izvor gvožđa, magnezijuma i cinka“ kao i
- zdravstvene izjave koja se odnose na pozitivno dejstvo mangana, odnosno gvožđa, magnezijuma i cinka na zdravlje, ukoliko se ispune svi uslovi propisani *Pravilnikom o prehrambenim i zdravstvenim izjavama koje se navode na deklaraciji hrane (2018)* i *Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti dijetetskih proizvoda (2010)*,

što svakako ovo pecivo izdvaja iz grupe standardnih proizvoda. Na osnovu poboljšanog nutritivnog kvaliteta cena lisnatog peciva obogaćenog prehrambenim vlaknima i čija semenom može biti značajno veća, odnosno na nivou cena funkcionalnih pekarskih proizvoda.

6. ZAKLJUČAK

Na bazi rezultata fundamentalnih reoloških merenja (dinamička oscilatorna merenja i krivi puzanja), kao i rezultata ispitivanja uticaja količine margarina za laminiranje i komercijalnog poboljšivača na tehnološka svojstva testa i kvalitet lisnatog peciva u prvoj fazi istraživanja zaključeno je sledeće:

- Fundamentalni reološki parametri mogu pouzdano predvideti kvalitet lisnatog peciva. Promene $\tan \delta$ potvrđuju da se sukcesivnim istanjivanjem i savijanjem testa tokom obrade značajno menjaju njegova viskoelastična svojstva. Na osnovu rezultata testa puzanja i oporavka moguće je utvrditi razlike u svojstvima osnovnog i laminiranog testa različitog sirovinskog sastava.
- Bolja reološka svojstva osnovnog i laminiranog testa obezbeđuje dodatak 1% vitalnog pšeničnog glutena. Poboljšanje reoloških svojstava manifestuje se postizanjem odgovarajuće elastičnosti, deformacione prilagodljivosti na dejstvo napona, maksimalne popustljivosti puzanja i najmanjim njutnovskim viskozitetom osnovnog i laminiranog testa.
- Količina margarina za laminiranje i aditiva (komercijalnog poboljšivača) utiču na svojstva lisnatog testa pri biaksijalnom istezanju. Povećanje količine aditiva sa 0,5 na 1,5% povećava žilavost lisnatog testa sa 40 i 60% margarina. Odstupanje od pomenutog trenda javlja se kada je udeo margarina 50%. Pri konstantnoj količini margarina sa povećanjem količine aditiva povećava se rastegljivost testa do postizanja maksimalne i statistički značajno veće vrednosti u odnosu na lisnato testo sa 0,5 i 1% aditiva.
- Na narastanje lisnatog peciva mnogo veći uticaj ima količina margarina u odnosu na količinu aditiva. Pri udelu margarina 40%, nezavisno od količine aditiva, narastanje peciva je ispod 3, što je značajno ispod vrednosti koje obezbeđuju pravilnu slojevitou strukturu. Narastanje oko 5 postiže se dodatkom 50% margarina i 0,5 ili 1,5% aditiva. Dodatak aditiva od 1% je,

nezavisno od količine margarina, imao u manjoj ili većoj meri negativan uticaj na narastanje peciva.

- Povećanje količine aditiva sa 0,5 na 1% kod lisnatog peciva sa 40% margarina ne uzrokuje statistički značajne promene specifične zapremine. Dodatak maksimalne količine aditiva, međutim, smanjuje specifičnu zapreminu peciva za 35%. Isti trend promene sa povećanjem količine aditiva prisutan je i kod uzoraka sa 50 i 60% margarina.
- Količina margarina i aditiva značajno utiču na čvrstoću lisnatog peciva. Izmerene vrednosti su u širokom intervalu od 17,4 do 35,83 kgs, pri čemu veću čvrstoću imaju uzorci sa maksimalnom količinom margarina.
- Lisnato pecivo sa većim udelom margarina se više deformiše tokom pečenja. Vrednosti fizičkih parametara koji ukazuju na intenzitet deformacija, eliptičnost i skupljanje, su maksimalne kod peciva sa 60% margarina i sa 0,5 i 1,5% aditiva.
- Najbolji senzorski kvalitet lisnatog peciva dobija se unošenjem 60% margarina u osnovno testo sa 0,5 ili 1,5% aditiva. Struktura pomenutih uzoraka je pravilno slojevita, sa izrazito tankim slojevima i prisutnim krupnim porama, ukus svojstven, zaokružen i aromatičan, a topivost odlična.
- S obzirom da veća količina aditiva ne obezbeđuje značajna poboljšanja ni fizičkih ni senzorskih parametara kvaliteta peciva, zaključeno je da je za zames testa pored uobičajenih osnovnih sirovina (brašno, so, voda) neophodan dodatak 1% vitalnog pšeničnog glutena i 0,5% aditiva. Za formiranje pravilno slojevite strukture testa koja će obezbediti dobro narastanje (iznad 5), visoku specifičnu zapreminu i senzorski kvalitet lisnatog peciva potrebno je 60% margarina za laminiranje.

Na osnovu rezultata istraživanja u II fazi, gde su razmatrani uticaji režima zamrzavanja, odnosno temperature zamrzavanja (t_z) i temperature u središtu testanog komada (t_i) na kvalitet proizvoda tokom perioda skladištenja do 30 dana na -18°C , može se zaključiti sledeće:

- Temperaturni režimi zamrzavanja (t_z) i temperature u središtu testanog komada (t_t) imaju statistički značajan efekat na posmatrane fizičke (specifična zapremina, čvrstoća, narastanje, eliptičnost, skupljanje) i senzorske parametre kvaliteta lisnatog peciva sa dodatkom integralnog brašna.
- Vrednosti specifične zapremine lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja veće su za 10-15% u odnosu na dobijene vrednosti pri kraćem skladištenju (jedan i sedam dana).
- Dužina skladištenja zamrznutog testa utiče na čvrstoću lisnatog peciva. U zavisnosti od primenjenog režima zamrzavanja nakon sedam dana skladištenja čvrstoća peciva se smanjuje, a nakon trideset dana povećava od 5 do čak 50%.
- Kod uzoraka zamrznutih na -25 i -30°C sa smanjenjem temperature u središtu zamrznutih testanih komada, nezavisno od dužine skladištenja, povećavaju se i deformacije oblika tokom pečenja, naročito skupljanje.
- Sa povećanjem postignute temperature u središtu zamrznutog testa smanjuje se narastanje. Maksimalno narastanje postiže se pri temperaturi zamrzavanja -30°C , dok smanjenje ili povećanje temperature zamrzavanja ima negativan uticaj na povećanje visine peciva tokom pečenja.
- Zamrzavanje lisnatog testa na -30°C do postizanja -15°C u središtu testanih komada obezbeđuje najbolji senzorski kvalitet peciva: karakteristična boja, delimično simetričan ali pravilan oblik, povezana kora, pravilna i ravnomerno slojevita struktura sa prisutnim krupnim porama, svojstven ali slabije izražen miris, zaokružen ukus i dobra topivost. Senzorski kvalitet lisnatog peciva nakon trideset dana skladištenja zamrznutog testa je bolji ili na nivou kvaliteta peciva od zamrznutog testa skladištenog jedan i sedam dana na -18°C .
- Vrlo dobra tehnološka svojstva zamrznutog testa i kvalitet lisnatog peciva postižu se primenom sledećih režima zamrzavanja $t_z = -35^\circ\text{C}$ i $t_t = -10^\circ\text{C}$; $t_z = -35^\circ\text{C}$ i $t_t = -20^\circ\text{C}$; $t_z = -30^\circ\text{C}$ i $t_t = -15^\circ\text{C}$. Zamrzavanje na temperaturama iznad -30°C do postizanja temperatura u središtu testa ispod -15°C se ne preporučuje jer su parametri kvaliteta lisnatog peciva značajno lošiji.

Optimizacijom fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta lisnatog peciva zaključuje se da je optimalni režim zamrzavanja testa $t_z = -35^\circ\text{C}$ i $t_t = -10^\circ\text{C}$. Vreme trajanja zamrzavanja testa pri pomenutom optimalnom režimu je najkraće i iznosi 15 minuta i 30 sekundi.

Na osnovu rezultata istraživanja u III fazi ispitivanja, gde su razmatrani pojedinačni i interakcijski uticaji funkcionalnih sirovina: vlakna šećerne repe i čija semena, kao i dodatka ksantana na osobine lisnatog peciva od nezamrznutog i zamrznutog testa, tokom perioda skladištenja od 30 dana na -18°C , mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Na bazi rezultata ispitivanja lepljivosti i fizičkih svojstava lisnatog testa pri biaksijalnom istezanju (žilavost i rastegljivost) može se predvideti kvalitet lisnatog peciva obogaćenog funkcionalnim dodacima. Žilavost testa bliska intervalu optimalnih vrednosti (380-400 g) može se postići dodatkom 10% vlakana šećerne repe, 6% čija semena i 0,25% ksantana. Dodatak čija semena povećava rastegljivost testa, dok dodatak ksantana ne uzrokuje statistički značajne promene pomenutog fizičkog pokazatelja.
- Sagledavajući potrebu za što preciznijim i potpunijim definisanjem kvaliteta lisnatog testa preporučuje se metoda određivanja lepljivosti. Uzorci odgovarajuće žilavosti i rastegljivosti imaju lepljivost oko 25 g, što se može smatrati optimalnom vrednošću.
- Vrlo dobar senzorski kvalitet ima lisnato pecivo sa 3% čija semena i 0,25% ksantana, nezavisno da li je nakon obrade testo zamrznuto i skladišteno ili ne. Međutim, dodatkom 5% vlakana šećerne repe postiže se vrlo dobar senzorski kvalitet proizvoda ali samo od nezamrznutog testa. Primena optimalnog režima zamrzavanja testa sa vlaknima šećerne repe dovodi do promene kategorije kvaliteta iz vrlo dobar u dobar.
- Primena funkcionalnih dodataka, vlakana šećerne repe i čija semena, ublažava efekte šok zamrzavanja na kvalitet lisnatog peciva. Statistički najznačajniji uticaj na tehnološki kvalitet zamrznutog lisnatog testa, kao i kvalitet lisnatog peciva imaju vlakna šećerne repe. Intenzitet i smer delovanja vlakana šećerne repe je kod najvećeg broja ispitivanih parametara izražen i negativan. Međutim, kombinovanim dodatkom vlakana

šećerne repe i čija semena u celini dolazi do poboljšanja i fizičkih i senzorskih parametara kvaliteta funkcionalnog lisnatog peciva od zamrznutog testa.

- Iako je narastanje lisnatog peciva prvenstveno uslovljeno sirovinskim sastavom, evidentno je da primena zamrzavanja testa nema značajniji negativan efekat na pomenuti parametar kvaliteta. Promene narastanja peciva usled zamrzavanja su minimalne pri kombinovanom dodatku vlakana šećerne repe i čija semena, ili dodatku samo 3%, odnosno 6% čije u sirovinski sastav testa.
- Primenom šok zamrzavanja testa sa 10% vlakana šećerne repe, 6% čije i 0,25% ksantana postiže se statistički značajno povećanje specifične zapremine za 14,2% u odnosu na specifičnu zapreminu peciva od nezamrznutog testa.
- Izražena poboljšanja u strukturi peciva od zamrznutog testa sa 10% vlakana šećerne repe, 3% čije i 0,25% ksantana, koja se manifestuju povećanjem broja bodova ostvarenih QDA senzorskom metodom za 37,5% takođe potvrđuju da prisustvo funkcionalnih dodataka smanjuje negativne efekte šok zamrzavanja na strukturu testa.
- Duže skladištenje zamrznutog testa (180 dana) na -18°C nije imalo značajan uticaj na kvalitet lisnatog peciva. Trendovi promene narastanja i senzorskog kvaliteta peciva ostali su na nivou promena registrovanih nakon 30 dana skladištenja zamrznutog testa.
- Primenom funkcije poželjnosti optimizovan je sirovinski sastav funkcionalnog lisnatog peciva: 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čija semena i 0,5% ksantana (uzorak OD).

Na temelju rezultata četvrte faze ispitivanja, u kojoj je izvršena verifikacija uzorka optimizovanog sirovinskog sastava, određena nutritivna vrednost i izvršena ekonomska analiza u odnosu na kontrolni uzorak bez funkcionalnih dodataka, zaključci su sledeći:

- Visoka podudarnost između viskoelastičnih modula, viskoziteta i prilagodljivosti osnovnog i laminiranog testa OD potvrđuje da navedeni optimalni

sastav nije uzrokovao promene reoloških svojstava testa u odnosu na kontrolni uzorak.

- Šok zamrzavanje testa optimalnog sirovinskog sastava OD ne menja značajno kvalitet lisnatog peciva. Postignut je vrlo dobar senzorski kvalitet peciva, sa malim promenama u spoljnom izgledu i ukusu, dok je struktura peciva ostala nepromenjena. Budući da je osim vlakana šećerne repe i čija semena sirovinski sastav osnovnog testa OD bio identičan sastavu kontrolnog uzorka, potvrđena je hipoteza disertacije da funkcionalni dodaci sa izraženim hidratacionim svojstvima ne umanjuju tehnološki kvalitet zamrznutog testa.
- Funkcionalno lisnato pecivo optimalnog sastava OD po sadržaju osnovnih nutrijenata (masti, svarljivi ugljeni hidrati i proteini) i energetske vrednosti (1909 kJ/456 kcal) se bitno ne razlikuje od kontrolnog uzorka. Međutim, količina ukupnih prehrambenih vlakana (6,17 g), Fe (18,2 mg), Mg (17,1 mg), Mn (95,0 mg) i Zn (15,4 mg) na 100 g peciva, dovoljna za nutritivne izjave: „bogat vlaknima“, „bogat manganom“ i „izvor gvožđa, magnezijuma i cinka“, potvrđuje značajan doprinos vlakana šećerne repe i čija semena poboljšanju nutritivnog kvaliteta lisnatog peciva.
- Rezultati ekonomske analize potvrđuju da cena lisnatog peciva sa 2,25% vlakana šećerne repe, 3,6% čija semena i 0,25% ksantana ne može biti na nivou kontrolnog uzorka. Međutim, na osnovu ispunjenja zahteva za odgovarajuće nutritivne izjave lisnato pecivo pomenutog sastava pripada grupi specijalnih vrsta, čija cena na tržištu mora biti veća u odnosu na osnovne vrste proizvoda iz ove grupe.

7. LITERATURA

- Acker, J.P., Mcgann, L.E. (2003). Protective effect of intracellular ice during freezing? *Cryobiology*, 46(2), 197-202.
- Adams, V., Ragaee, S., M.Abdel-Aal, E-S. (2015). Impact of wheat fiber on frozen dough shelf life and bread quality. *Cereal Chemistry*, 92(4), 370-377.
- Addo, K. (1997). Effects of honey Type and Level on The Baking Properties of Frozen Wheat Flour Doughs. *Cereal Food World*, 42, 36-40.
- Ahmed, J., Almusallam, A.S., Al-Salman, F., AbdulRahman, M.H., Al-Salem, E. (2013). Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough. *LWT-Food Science and Technology*, 51(2), 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.018>
- Ahmed, M., Hamed, R., Ali, M., Hassan, A., Babiker, E. (2006). Proximate composition, antinutritional factors and protein fractions of guar gum seeds as influenced by processing treatments. *Pakistan Journal of Nutrition* 5 (5): 481-484.
- Akbarian, M., Dehkordi, M.S.M., Ghasemkhani, N., Koladoozi, M., Niknam, O., Morshedi, A., (2015). Hydrocolloids and cryoprotectant used in frozen dough and effect of freezing on yeast survival and dough structure: A review. *International Journal of Life Sciences*, 9(3), 1-7.
- Albrecht, T., Ehrlinger, H.G., Schild, E., Willeke, E. (2010). Priručnik o pekarstvu i slastičarstvu teorija i praksa, Tim Zip d.o.o., Zagreb.
- Almeida, E.L., Chang, Y.K., Steel, C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: influence on technological quality. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 50, 545-553.
- Álvarez-Chávez, L.M., Valdivia-López, M.A., Aburto-Juárez, M.L., Tecante, A. (2008). Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Food Properties*, 11, 687- 689.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis, J.R.H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67, 188-205.
- Anese, M., Manzocco, L., Panozzo, A., Beraldo, P. (2012). Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. *Food Research International*, 46(1), 50-54.
- Angioloni, A., Collar, C. (2009). Gel, dough and fibre enriched fresh breads: relationships between quality features and staling kinetics. *Journal of Food Engineering*, 91(4), 526-532.
- Angioloni, A., Collar, C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 44, 747-758.
- A.O.A.C. Association of official Analytical chemists (2005). 18th ed. Washington D.C.U.S.A.

- Appelqvist, I.A.M., Debet, M.R.M. (1997).** Starch-biopolymer interactions: a review. **Food Reviews International**, 13, 163-224.
- Aravind, N., Sissons, M.J., Fellows, C.M., Blazek, J., Gilbert, E.P. (2012).** Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, 132, 993-1002.
- Armero, E., Collar, C. (1997).** Texture properties of formulated wheat doughs. **Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung**, 204, 135-145.
- Arslan, M., Rakha, A., Xiaobo, Z., Arsalan Mahmood, M. (2019).** Complimenting gluten free bakery products with dietary fibers: Opportunities and constraints. **Trends in Food Science & Technology**, 83, 194-202.
- Auerman, Lj. (1988).** Tehnologija pekarske proizvodnje, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Autio, K., Sinda, E. (1992).** Frozen doughs: rheological changes and yeast viability. **Cereal Chemistry**, 69(4), 409-413.
- Avignon, A., Hokayem, M., Bisbal, C., Lambert, K. (2012).** Dietary antioxidants: Do they have a role to play in the ongoing fight against abnormal glucose metabolism? **Nutrition**, 28, 715-721.
- Ayerza, R. (1995).** Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica L.*), five northeastern locations in northwestern Argentina. **Journal of the American Oil Chemists' Society** 72, 1079-1081.
- Ayerza, R. (2011).** The seed's oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica L.*) var. iztac 1, grown under six tropical ecosystems conditions. **Interciencia**, 36, 620-624.
- Bae, W., Lee, B., Hou, G.G., Lee, S. (2014).** Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. **Journal of Cereal Science**, 60(3), 520-525.
- Bahnassey, Y.A., Breene, W.M. (1994).** Rapid visko-analyser (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. **Starch**, 46, 134-141.
- Baier-Schenk, A. (2005).** Freezing of Bread Dough-An Investigation on Water and Ice Properties in Relation to Dough Structure. A Dissertation Submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 11-18.
- Baier-Schenk, A., Handschin, S., Conde-Petit, B. (2005a).** Ice in prefermented frozen bread dough - an investigation based on calorimetry and microscopy. **Cereal Chemistry Journal**, 82(3), 251-255.
- Baier-Schenk, A., Handschin, S., Mvon, S., Bittermann, A.G., Bachi, T., Conde-Petit, B., (2005b).** In situ observation of the freezing process in wheat dough by confocal laser scanning microscopy (CLSM): formation of ice and changes in the gluten network. **Journal of Cereal Science**, 42(2), 255-260.
- Balestra, F. (2009).** Empirical and fundamental mechanical tests in the evaluation of dough and bread rheological properties. Dottorato di Ricerca in Scienze degli Alimenti, Alma mater studiorum – Università di Bologna, Facoltà di Agraria, Italia.
- Ban, C., Yoon, S., Han, J., Kim, S.O., Han, J.S., Lim, S., Choi, Y.J. (2016).** Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality. **LWT-Food Science and Technology**, 73, 219-225.

- Bárcenas, M.E., De la O-Keller, J., Rosell, C.M. (2009).** Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). **Journal of Food Engineering**, 94, 241-247.
- Bárcenas, M.E., Haros, M., Benedito, C., Rosell, C.M. (2003).** Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. **Food Research International**, 36, 863-869.
- Bautista-Justo, M., Castro-Alfaro, A.D., Camarena-Aguilar, E., Wrobel, K., Wrobel, K., Alanis-Guzman, G., et al. (2007).** Integral bread development with soybean, chia, linseed, and folic acid as a functional food for woman. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, 57, 78-84.
- Bebić, D. (1974).** Tehnologija hlađenja. Poljoprivredni fakultet, Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Beograd.
- Belton, P.S. (1999).** Mini review: On the elasticity of wheat gluten. **Journal of Cereal Science**, 29, 103–107.
- Bhattacharya, M., Langstaff, T.M., Berzonsky, W.A. (2003).** Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs. **Food Research International**, 36, 365-372.
- Blomberg, A., (2000).** Metabolic surprises in *Saccharomyces cerevisiae* during adaptation to saline conditions: Questions, some answers and a model. **FEMS Microbiology Letters**, 182(1), 1-8.
- Bock, E.J., Damodaran, S. (2013).** Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy. **Food Hydrocolloids**, 31, 146-155.
- Boehm, D.J., Berzonsky, W.A., Bhattacharya, M. (2004).** Influence of nitrogen fertilizer treatments on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) flour characteristics and effect on fresh and frozen dough quality. **Cereal Chemistry**, 81, 51-54.
- Bojat, S., Šimurina, O., Filipčev, B. (2001).** Mogućnosti poboljšanja kvaliteta hleba od pšenice roda 2001. godine. **Žito-hleb**, 28, 130-130.
- Bojat, S., Vukobratović, R., Dozet, J. (1994).** Uticaj zamrzavanja i dužine čuvanja na kvalitet podloge za pizze. **Žito-hleb**, 21, 1-8.
- Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., Saulnier, L. (2010).** Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. **Journal of Cereal Science**, 52(2), 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.05.006>
- Borderias, A. J., Sanchez-Alonso, I., Perez-Mateos, M. (2005).** New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. **Trends in Food Science and Technology**, 16, 458-465.
- Borneo, R., Aguirre, A. (2008).** Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. **LWT-Food Science and Technology**, 41, 1748-1751.
- Borneo, R., Aguirre, A., Leon, A.E. (2010).** Chia (*Salvia hispanica* L.) get can be used as eggs or oil replacer in cake formulations. **Journal of the American Dietetic Association**, 110, 946-949.
- Bot, A. (2003).** Differential scanning calorimetric study on the effects of frozen storage on gluten and dough. **Cereal Chemistry**, 80, 366-370.

- Bourne, M.C. (2002).** Principles of objective texture measurement. In: Bourne MC (ed) Food texture and viscosity: concept and measurement. Academic Press, California.
- Bousquieres, J., Deligny, C., Riaublanc, A., Lucas, T. (2014).** CLSM study of layers in laminated dough: Roll out of layers and elastic recoil. **Journal of Cereal Science**, 60, 82–91.
- Brack, G., Hanneforth, U. (1991).** Herstellung von Tiefgefroren Teiglingen aus Hefefeinteigen. **Getrude Mehl und Brot**, 45, 309-315.
- Bravo-Nuñez, A., Sahagún, M., Martínez, P., Gómez, M. (2018).** Incorporation of gluten and hydrolysed gluten proteins has different effects on dough rheology and cookie characteristics. **International Journal of Food Science and Technology**, 53, 1452–1458. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13724>
- Brennan, C.S., Tudorica, C.M. (2008).** Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. **International Journal of Food Science and Technology**, 43, 2151-2162.
- Brümmer, J.M., Morgenstern, G. (1990).** Gefrostete Teiglinge (Basis: Wasserware): Kneten-Gären-Frosten. **Getreide Mehl und Brot**, 44, 220-221.
- CAC, Codex Alimentarius Commission,** Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, Bonn, Germany, 21-25 November 2005. **ALINORM** 06/29/26, 2006.
- Cajner, H. (2011).** Višekriterijsko adaptivno oblikovanje planova pokusa, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
- Capitani, M.I., Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2013).** Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica L.*) nutlets from Argentina. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 93, 3856-3862.
- Capitani, M.I., Spotorno, V., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2012).** Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica L.*) **seeds of Argentina. LWT-Food Science and Technology**, 45, 94-102.
- Cardetti, M. (1998).** Updated Information on The Use of Honey in Bakery Products. **Technical Bulletin**, 20, 1-6.
- Casey, G.P., Foy, J.J. (1995).** Yeast Performance in Frozen Doughs and Strategies for Improvement. In: Frozen & Refrigerated Doughs and Batters. Ed. Kulp, K., Lorenz, K. and Brümmer, J., Minesota: AACC, 19-51.
- Cauvain, S.P. (2003).** Bread making – improving quality, Parts: dough freezing and future trends, ed. Woodhead Publishing Ltd, 175-202.
- Cauvain, S., Young, L. (2001).** Bakery Food Manufacture and Quality: Water control and effects, **Blackwell Science**, Oxford, UK.
- Chandrasekaran, S.K., King, C.J. (1971).** Solid-liquid phase in multicomponent aqueous sugar solutions, **Journal of Food Science** 36, 699-704.
- Cheng, X.F., Zhang, M., Adhikari, B., Islam, M.N., Xu, B.G. (2014).** Effect of ultrasound irradiation on some freezing parameters of ultrasound-assisted immersion freezing of strawberries. **International Journal of Refrigeration**, 44(7), 49-55.
- Chica, C. (2011).** Conferencia Latinoamericana de cereales (pp. 39). Santiago: ICC-International Association for Cereal Science. ICC.
- Chillo, S., Laverse, J., Falcone, P.M., Protopapa, A., Del Nobile, M.A. (2008).** Influence of addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, 47, 144-152.

- Codina, G. G., Bordei, D., Paslaru, V. (2008).** The effects of different doses of gluten on Rheological behaviour of dough and bread quality. **Romanian Biotechnological Letters**, 13, 37–42.
- Codina, G. G., Bordei, D., Paslaru, V. (2008).** The effects of different doses of gluten on Rheological behaviour of dough and bread quality. **Romanian Biotechnological Letters**, 13, 37–42.
- Coelho, M.S., Salas-Mellado, M.M., (2015).** Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. **LWT-Food Science and Technology**, 60, 729-736.
- Collar, C., Andreu, P., Martínez, J.C., Armero, E. (1999).** Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. **Food Hydrocolloids**, 13, 467-475.
- Collar, C., Martínez, J.C., Rosell, C.M. (2001).** Lipid binding of fresh and stored formulated wheat breads, relationships with dough and bread technological. **Food Science and Technology International**, 2, 323-333.
- Culetu, A., Mohan, G., Duta, D.E. (2020).** Rheological characterization of the dough with added dietary fiber by rheometer: a review. **Bulletin UASVM Food Science and Technology**, 77 (1):13.
- Cummings, J.H., Macfarlane, G.T., Englyst, H.N. (2001).** Prebiotic digestion and fermentation. **American Journal of Clinical Nutrition**, 73, 415S-20S.
- Čizov, G. B. (1979).** Teplo fizičeskije procesi v holodilnoj tehnologiji piščevih produktov, Moskva, Piščevaja promišljenost.
- Dalvi-Isfahan, M., Hamdami, N., Xanthakis, E., Le-Bail, A. (2017).** Review on the control of ice nucleation by ultrasound waves, electric and magnetic fields. **Journal of Food Engineering**, 195, 222-234.
- Dapčević Hadnađev, T., Dokić, Lj., Hadnađev, M., Pojić, M., Torbica, A. (2013).** Rheological and breadmaking properties of wheat flours supplemented with octenyl succinic anhydride – modified waxy maize starches. **Food and Bioprocess Technology**, 7, 235-247.
- Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., Bekaert, D. (1996).** A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. **Food Hydrocolloids**, 10, 375-383.
- Day, L., Augustin, M.A., Batey, I.L., Wrigley, C.W. (2005).** A small-scale test for the rheological quality of gluten. Melbourne: Proceedings of the 55th Australian Cereal Chemistry Conference and the AACCI Pacific Rim Symposium. In C. L. Blanchard, H. Truong, H. M. Allen, A. B. Blakeney, & L.O. Brien (Eds.), **Cereals 2005** (pp. 69–73).
- De la Horra, A.E., Steffolani, E.M., Barrera, G.N., Ribotta, P.D., Leon, A.E. (2018).** The role of cyclodextrinase and glucose oxidase in obtaining gluten-free laminated baked products. **European Food Research and Technology**, 244, 1341–1351.
- Delgado, A.E., Sun, D.W. (2001).** Heat and mass transfer models for predicting freezing process - A review. **Journal of Food Engineering**, 47, 157-174.
- Delgado, A.E., Zheng, L., Sun, D.W. (2009).** Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apples. **Food and Bioprocess Technology**, 2(3), 263-270.
- Demae, M., Murata, Y., Hisano, M., Haitani, Y., Shima, J., Takagi, H. (2007).** Overexpression of two transcriptional factors, Kin28 and Pog1, suppresses the

- stress sensitivity caused by the *rsp5* mutation in *Saccharomyces cerevisiae*. **FEMS Microbiology Letters**, 277(1), 70-78.
- Devireddy, R.V., Swanlund, D.J., Roberts, K.P., Pryor, J.L., Bischof, J.C. (2000). The effect of extracellular ice and cryoprotective agents on the water permeability parameters of human sperm plasma membrane during freezing. **Human reproduction**, 15(5), 1125-1135.
- Dinand, E., Chanzy, H., Vignon, M. (1996). Parenchymal cell cellulose from sugar beet pulp: preparation and properties. **Cellulose**, 3, 183-188.
- Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o usklađivanju zakona država članica u odnosu na dodatke prehrani, 2002/46/EZ (10.06.2002.). **Službeni list Europske Unije**, 183.
- Direktiva Komisije o utvrđivanju postupka uzorkovanja i metode analize Zajednice za službenu kontrolu temperature brzo smrznute hrane namijenjene prehrani ljudi, 92/2/EEZ (13.01.1992.). **Službeni list Europske Unije**, 34.
- Direktiva Vijeća o usklađivanju zakonodavstava država članica u odnosu na brzo smrznutu hranu namijenjenu prehrani ljudi, 89/108/EEZ (21.12.1988.). **Službeni list Europske Unije**, 40.
- Dodić, J. (2007). Optimizacija tehnološkog postupka kvasnog testa za zamrznute pekarske proizvode. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Doerry, W. T., Meloan, E. (1986). Croissant technology. **AIB Technical Bulletin**, 8(10), 1-9.
- Dong, J., Chen, D., Wang, G., Zhang, C., Du, L., Liu, S. et al. (2016). Improving freezertolerance of baker's yeast through seamless gene deletion of NTH1 and PUT1. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, 43(6), 817-828.
- Dubois, D.K., Blockcolsky, D. (1986). Frozen bread dough, effect of dough mixing and thawing methods. **Technical Bulletin of the American Institute of Baking**, 8, 1-7.
- Đorđević, M., Šoronja-Simović, D., Nikolić, I., Dokić, Lj., Đorđević, M., Šereš, Z. Šaranović, Ž. (2018). Rheological and bread-making performance of gluten-free formulations affected by different levels of sugar beet fibre, hydroxypropylmethylcellulose and water. **International Journal of Food Science and Technology**, 58(3), 1832-1837, doi:10.1111/ijfs13797.
- Đorđević, M. (2020). Uticaj prehrambenih vlakana šećerne repe i jabuke na reološke parametre testa i kvalitet bezglutenskog hleba. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Efj, E., Hvan, A., Maliepaard, M., Jpm., D. (2003). Long-term storage effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy. **Cereal Chemistry**, 80(4), 396-403.
- El-Hady, E. A., El-Samahy, S. K., Seibel, W., Brümmer, J. M. (1996). Changes in gas production and retention in non-fermented frozen wheat doughs. **Cereal Chemistry**, 73 (4), 472-477.
- El-Hady, E.A., El-Samahy, S.K., Brümmer, J.M. (1999). Effect of Oxidants, Sodium-stearoil-2-lactylate and their Mixtures on Rheological and Baking properties of Nonfermented frozen Doughs. **Food Science Technology**, 32, 446-454.

- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterization, technological functionality and commercial applications, a review. **Food Chemistry**, 124, 411-421.
- Engmann, J., Peck, M.C., Wilson, D.I. (2005). An experimental and theoretical investigation of bread dough sheeting. **Food and Bioproducts Processing**, 83, 175–184. <https://doi.org/10.1205/fbp.04184>
- Esselink, E.F.J., Henrie, V.A., Maliepaard, M., John, P.M., Duynhoven, V. (2003). Long-term storage effect in frozen dough by spectroscopy and microscopy. **Cereal Chemistry**, 80, 396-403.
- [EU law - EUR-Lex \(europa.eu\)](http://eur-lex.europa.eu)
- Fanta, G.F., Christianson, D.D. (1996). Starch-hydrocolloid composites prepared by steam jet cooking. **Food Hydrocolloids**, 10, 173-178.
- Farrera-Rebollo, R.R., Salgado-Cruz, M.D., Chanona-Perez, J., Gutierrez-Lopez, G.F., Alamilla-Beltran, L., Calderon-Dominguez, G. (2012). Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. **Food and Bioprocess Technology**, 5, 474-484.
- Fennema, O.R., Powrie, W.D., Marth, E.H. (1973). Low temperatures preservation of foods and living matter. Marcel Dekker, New York, USA.
- Ferreira, P.B.M., Watanabe, E., Benassi, V.T. (1999). Study of the Production Process for Pre-baked French Type Bread. **Journal of Food Technology**, 2, 91-95.
- Ferrero, C. (2017). Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. **Food Hydrocolloids**, 68, 15-22.
- Ferrero, C., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (1993). Stability of frozen starch paste: effects of freezing, storage and xanthan gum addition. **Journal of Food Processing and Preservation**, 17, 191-211.
- Fik, M., Surowka, K. (2002). Effect of Prebaking and Frozen Storage on the Sensory Quality and Instrumental Texture of Bread. **Journal Science of Food and Agriculture**, 82, 1268-1275.
- Filipović, N., Kaluđerški, G. (2000). Uticaj zamrzavanja i vrste dodataka na aktivnost pekarskog kvasca. **Mlinpek almanah**, 6, 13-15.
- Foschia, M., Beraldo, P.; Peressini, D. (2017). Evaluation of the physicochemical properties of gluten-free pasta enriched with resistant starch. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 97, 572-577.
- Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., Brennan C.S. (2013). The effects of dietary fibre on the quality of common cereal products. **Journal of Cereal Science**, 58, 216-227.
- Frazier, P. J., Fitchett, C. S., Russel Eggitt, P. W. (1985). Laboratory measurement of dough development. In H. Faridi (Ed.), **Rheology of wheat products** (pp. 151–175). Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Friberg, B. (2002). The professional pastry chef: fundamentals of baking and pastry, 4th Ed: John Wiley & Sons, Inc., New York, 539-603.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sanchez-Zapata, E., Perez-Alvarez, J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: a review. **Food Research International** 43, 931-942.

- Gan, Z., Angold, R.E., Williams, M.R., Ellis, P.R., Vaughan, J.G., & Galliard, T. (1990).** The microstructure and gas retention of bread dough. *Journal of Cereal Science*, 12(1), 15-24.
- Gao, Y., Janes, M.E., Chaiya, B., Brennan, M.A., Brennac, C.S., Prinyawiwatkul, W. (2018).** Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement, Invited Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 53, 19-32.
- Gélinas, P., Deaudelin, I., Grenier, M. (1995).** Frozen dough: effects of dough shape, water content, and sheeting-molding conditions. *Cereal Foods World*, 40, 124-126.
- Gélinas, P., McKinnon, C.M., Lukow, O.M., Townley-Smith, F. Rapid (1996).** Evaluation of frozen and fresh dough involving stress conditions. *Cereal chemistry*, 73, 767-769.
- Gharaie, Z., Azizi, M.H., Barzegar, M., Aghagholizade, R. (2015).** Effects of hydrocolloids on the rheological characteristics on dough and the quality of bread made from frozen dough. *Journal of Texture Studies*, 46, 365-373.
- Ghotra, B.S., Dyal, S.D., Narine, S.S. (2002).** Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 35, 1015-1048.
- Giannou, V., Kessoglou, Tzia C. (2003).** Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 99-108.
- Giannou, V., Tzia, C. (2008).** Cryoprotective role of exogenous trehalose in frozen dough products. *Food and Bioprocess Technology*, 1(3), 276-284.
- Gil, M.J., Callejo, M.J., Rodriguez, G. (1997).** Effect of water content and storage time on white pan bread quality: instrument evaluation. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung A*, 205 (4), 268-273.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P.A., Apesteguía, A. (2003).** Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research & Technology*, 216, 51-56.
- Gómez, M., Del Real, S., Rosell, C.M., Ronda, F., Blanco, C., Caballero, P.A. (2004).** Functionality of different emulsifiers on the performance of breadmaking and wheat bread quality. *European Food Research & Technology*, 219(2), 45-160.
- Gómez, A.V., Buchner, D., Tadini, C.C., Anón, M.C., Puppo, M.C. (2013).** Emulsifiers: Effects on quality of fibre-enriched wheat bread. *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), 1228-1239.
- Grujić, R., Marjanović, N., Radanović, R., Popov-Raljić, J., Komić, J. (2001).** Kvalitet i analiza namirnica. Univerzitet u Banja Luci.
- Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., Galotto, M.J. (2004).** Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18, 241-247.
- Guillon, F., Champ, M. (2000).** *Food Res.*, Int.33, 233-245.
- Gyura J., Filipović, N., Sekulić, R. (2001).** Particle size of the additive from sugar beet influencing dough rheology. Proceedings of the 17th International Congress of Nutrition, 2-31 August, Vienna, Austria, **S. Karger Ed. Medical and Scientific Publisher**, Basel.
- Gyura, J., Šereš, Z., Šoronja Simović, D., Pajin, B. (2016).** Proizvodnja i primena prehrambenih vlakana, udžbenik. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

- Han, W., Ma, S., Li, L., Wang, X., Zheng, X. (2017). Application and development prospects of dietary fibers in flour products, review article. **Journal of Chemistry**, 3, 1-8.
- Haswell, S.J. (1991). Atomic Absorption Spectrometry Theory, Design and Applications, Elsevier, Amsterdam.
- Havet, M., Mankai, M., Le-Bail, A. (2000). Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. **Journal of Food Engineering**, 45, 139-145.
- Hazová, B., Kukurukova, I., Turicova, R., Podok, L. (2002). Sensory quality of sored croissant – type bakery products. **Czech Journal Food Science**, 20, 105-112.
- Hay, R. L. (1993). Effect of flour quality characteristics on puff pastry baking performance. **Cereal Chemistry**, 70, 392–396.
- Hay, R. L. (1993). Effect of flour quality characteristics on puff pastry baking performance. **Cereal Chemistry**, 70, 392–396.
- Hsu, K., Hoseney, R., Seib, S. (1979). Frozen dough. II. Effects of freezing and storing conditions on the stability of yeasted doughs. **Cereal Chemistry**, 56, 424–426.
- <http://ciah.mas.bg.ac.rs>
- <https://fdc.nal.usda.gov>
- Hu, S.-Q., Liu, G., Li, L., Li, Z.-X., Hou, Y. (2013). An improvement in the immersion freezing process for frozen dough via ultrasound irradiation. **Journal of Food Engineering**, 114(1), 22-28.
- Huang, Z., Wang, J.J., Chen, Y., Wei, N., Hou, Y., Bai, W., Hu, S.Q. (2020). Effect of water-soluble dietary fiber resistant dextrin on flour and bread qualities. **Food Chemistry**, 317, ID 126452.
- Iglesias-Puig, E., Haros, M. (2013). Evaluation of performance of dough and bread incorporating chia (*Salvia hispanica L.*). **European Food Research and Technology**, 237, 1-10.
- [Ihis Nutricionizam \(ihis-nutricionizam.rs\)](http://his-nutricionizam.com)
- Indrani, D., Prabhasankar, P., Rajiv, J., Rao Venkateswara, G. (2002). Effect of storage on the rheological and parotta-making characteristics of frozen parotta dough. **European Food Research and Technology**, 215, 484-488.
- Inoue, Y., Bushuk, W. (1991). Studies on frozen doughs. I. Effects of frozen storage and freeze-thaw cycles on baking rheological properties. **Cereal Chemistry**, 68, 627–631.
- Inoue, Y., Bushuk, W. (1992). Studies on frozen doughs. II. Flour quality requirements for bread production from frozen dough. **Cereal Chemistry**, 69(4), 423–428.
- Inoue, Y., Sapirstein, H.D., Takayanagi, S., Bushuk, W. (1994). Studies on frozen doughs. III. Some Factors Involved in Dough Weakening During Frozen Storage and Thaw-Freezing Cycles. **Cereal Chemistry**, 71:118-121.
- Ixtaina, V.Y., Martinez, M.L., Spotorno, V., Mateo, C.M., Maestri, D.M., Diehl, B.W.K., et al. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. **Journal of Food Composition and Analysis**, 24, 166-174.
- Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., Tomás, M.C. (2008). Physical properties of chia (*Salvia hispanica L.*) seeds. **Industrial Crops and Products**, 28(3), 286-293.
- Janković, M. (2002). Tehnologija hlađenja, Poljoprivredni fakultet, Beograd.

- Jia, G., He, X., Nirasawa, S., Tatsumi, E., Liu, Ho., Liu, Ha. (2017).** Effects of highvoltage electrostatic field on the freezing behavior and quality of pork tenderloin. **Journal of Food Engineering**, 204, 18–26.
- Jurgensen, M. (1998).** Sve zavisi od šoka (prevod iz Back Journal). **Mlinpek almanah**, 5, 9-10.
- Juszczak, L., Witczak, T., Ziobro, R., Korus, J., Cieslik, E., Witczak, M. (2012).** Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. **Carbohydrate Polymers** 90, 353-360.
- Kaluđerski, G., Filipović, N. (1998).** Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda. Tehnološki fakultet, Zavod za tehnologiju žita i brašna, Novi Sad.
- K.O.M.A.**, Stručno-tehnički materijal, Postrojenja za zamrzavanje pekarsko-konditorskih proizvoda, Holandija.
- Kaino, T., Tateiwa, T., Mizukami-Murata, S., Shima, J., Takagi, H. (2008).** Self- -cloning baker's yeasts that accumulate proline enhance freeze tolerance in doughs. **Applied and Enviromental Microbiology**, 74(18), 5845-5849.
- Katalenić, M. (2006).** Frozen food in relation to bakery products, Book of Abstracts, Professional Meeting "Baker's Congress", Poreč, pp 13.
- Katunzi-Kilewela, A., Kaale, L., Kibazohi, O., Rweyemamu, L.M.P. (2021).** Nutritional, health benefits and usage of chia seeds (*Salvia hispanica*): A review. **African Journal of Food Science**, 15 (2) 48-59. Doi: 10.5897/AJFS2020.201
- Kendall, C.W.C., Esfahani, A., Jenkins, D.J.A. (2010).** The link between dietary fibre and human health. **Food Hydrocolloids**, 24, 42–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>
- Keneddy, C.J. (2000).** Managing frozen foods, (Ed.) Woodhead Publising, Cambridge.
- Kenny, S., Wehrle, K., Auty, M., Arendt, E.K. (2001).** Influence of Sodium Caseinate and Whey Protein on Baking Properties and Rheology of Frozen Dough. **Cereal Chemistry**, 78, 458-463.
- Kiani, H., Sun, D.-W. (2011).** Water crystallization and its importance to freezing of foods: a review. **Trends in Food Science and Technology**, 22(8), 407-426.
- Kiani, H., Sun, D.-W. (2018).** Numerical simulation of heat transfer and phase change during freezing of potatoes with different shapes at the presence or absence of ultrasound irradiation. **Heat and Mass Transfer**, 54(3), 885–894.
- King, C.J. (1975).** Application of freeze-drying to food products. Pages 333-349 in: *Freeze-Drying and Advanced Food Technology*. S.A. Goldblith, L.Rey, and W.W. Rohmayr, eds. Academic Press, New York.
- Klarić, F. (2017).** Suvremene tehnologije u pekarstvu i slastičarstvu - sirovine i proizvodi. TIM ZIP d.o.o., Zagreb.
- Kokini, J.L., Lai, L.S., Chedid, L.L. (1992).** Effect of starch structure on starch rheological properties. **Food Technology**, 46, 124-139.
- Kontogiorgos, V., Goff, H.D. (2006).** Calorimetric and microstructural investigation of frozen hydrated gluten. **Food Biophysics**, 1(4), 202-215.
- Kovačević, M. (2001).** Pekarstvo i poslastičarstvo. Progres, Novi Sad, 115-116; 208-213.
- Kovačević, M. (2011).** Praktično pekarstvo. Progres, Novi Sad.

- Kremić, M. (1989).** Uticaj uslova zamrzavanja i čuvanja kvasnog peciva na kvalitet gotovog proizvoda, magistarski rad. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Ktenioudaki, A., Gallagher, E. (2012).** Recent advances in the development of high-fibre baked products. **Trends in Food Science and Technology**, 28, 4-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.004>
- Kulp, K., Lorenz, K., Brümmer, J. (1995).** Frozen and refrigerated doughs and batters, (Eds) AACC, St. Paul.
- Kurek, M., Wyrwisz, J. (2015).** The application of dietary fiber in bread products. **Food Processing & Technology**, 6:5.
- Labutina, N.V., Puchkova, L.I., Gubiev, Y., Ilyasov, S.G., Kats, A.M. (1981).** Замораживания частично запеченные рулонах. **Hlebopekarna Konditerskaya Promyshlennost', 8, 27-28.**
- Landete, J.M. (2012).** Updated knowledge about polyphenols: functions, bioavailability, metabolism, and health. **Critical Reviews in Food science and Nutrition**, 52, 936-948.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., Califano, A. (2013).** Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. **Journal of Cereal Science**, 57, 520–526. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.003>
- Le-Bail, A., Havet, M., Pasco, M. (1998).** Influence of the freezing rate and of storage duration on the gassing power of frozen bread dough, International Congress of Refrigeration, Nantes, France, 16-18.
- Le-Bail, A., Monteau, J.Y., Margerie, F., Lucas, T., Chargelegue, A., Reverdy, Y. (2005).** Impact of Selected Process Parameters on Crust Flaking of Frozen Part Baked Bread. **Journal of Food Engineering**, 69, 503-509.
- Le-Bail, A., Nicolitch, C., Vuillod, C. (2010).** Fermented frozen dough: impact of prefermentation time and of freezing rate for a pre-fermented frozen dough on final volume of the bread. **Food Bioprocess Technol.**, 3, 197-203.
- Lebesi, D.M., Tzia, C. (2011).** Effects of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. **Food and Bioprocess Technology**, 4, 710-722.
- Lee, J.-H., Choi, D.-R., Lee, J.-K., Lee, S.-K. (2004).** Effect of emulsifiers on properties of the bread made by the dough frozen after first fermentation. **Applied Biological Chemistry**, 47(1), 107-112.
- Leray, G., Oliete, B., Mezaize, S., Chevallier, S., de Lamballerie, M. (2010).** Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. **Journal of Food Engineering**, 100(1), 70-76.
- Leroy, V., Pitura, K. M., Scanlon, M. G., Page, J. H. (2010).** The complex shear modulus of dough over a wide frequency range. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, 165, 475–478. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2010.02.001>
- Leung, H.K, Maltlock, J.P., Meyer, R.S., Morad, M.M. (1984).** Storage Stability of a Puff Pastry Dough with Reduced Water Activity. **Journal of Food Science**, 49 (6), 1405-1409.
- Li, W., Dobraszczyk, B.J., Dias, A., Gil, A.M. (2006).** Polymer conformation structure of wheat proteins and gluten subfractions revealed by ATR-FTIR. **Cereal Chemistry**, 83, 405-410.

- Liang, D., Lin, F., Yang, G., Yue, X., Zhang, Q., Zhang, Z., Chen, H. (2015). Advantages of immersion freezing for quality preservation of litchi fruit during frozen storage. **LWT-Food Science and Technology**, 60, 948–956.
- Liehr, M., Kulicke, W.M. (1996). Rheological examination of the influence of hydrocolloids on the freeze-thaw stability of starch gels. **Starch**, 48, 52-57.
- Lin, X., Zhang, C.Y., Bai, X.W., Feng, B., Xiao, D.G. (2015). Improvement of stress tolerance and leaving ability under multiple baking-associated stress conditions by overexpression of the SNR84 gene in baker's yeast. **International Journal of Food Microbiology**, 197, 15-21.
- Linden, G., Lorient, D. (1999). *New Ingredients in Food Processing: Biochemistry and Agriculture*. CRC Press: Cambridge, England.
- Liu, N., Ma, S., Li, L., Wang, X. (2019). Study on the effect of wheat bran dietary fiber on the rheological properties of dough. **Grain & Oil Science and Technology**, 2, 1-5.
- Lookhart, G. L., Menkovska, M., Pomeranz, Y. (1989). Polyacrylamide gel electrophoresis and high-performance liquid chromatography patterns of gliadins from wheat sections and milled and air-classified fractions. **Cereal Chemistry**, 66, 256–262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172819>
- Lopes-Da-Silva, J.A., Santos, D.M., Freitas, A., Brites, C., Gil, A. M. (2007). Rheological and nuclear magnetic resonance (NMR) study of the hydration and heating of undeveloped wheat doughs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 55, 5636–5644. <https://doi.org/10.1021/jf070379+>
- Lovrić, T. (2003). *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb.
- Lu, W., Grant, L.A. (1999a). Effects of prolonged storage at freezing temperatures on starch and baking quality of frozen doughs. **Cereal Chemistry**, 76, 656-662.
- Lu, W., Grant, L.A. (1999b). Role of flour fractions in breadmaking quality of frozen dough. **Cereal Chemistry**, 76, 663-667.
- Lucas, T., Grenier, A., Quellec, S., Le-Bail, A. (2005a). MRI Quantification of Ice Gradients in Dough During Freezing or Thawing Process. **Journal of Food Engineering**, 43, 197-203.
- Lucas, T., Quellec, S., Le-Bail, A., Davenel, A. (2005b). Chilling and Freezing of Part-Baked Breads II., Experimental Assessment of Water Phase Changes and of Structure Collapse. **Journal Food Engineering**, 70, 151-164.
- Luo, W., Sun, D.-W., Zhu, Z., Wang, Q.-J. (2018). Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods. **Trends in Food Science & Technology**, 72, 25-33.
- Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Torres-Chavez, P. I., Sánchez-Machado, I., López-Cervantes, J. (2014). Changes in protein solubility, fermentative capacity, viscoelasticity and breadmaking of frozen dough. **African Journal of Biotechnology**, 13(20):2058-2071.
- Majzoobi, M., Adebisi, E. (2014). Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten. **International Food Research Journal**, 21, 1219–1224.
- Mallett, C.P. (1992). *Frozen Food Technology* (Ed.1), Springer, NY, USA.
- Mandala, I.G. (2005). Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated bread, containing hydrocolloids. **Journal of Food Engineering**, 66, 291-300.

- Manno, D., Filippo, E., Serra, A., Negro, C., De Bellis, L., Miceli, A. (2009). The influence of inulin addition on the morphological and structural properties of durum wheat pasta. **International Journal of Food Science and Technology**, 44, 2218-2224.
- Marchetti, L., Cardós, M., Campana, L., Ferrero, C. (2012). Effect of glutes of different quality on dough characteristics and breadmaking performance. **LWT-Food Science and Technology**, 46, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.002>
- Marineli, R.S., Moraes, É.A., Lenquiste, S.A., Godoy, A.T., Eberlin, M.N., Maróstica, M.R., Jr. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). **LWT-Food Science and Technology**, 59, 1304-1310.
- Marlett, J.A. (1993). Comparisons of dietary fiber and selectet nutrient compositions of oat and other grain fractions in oat bran. Wood P.J. Ed. AACC, St. Paul.
- Martínez-Cruz, O., Paredes-López, O. (2014). Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra high performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography**, A 1346, 43-48.
- Matuda, T., Parra, D., Lugao, A., Tadini, C. (2005). Influence of vegetable shortening and emulsifiers on the unfrozen water content and textural properties of frozen French bread dough. **LWT-Food Science and Technology**, 38, 275-280.
- Mazur, P., Schmidt, J.J. (1968). Interactions of cooling velocity, temperature and warming velocity on the survival of frozen and thawed yeast. **Cryobiology** 5, 1-17.
- McGill, E.A. (1981). A closer look at bakery fats. **Peerless Food Products**, 2-20.
- Mejia, C.D., Mauer, L.J., Hamaker, B.R. (2007). Similarities and differences in secondary structure of viscoelastic polymers of maize α -zein and wheat gluten proteins. **Journal of Cereal Science**, 45, 353-359.
- Meng, Y., Guan, X., Liu, X., Zhang, H. (2019). The rheology and microstructure of composite wheat dough enriched with extruded mung bean flour. **LWT- Food Science and Technology**, 109, 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.095>
- Meryman, H.T. (1960). Freezing and drying of biological materials. (Ed.) **Annals of the New York Academy Sciences**, 85, 503-509.
- Mezger, T. (2002). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillation rheometers*. Hannover: Vincentz Verlag.
- Mikuš, Ľ., Valík, Ľ., Dodok, L. (2011). Usage of hydrocolloids in cereal technology. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, 59:325.
- Milani, J., Maleki, G. (2012). Hydrocolloids in Food Industry. In: *Food Industrial Processes - Methods and Equipment*. B. Valdez Ed., InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-foodindustry>
- Miletić, I., Šobajić, S., Đorđević, B. (2008). Funkcionalna hrana – uloga u unapređenju zdravlja, **JMB**, 27, 367-370.
- Mironeasa, S., Codina, G.G. (2019). Dough rheological behavior and microstructure characterization of composite dough with wheat and tomato seed flours. **Foods**, 8, 626. <https://doi.org/10.3390/foods8120626>
- Mohd Ali, N., Yeap, S.K., Ho, W.Y., Beh, B.K., Tan, S.W., Tan, S.G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, 2012, 1-9.

- Mok, JH., Choi, W., Park, SH., Lee, SH., Jun, S. (2015).** Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing. **International Journal of Refrigeration**, 50, 137–145.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M.D. (2013).** Effect of chia (*Salvia hispanica L.*) and hydrocolloids on the rheology of gluten-free doughs based on chestnut flour. **LWT-Food Science and Technology**, 50, 160-166.
- Morgenstern, G. (1985).** Interrupted Baking Method for Crusty rolls. **Getreide Mehl und Brot**, 39, 46-49.
- Morris, C., Morris, G.A. (2012).** The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation: a review. **Food Chemistry**, 133, 237-248.
- Muñoz, L.A., Cobos, A., Diaz, O., Aguilera, J.M. (2012).** Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**, 108, 216-224.
- Muñoz, P., Márquez, S., González-Nilo, F., Márquez-Miranda, V., Blamey, J. (2017).** Structure and application of antifreeze proteins from Antarctic bacteria. **Microbial Cell Factories**, 16:138, 13p.
- Nakagawa, Y., Ogihara, H., Mochizuki, C., Yamamura, H., Imura, Y., Hayakawa, M. (2017).** Development of intra-strain self-cloning procedure for breeding baker's yeast strains. **Journal of Bioscience & Bioengineering**, 123(3), 319-326.
- Nasehi, B. (2020).** Technological functionality, sensory properties, and nutritional value of pasta products enriched with different dietary fiber resource: a review. **Journal of Food and Bioprocess Engineering**, 3(2), 160-167.
- Nawrocka, A., Szymanska-Chargot, M., Mis, A., Kowalski, R., Gruszecki, W., (2016).** Raman studies of gluten proteins aggregation induced by dietary fibers. **Food Chemistry**, 194, 86-94.
- Nelson, A. (2001).** High-Fiber Ingredients. Eagan Press, St. Paul, Minnesota.
- Nemeth, L.J., Paulley, F.G., Preston, K. R. (1996).** Effects of ingredients and processing conditions on the frozen dough bread quality of Canada Western red spring wheat flour during prolonged storage. **Food Research International**, 29, 609-616.
- Neyreneuf, O., Delpuech, B. (1993).** Freezing experiments on yeasted dough slabs. effects of cryogenic temperatures on the baking performance. **Cereal Chemistry**, 70, 109-111.
- Nijveldt, R.J., van Nood, E., van Hoorn, E.C., Boelens, P.G., van Norren, K., van Leeuwen, P.A. (2001).** Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 74, 418-425.
- Oesterwind, G., Pagenstedt, M.B. (1982).** Herstellung und Vertrieb von „Vorgebackenen“ Backwaren. **Getreide Mehl und Brot**, 36, 97-102.
- Omedi, O.J., Huang, W., Zhang, B., Li, Z., Zheng, J. (2019).** Advances in presentday frozen dough technology and its improver and novel biotech ingredients development trends—A review. **Cereal Chemistry**, 96, 34–56.
- Ooms, N., Pareyt, B., Jansens, K.J., Reyniers, S., Brijs, K., Delcour, J.A. (2017).** The impact of redox agents on further dough development, relaxation and elastic recoil during lamination and fermentation of multi-layered pastry dough. **Journal of Cereal Science**, 75, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.026>
- Oosterveld, A., Beldman, G., Schols, H., Voragen, A. (2000).** Characterization of arabinose and ferulic acid rich pectic polysaccharides and hemicelluloses from sugar beet pulp. **Carbohydrate Research**, 328, 185-197.

- Ortolan, F., Corrêa, G. P., da Cunha, R. L., Steel, C. J. (2017).** Rheological properties of vital wheat glutes with water or sodium chloride. **LWT-Food Science and Technology**, 79, 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.059>
- Ortolan, F., Steel, C. J. (2017).** Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 16, 369–381.
- Ozboy, O., Koksel, H. (2000).** Effects of sugar beet fiber on the quality fiber content of extrusion products. **Zuckerindustrie**, 125, 11, 903-905.
- Pajin, B., Šoronja-Simović, D., Šereš, Z., Gyura, J., Radujko, I., Sakač, M. (2011).** Physicochemical and textural properties of puff pastry margarines. **European Journal of Lipid Science and Technology**, 113, 262–268.
- Papathanasopoulos, A., Camilleri, M. (2010).** Dietary fiber supplements: effects in obesity and metabolic syndrome and relationship to gastrointestinal functions. **Gastroenterology**, 138, 65-72.el-2.
- Patil, S.P., Arya, S. S. (2016).** Influence of additives on dough rheology and quality of Thepla: An Indian unleavened flatbread. **Food Measure**, 10, 327-335.
- Pejin, D., Mastilović, J., Šimurina, O. (2005).** Kvasac - sirovina u pekarskoj proizvodnji. **Žito hleb**, 32, 1-13.
- Peressini, D., Sensidoni, A. (2009).** Effect of soluble dietary fibre on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science** 49, 190-201.
- Perron, C.E., Lukow, O.M., Bushuk, W., Townley-Smith, F. (1998).** The blending potential of diverse wheat cultivars in a frozen dough system. **Cereal Foods World**, 44, 667-672.
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., Micard, V. (2010).** Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: pasta processing and quality evaluation. **Food Research International**, 43, 634-641.
- Petrović, L.J. (1987).** Fizičke osnove smrzavanja mesa, **Zbornik radova**, Naučni skup "NIM '87", Petrinje, 350-357.
- Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., Cleland, D.J. (2008).** Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage and frozen dough and bread quality. **Journal of Food Engineering**, 84(1), 48-56.
- Picard, N. (1997).** Substitution de la matière grasse animale et réduction des calories d'une pâte feuilletée industrielle. Université Laval: Maître tesos, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation.
- Pizzaro, P.L., Almeida, E. L., Samman, N.C., Chang, Y.K. (2013).** Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica L.*) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. **LWT-Food Science and Technology**, 54, 73-79.
- [Poljoprivredni fakultet - Novi Sad \(uns.ac.rs\)](http://www.uns.ac.rs)
- Popper, L., Schafer, W., Freund, W. (Eds.). (2006).** Future of flour: A compendium of flour improvement. AgriMedia.
- Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane (2017).** Službeni glasnik RS, 19/2017, 16/2018, 17/2020, 118/2020.
- Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina (2016).** Službeni glasnik RS, 68/2016, 56/2018.
- Pravilnik o novoj hrani (2018).** Službeni glasnik RS, 88/2018.

- Pravilnik o prehrambenim aditivima (2018).** Službeni glasnik RS, 53/2018.
- Pravilnik o prehrambenim i zdravstvenim izjavama koje se navode na deklaraciji hrane (2018).** Službeni glasnik RS, 51/2018, 103/2018.
- Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti dijetetskih proizvoda (2010).** Službeni glasnik RS, 45/2010, 27/2011, 50/2012, 21/2015, 75/2015, 7/2017, 103/2018 – dr. pravilnik.
- Räsänen J. (1998).** Fermented Frozen Lean Wheat Doughs, Dissertation for the Degree of Doctor of Technology, Technical research Centre of Finland, Espoo, pp. 40-58.
- Reid, D.S. (1983).** Fundamental physicochemical aspects of freezing. **Food Technol.** 37(4), 110-115.
- Rendón-Villalobos, R., Ortíz-Sánchez, A., Solorza-Feria, J., Trujillo-Hernandez, C.A. (2012).** Formulation, physicochemical, nutritional and sensorial evaluation of corn tortillas supplemented with chia seed (*Salvia hispanica L.*). **Czech Journal of Food Science**, 30, 118-125.
- Renzetti, S., de Harder, R., Jurgens, A. (2016).** Puff pastry with low saturated fat contents: The role of fat and dough physical interactions in the development of a layered structure. **Journal of Food Engineering**, 170, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.009>
- Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M.A. (2008).** Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica L.*) seeds. **Food Chemistry**, 107, 656-663.
- Ribotta, P.D., Ausar, S.F., Beltramo, D.M., León, A.E. (2005).** Interactions of hydrocolloids and sonicated-gluten proteins. **Food Hydrocolloids**, 19, 93-99.
- Ribotta, P.D., León, A.E., Añón, M. C. (2001).** Effects of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49, 913-9189.
- Ribotta, P.D., León, A.E., Añón, M. C. (2003a).** Effects of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter. **Food Research International**, 36, 357-363.
- Ribotta, P.D., León, A.E., Añón, M. C. (2003b).** Effects of yeast freezing in frozen dough. **Cereal Chemistry Journal**, 80(4), 454-458.
- Ribotta, P.D., Pérez, G.T., León, A.E., Añón, M. C. (2004).** Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance on frozen bread dough. **Food Hydrocolloids**, 18(2), 305-313.
- Robertson, G.H., Gregorski, K.S., Cao, T.K. (2006).** Changes in secondary protein structures during mixing development of high absorption (90%) flour and water mixtures. **Cereal Chemistry**, 83, 136-142.
- Rojas, J.A., Rosell, C.M., Benedito, C. (1999).** Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. **Food Hydrocolloids**, 13, 27-33.
- Ronda, F., Quilez, J., Pando, V., Roos, Y.H. (2014).** Fermentation time and fiber effects on recrystallization of starch components and staling of bread from frozen part-baked bread. **Journal of Food Engineering**, 131, 116-123.
- Rosalam, S., England, R. (2006).** Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris sp.* **Enzyme and Microbial Technology**, 39:137.

- Rosell, C., Gómez, M. (2007). Frozen Dough and Partially Baked Bread: An Update. *Food Reviews International*, 23, 303-319.
- Rosell, C.M., Rojas, J.A., Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough. *Food Hydrocolloids*, 15, 75-81.
- Rouille, J., Le-Bail, A., Coucoux, P. (2000). Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough. *Journal of Food Engineering*, 43, 197-203.
- Rouilly, A., Geneau-Sbartai, C., Rigal, L. (2009). Thermo-mechanical processing of sugar beet pulp. III. Study of extruded films improvement with various plasticizers and cross-linkers. *Bioresource Technology*, 100, 3076-3081.
- Russo Krauss, I., Merlino, A., Vergara, A., Sica, F. (2013). An Overview of biological macromolecule crystallization. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 11643-11691.
- Sahlström, S., Nielsen, A.O., Faergestad, E.M., Lea, P., Park, W.J., Ellekjaer, M.R. (1999). Effect of dough processing conditions and DATEM on Norwegian hearth bread prepared from frozen dough. *Cereal Chemistry*, 76, 38-44.
- Sanderson, G.R. (1996). Gums and their use in food systems. *Food Technology*, 50, 81-84.
- Sarabhai, S., Sudha, M. L., Prabhasankar, P. (2017). Rheological characterization and biscuit making potential of gluten free flours. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1449–1461. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9524-3>
- Sasano, Y., Haitani, Y., Hashida, K., Ohtsu, I., Shima, J., Takagi, H. (2012a). Enhancement of the proline and nitric oxide synthetic pathway improves fermentation ability under multiple baking-associated stress conditions in industrial baker's yeast. *Microbial Cell Factories*, 11(1), 40.
- Sasano, Y., Haitani, Y., Hashida, K., Oshiro, S., Shima, J., Takagi, H. (2013). Improvement of fermentation ability under baking-associated stress conditions by altering the POG1 gene expression in baker's yeast. *International Journal of Food Microbiology*, 165(3), 241-245.
- Sasano, Y., Haitani, Y., Ohtsu, I., Shima, J., Takagi, H. (2012b). Proline accumulation in baker's yeast enhances high-sucrose stress tolerance and fermentation ability in sweet dough. *International Journal of Food Microbiology*, 152(1), 40-43.
- Sasano, Y., Takahashi, S., Shima, J., Takagi, H. (2010). Antioxidant N-acetyltransferase Mpr1/2 of industrial baker's yeast enhances fermentation ability after air-drying stress in bread dough. *International Journal of Food Microbiology*, 138(1), 181-185.
- Saunders, R.M. (1990). The properties of rice bran as a foodstuff. *Cereal Foods World*, 35:632.
- Sayaslan, A., Koyuncu, M., Türker, S., Irkli, Y., Serin, A., Orhan, F. G. (2018). Use of durum wheat clear flour in vital gluten and bioethanol production. *Journal of Cereal Science*, 80, 50–56.
- Schiraldi, A., Piazza, L., Riva, M. (1996). Bread stiling: a calorimetric approach. *Cereal Chemistry*, 73, 32-39.
- Schünemann, C., Treu, G. (2012). Tehnologije proizvodnje pekarskih i slastičarskih proizvoda, stručni udžbenik za pekare. TIM ZIP d.o.o., Zagreb.

- Sedej, I. (2011).** Funkcionalna i antioksidativna svojstva novih proizvoda od heljde, doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Segura-Campos, M.R., Salazar-Vega, I. M., Chel-Guerrero, L. A., Betancur-Ancona, D.A. (2013).** Biological potential of chia (*Salvia hispanica L.*) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. **LWT-Food Science and Technology**, 50, 723-731.
- Seibel, W., Steinhage, H., Nestl, B., Jansen, J. (1989).** Die Verwendung von Rübenballaststoff. **Zucker und Süßwaren Wirtschaft**, 42:242.
- Sekulić, R., Gyura, J., Psodorov, Đ., Petrov., S. (1992).** Primena aditiva dobijenih iz izluženih rezanaca šećerne repe u pekarskim proizvodima, 2. deo. **Žito-hleb**, 19, 1-2, 27-32.
- Selaković, A., Nikolić, I., Dokić, Lj., Šoronja Simović, D., Šimurina, O., Zahorec, J., Šereš, Z., (2021).** Enhancing rheological performance of laminated dough with whole wheat flour by vital gluten addition. **LWT - Food Science and Technology**, LWT 138, 110604.
- Selomulyo, O. V., Zhou, W. (2007).** Frozen Bread Dough: Effects of Freezing Storage and Dough Improvers. **Journal of Cereal Science**, 45, 1-17.
- Sharadanant, R., Khan, K. (2003).** Effect of hydrophilic gums on frozen dough. I. Dough quality. **Cereal Chemistry**, 80(6), 764-772.
- Sharadanant, R., Khan, K. (2006).** Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: electron microscopy, protein solubility, and electrophoresis studies. **Cereal Chemistry**, 80, 411-417.
- Shi, K., Yu, H., Jin, J., Lee, T. (2013).** Improvement to baking quality of frozen bread dough by novel zein-based ice nucleation films. **Journal of Cereal Science**, 57(3), 430-436.
- Shima, J., Takagi, H. (2009).** Stress-tolerance of baker's-yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cells: Stress protective molecules and genes involved in stress tolerances. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, 53(3), 155-164.
- Silow, C., Zannini, E., Axel, C., Lynch, K. M., Arendt, E. K. (2016).** Effect of salt reduction on wheat-dough properties and quality characteristics of puff pastry with full and reduced fat content. **Food Research International**, 89, 330–337.
- Silvas-García, M.I., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P.I., Bello-Pérez, L.A., Carvajal-Millán, E., Barrón-Hoyos, J.M., et al. (2016).** Effect of freezing rate and storage on the rheological, thermal and structural properties of frozen wheat dough starch. **Starch - Stärke**, 68(11-12), 1103-1110.
- Silvas-García, M.I., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P.I., Carvajal-Millan, E., Barrón-Hoyos, J.M., Bello-Pérez, L.A., Quintero-Ramos, A. (2014).** Effect of freezing rate and storage time on gluten protein solubility, and dough and bread properties. **Journal of food process engineering**, 37, 237–247.
- Simovic, D.S., Pajin, B., Seres, Z., Filipovic, N. (2009).** Effect of low-trans margarine on physicochemical and sensory properties of puff pastry. **Int. Journal of Food Science and Technology**, 44, 1235–1244.
- Singh, J.P., Kaur, A., Singh, N. (2016).** Development of eggless gluten-free rice muffins utilizing black carrot dietary fiber concentrate and xanthan-gum. **Journal of Food Science and Technology**, 53, 1269-1278.

- Singh, S., Singh, N. (2013).** Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, 33, 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.04.007>
- Sivri, D., Koksel, H., Bushuk, W. (1998).** Effects of wheat bug (*Eurygaster maura*) proteolytic enzymes on electrophoretic properties of gluten proteins. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, 26, 117–125. <https://doi.org/10.1080/01140671.1998.9514048>
- Skendi, A., Biliaderis, C.G., Papageorgiou, M., Izydorczyk, M.S. (2010).** Effects of two barley β -glukan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry** 119, 1159-1167.
- Slavin, J. (2003).** Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases. **Journal of Food Composition and Analysis**, 16, 287-291.
- Sliwinski, E.L., Kolster, P., van Vliet, T. (2004a).** On the relationship between large-deformation properties of wheat flour dough and baking quality. **Journal of Cereal Science**, 39, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.10.005>
- Sliwinski, E.L., Kolster, P., van Vliet, T. (2004b).** Large-deformation properties of wheat dough in uni-and biaxial extension. Part I. Flour dough. **Rheologica Acta**, 43, 306–320. <https://doi.org/10.1007/s00397-003-0344-5>
- Soupin, L. (2006).** Frozen Technology, Lesaffre International, Book of Abstracts, Professional meeting “Baker's Congress”, Poreč, pp 8.
- Stauffer, C.E. (1993a).** Frozen Dough Production. In: Kamel, B., Stauffer, C. (Eds.), *Advances in Baking Technology*, Blackie, UK, pp. 88-106.
- Stauffer, C.E. (1993b).** Dietary fiber; analysis, physiology and calorie reduction. **Chapt.14 in Advances in Baking Technology**, edited by B.S. Kamel and C.E. Stauffer, Blackie Academic&Professional, London.
- Stauffer, C.E. (1996).** *Fats and Oils*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Stear, C.A. (1990).** *Hand Book of Bread Making Technology*. Elsevier Applied Science, London, UK, pp (3-8; 689-690).
- Steffe, J. E. (1996).** *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd ed. **Freeman Press**, East Lansing, MI.
- Steffolani, E., De la Hera, E., Perez, G., Gómez, M. (2014).** Effect of chia addition on the quality of gluten-free bread. **Journal of Food Quality**, 37, 307-319.
- Steffolani, E., Martinez, M.M., León, A.E., Gómez, M. (2015).** Effect of pre-hydration of chia (*Salvia hispanica L.*), seeds and flour on the quality of wheat flour breads. **Food Science and Technology**, 61, 401-406.
- Stender S., Astrup A., Dyerberg J. (2008).** Ruminant and industrially produced trans fatty acids: health aspects. **Food and Nutrition Research**, 52, 1-9.
- Stephan, H. (1977).** Influence of Pre-baking on Bread Quality. **Getreide Mehl und Brot**, 31, 100-102.
- Stephan, H. (1980).** Erfahrungen mit der Tiefkühlung bei Brot und Kleingebäck, Nr.3986 der Veröffentlichungen der BfG, Detmold, 217-222.
- Su, G., Hosahalli, S. R., Zhu, S., Yu, Y., Hu, F., Xu, M. (2014).** Thermal characterization and ice crystal analysis in pressure shift freezing of different muscle (shrimp and porcine liver) versus conventional freezing method. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 26, 40-50.

- Sudha, M.L., Baskaran, V., Leelavathi, K. (2007).** Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effects on the rheological characteristics and cake making. **Food Chemistry**, 104, 686-692.
- Sun, D.-W. (2016).** Handbook of frozen food processing and packaging. **CRC Press**.
- Sun, R., Hughes, S. (1999).** Fractional isolation and physico-chemical characterization of hemicelluloses and cellulose from sugar beet pulp. **Carbohydrate Polymers**, 36, 293-299.
- Sun, X., Zhang, C.Y., Wu, M.Y., Fan, Z.H., Liu, S.N., Zhu, W.B., et al. (2016).** MAL62 overexpression and NTH1 deletion enhance the freezing tolerance and fermentation capacity of the baker's-yeast yeast in lean dough. **Microbial Cell Factories**, 15(1), 54.
- Šamšalović, S. (1994).** Tehnologija hlađenja i smrzavanja hrane. Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd.
- Šamšalović, S. (2012).** Rashladni uređaji i instalacije. Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije, Beograd.
- Šereš, Z., Gyura, J., Šoronja Simović, D., Pajin, B., Lević, Lj., Jokić, A., Ikonić, B., Bogdanović, B. (2009-2010).** Prehrambena vlakna šećerne repe namenjena proizvodnji keksa. Tehničko rešenje, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Šimurina, O. (2011).** The effect of basic raw materials in the process of wheat dough freezing. **Food and Feed Research**, 38, 9-19.
- Šimurina, O., Filipčev, B. (2012).** Zamrzavanje u pekarskoj industriji. Monografija, Naučni institut za prehrambene tehnologije, Novi Sad.
- Šimurina, O., Mastilović, J., Psodorov, Đ., Pojić, M. (2004).** Pecivna svojstva brašna od pšenice roda 2004. godine u poređenju sa prethodnim godinama. **Žito-hleb**, 31, 159-167.
- Šoronja Simović, D. (2005).** Dvopek sa vlaknima šećerne repe. Magistarski rad, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Šoronja Simović, D. (2009).** Uticaj sastava masne faze margarina na fizičke osobine i kvalitet peciva od laminiranog testa. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Šoronja Simović, D. (2012).** Nutritivna vrednost lisnatog peciva, Zadužbina Andrejević, Beograd.
- Šoronja Simović, D., Maravić, N., Šereš, Z., Mišan, A., Pajin, B., Jevrić, L., Podunavac-Kuzmanović, S., Kovačević, S. (2016).** Antioxidant capacity of cookies with non-modified and modified sugar beet fibers: chemometric and statistical analysis. **European Food Research and Technology**.
- Šoronja Simović, D., Šereš, Z., Nikolić, I., Šimurina, O., Maravić, N., Đorđević, M. (2017).** Challenges related to the application of high and low trans margarine in puff pastry production. **Jornal of Food Processing and Preservation**, 41(6), e13265, DOI: 10.1111/jfpp.13265.
- Šoronja Simović, D., Zahorec, J., Šereš, Z., Maravić, N., Smole Možina, S., Luskar, L., Luković, J. (2020).** Challenges in determination of rheological properties of wheat dough supplemented with industrial by-products: carob pod flour and sugar beet fibers. **Journal of Food Measurement and Characterization**.
- Šušić, S., Kukić, G., Sinodob, V., Perunović, P., Koronovac, B., Bašić, Đ. (1994).** Osnovi tehnologije šećera. Industrija šećera Jugoslavije, „Jugošećer“ D.D., Beograd.

- Tan, H., Dong, J., Wang, G., Xu, H., Zhang, C., Xiao, D. (2014). Enhanced freeze tolerance of baker's-yeast by overexpressed trehalose-6-phosphate synthase gene (TPS1) and deleted trehalase genes in frozen dough. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, 41(8), 1275-1285.
- Tebben, L., Shen, Y., Li, Y. (2018). Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, 81, 10–24.
- Tong Q., Zhang X., Wu F., Tong J., Zhang P., Zhang J. (2010). Effect of Honey Powder on Dough Rheology and Bread Quality. **Food Research International**, 43, 2284-2288.
- Torbica, A., Antov, M., Mastilović, J., Knežević, D. (2007). The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, 40, 1038–1045. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.009>
- Torbica, A., Hadnađev, M., Dapčević, M. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. **Food Hydrocolloids**, 24, 626-632.
- Torres, A., Frias, J., Granito, M., Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: chemical, biological and sensory evaluation. **Food Chemistry**, 101, 202-211.
- Tsolmonbaatar, A., Hashida, K., Sugimoto, Y., Watanabe, D., Furukawa, S., Takagi, H. (2016). Isolation of baker's yeast mutants with proline accumulation that showed enhanced tolerance to baking-associated stresses. **International Journal of Food Mikrobiology**, 238, 233-240.
- Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o hrani za dojenčad i malu djecu, hrani za posebne medicinske potrebe i zamjeni za cjelodnevnu prehranu pri redukcijskoj dijete te o stavljanju izvan snage Direktive Vijeća 92/52/EEZ, direktiva Komisije 96/8/EZ, 1999/21/EZ, 2006/125/EZ i 2006/141/EZ, Direktive 2009/39/EZ Europskog parlamenta i Vijeća i uredbi Komisije (EZ) br. 41/2009 i (EZ) br. 953/2009. 609/2013 (12.06.2013.). Službeni list Europske Unije, 181.**
- Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o informiranju potrošača o hrani, izmjeni uredbi (EZ) br. 1924/2006 i (EZ) br. 1925/2006 Europskog parlamenta i Vijeća te o stavljanju izvan snage Direktive Komisije 87/250/EEZ, Direktive Vijeća 90/496/EEZ, Direktive Komisije 1999/10/EZ, Direktive 2000/13/EZ Europskog parlamenta i Vijeća, direktiva Komisije 2002/67/EZ i 2008/5/EZ i Uredbe Komisije (EZ) br. 608/2004. 1169/2011 (25.10.2011.). Službeni list Europske Unije, 304.**
- Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o novoj hrani, o izmjeni Uredbe (EU) br. 1169/2011 Europskog parlamenta i Vijeća i o stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 258/97 Europskog parlamenta i Vijeća i Uredbe Komisije (EZ) br. 1852/2001. 2015/2283 (25.11.2015.). Službeni list Europske Unije, 327.**
- Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o prehranbenim i zdravstvenim tvrdnjama koje se navode na hrani. 1924/2006 (20.12.2006.). Službeni list Europske Unije, 404.**
- Uredba Komisije EZ o praćenju temperatura u prijevoznim sredstvima i prostorima za skladištenje i čuvanje brzo smrznute hrane namijenjene prehrani ljudi. 37/2005 (12.01.2005.). Službeni list Europske Unije, 10.**
- Uredba o nacionalnom programu za prevenciju gojaznosti kod dece i odraslih (2018). Službeni glasnik RS, 9/2018.**

- Van der Kamp, J.W., Poutanen, K., Seal, C.J., Richardson, D.P. (2014). The Healthgrain definition of 'whole grain', *Food & Nutrition Research*, 58. Doi: [10.3402/fnr.v58.22100](https://doi.org/10.3402/fnr.v58.22100)
- Van Vilet, T., Janssen, A.M., Bloksma, A.H., Walstra, P. (1992). Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *Journal of Texture Studies*, 23, 439–460. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1992.tb00033.x>
- Van Vliet, T. (2008). Strain hardening as an indicator of bread-making performance: A review with discussion. *Journal of Cereal Science*, 48, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.08.010>
- Varriano-Marston, E., Hsu, K.H., Mahdi, J. (1980). Rheological and structural changes in frozen dough. *Baker's Digest*, 54, 32-34.
- Vazquez-Ovando, A., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 42, 168-173.
- Vereš, M. (1991). Osnovi konzervisanja namirnica, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Vitali, D., Dragojević, V., Šebečoč, B. (2008). Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from whole grain tea-biscuits: Impact of proteins, phytic acid and polyphenols. *Food Chemistry*, 110, 62–68. Doi: [10.1016/j.foodchem.2008.01.056](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.056)
- Volkov, M. A. (1982). Teplo i maso ob mennije procesi pri hranjeniji piščevih produktov, Moskva.
- Vujić, S. (1983). Rashladni uređaji, Mašinski fakultet, Beograd.
- Vujović, N. (2012). Tehnologija pekarstva Lisnato testo. Tiski cvet, Novi Sad.
- Vukobratović, R., Šimurina, O., Mastilović, J. (1999). Preporuke za proizvodnju lisnatog testa od nenamenskog brašna. *Žito-hleb*, 26, 101-105.
- Wagner, Von J. (1996). Köma Kältetechniken. *Düsseldorf Österreichis Bäcker Zeitung*, 91, 11-12.
- Wang, Z. J., Ponte Jr., J. G. (1994). Improving frozen dough qualities with the addition of vital wheat gluten. *Cereal Foods World*, 39, 500-503.
- Wang, Z.J., Ponte Jr., J.G. (1995). Storage Stability of Gluten-fortified Frozen Dough. *Cereal Foods Word*, 40, 87-831.
- Wassermann, L. (1990). Gefrostete Teiglinge (Basis: Wasserware): Rezepturen. *Getreide Mehl und Brot*, 44, 218-220.
- Wellner, N., Mills, E.N.C., Brownsey, G., Wilson, R.H., Brown, N., Freeman, J., et al. (2005). Changes in protein secondary structure during gluten deformation studied by dynamic Fourier transform infrared spectroscopy. *Biomacromolecules*, 6, 255-261.
- Wickramarachchi, K. S., Sissons, M. J., Cauvain, S. P. (2015). Puff pastry and trends in fat reduction: An update. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 1065–1075.
- Wijesundera, C., Richards, A., Ceccato, C. (2007). Industrially produced trans fat in foods in Australia. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 433–442.
- Wolt, M. (1984). Factors involved in the stability of frozen dough. II. The effects of yeast type, flour type, and dough additives on frozen-dough stability. *Cereal Chemistry*, 61(3), 213-221.
- World Health Organization (2014). WHO handbook for guideline development, 2nd edition Geneva.

www.en-standard.eu

www.fao.org

www.fdf.org.uk

www.iso.org

www.iss.rs

www.makroekonomija.org

www.mygfsi.com

www.poljomagazin.com

www.puratos.rs

www.stat.gov.rs

Yi, J., Kerr, W.L. (2009a). Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors. **Journal of Food Engineering**, 93(4), 495-501.

Yi, J., Kerr, W.L. (2009b). Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties. **LWT - Food Science and Technology**, 42(9), 1474-1483.

Yokoigawa, K., Sato, M., Soda, K. (2006). Simple improvement in freeze tolerance of baker's yeast with poly-gamma-glutamate. **Journal of Bioscience & Bioengineering**, 102(3), 215-219.

Zakon o bezbednosti hrane (2009). Službeni glasnik RS, 41/2009, 17/2019.

Zannini, E., Waters, D.M., Arendt, E.K. (2014). The application of dextran compared to other hydrocolloids as a novel food ingredient to compensate for low protein in biscuit and wholemeal wheat flour. **European Food Research and Technology**, 240, 655-662.

Zettel V., Hitzmann B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica L.*) in food products. **Trends in Food Science & Technology**, 80, 43–50.

Zhang, C., Zhang, H., Wang, L. (2007). Effect of carrot (*Daucus carota*) antifreeze proteins on the fermentation capacity of frozen dough. **Food Research International**, 40(6), 763-769.

Zhang, C.-Y., Xiao, D.-G., Lv, Y. (2010). Influence of trehalose accumulation on response to freeze stress in baker's yeast. **Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE), 2010 4th International Conference on** (pp. 1-4). IEEE.

Zhang, Z., Sun, D.-W., Zhu, Z., Cheng, L. (2015). Enhancement of crystallization processes by power Ultrasound: Current state-of-the-art and researches advances. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 14(4), 303-316.

Zhu, Z., Zhou, Q., Sun, D.-W., (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. **Trends in Food Science&Technology**, 90, 13-25.

Zounis, S., Quail, K.J., Wootton, M., Dickson, M.R. (2002). Studying frozen dough structure using low-temperature scanning electron microscopy. **Journal Cereal Science**, 35(2), 135-147.

8. PRILOG

P1 Obrazac za senzorsko ocenjivanje lisnatog peciva Metodom bodovanja

FORMULAR ZA SENZORSKO OCENJIVANJE LISNATOG PECIVA

Parametar kvaliteta	Zahtevi senzorskog kvaliteta	O	FV	PB
SPOLJNI IZGLED (boja, oblik, površina, osobine kore)	Boja gornje i donje površine karakteristična, oblik svojstven proizvodu, pravilan, simetričan, kora povezana.	5,0	1,0	5,0
	Boja karakteristična, oblik delimično simetričan i pravilan, kora povezana.	4,5		4,5
	Boja neznatno promjenjena (gornja/donja površina svetlija/tamnija), oblik neznatno izmenjen, kora povezana.	4,0		4,0
	Boja izmenjena, oblik delimično izmenjen, kora malo nepovezana.	3,5		3,5
	Boja odstupa od svojstvene, oblik delimično izmenjen, kora malo izlomljena.	3,0		3,0
	Boja uočljivo odstupa od svojstvene, oblik izmenjen, kora malo izlomljena.	2,5		2,5
	Boja uočljivo odstupa od svojstvene, oblik nepravilan, kora izlomljena.	2,0		2,0
	Boja nesvojstvena proizvodu, oblik nepravilan, oštećeni rubovi i površina, izlomljen.	1,5		1,5
	Boja nesvojstvena za proizvod (nagoreo/nedopečen), oblik nepravilan, značajno izlomljen.	1,0		1,0
STRUKTURA (listanje, ravnomernost listanja, veličina pora, boja sredine)	Pravilno slojevita (lisnata), ravnomerno listanje, izrazito tanki slojevi, izrazito krupne pore boja sredine ujednačena.	5,0	1,2	6,0
	Pravilno slojevita (lisnata), prilično ravnomerno listanje, izrazito tanki slojevi, krupne pore, boja sredine ujednačena.	4,5		5,4
	Slojevita (malo neujednačen razmak između slojeva), ravnomerno listanje, tanki slojevi, sitne pore, boja sredine ujednačena.	4,0		4,8
	Slojevita (malo neujednačen razmak između slojeva), neravnomerno listanje, debeli slojevi, sitne pore, boja sredine ujednačena.	3,5		4,2
	Struktura manje slojevita, malo zbijena, debeli slojevi, sitne pore, boja delimično neujednačena.	3,0		3,6

	Struktura manje slojevita, zbijena, debeli slojevi, izrazito sitne pore, boja delimično neujednačena.	2,5		3,0
	Struktura nepravilna, zbijena, izrazito debeli slojevi, pore izrazito sitne, boja neujednačena.	2,0		2,4
	Struktura izrazito zbijena, izrazito debeli slojevi, izrazito sitne pore, boja neujednačena po celom preseku.	1,0		1,2
MIRIS	Svojtven, zaokružen, aromatičan.	5,0	0,8	4,0
	Svojtven, zaokružen, delimično aromatičan.	4,5		3,6
	Svojtven, slabije izražen, delimično aromatičan.	4,0		3,2
	Slabije izražen, ali svojtven miris, nezatno aromatičan.	3,5		2,8
	Slabije izražen ali svojtven miris, nezaokružen.	3,0		2,4
	Neizražen, ali bez prisustva stranog mirisa.	2,5		2,0
	Delimično nesvojtven proizvodu, nedostatak svežine.	2,0		1,6
	Nesvojtven proizvodu, nedostatak svežine.	1,5		1,2
	Nesvojtven proizvodu, star, plesniv.	1,0		0,8
UKUS (topivost)	Svojtven, zaokružen, aromatičan, odlična topivost.	5,0	1,0	5,0
	Svojtven, zaokružen, delimično aromatičan, odlična topivost.	4,5		4,5
	Svojtven, nešto slabije izražen, prijatan, dobra topivost.	4,0		4,0
	Slabo izražen, malo testast i lepi se za nepce, slaba topivost.	3,5		3,5
	Nezaokružen, slabije izražen, malo testast, lepi se za nepce, slaba topivost.	3,0		3,0
	Nesvojtven, testast, lepi se za nepce, loša topivost.	2,5		2,5
	Nesvojtven, jako testast, lepi se za nepce, loša topivost.	2,0		2,0
	Nesvojtven, strani, kiseo, neugodan, lojast, izuzetno loša topivost.	1,0		1,0

Legenda:

O - ocena

FV - faktor važnosti

PB - ponderisani bodovi

P2 Kategorije senzorskog kvaliteta Metodom bodovanja

Kategorija kvaliteta	Zbir ponderisanih bodova
Odličan	17,9-20,0
Vrlo dobar	15,7-17,8
Dobar	13,5-15,6
Prihvatljiv	11,3-13,4
Neprihvatljiv	≤ 11,2

P3 Obrazac za senzorsko ocenjivanje lisnatog peciva Metodom bodovanja

QDA metoda
Senzorska ocena kvaliteta sredine peciva

Parametri kvaliteta sredine peciva							
<i>Listanje - slojevitost</i>							
neslojevita	0	malo	1	umereno	2	izrazito	3
<i>Ravnomernost listanja</i>							
neravnomerno	0	delimično	1	prilično	2	ravnomerno	3
<i>Veličina pora</i>							
izrazito sitne	0	sitne	1	male	2	krupne	3
<i>Debljina listova</i>							
debeli	0	srednje debeli	1	tanki	2	izrazito tanki	3
<i>Ujednačenost boje sredine</i>							
neujednačena	0	delimično	1	prilično	2	ujednačena	3

P4 – Rezultati I faze istraživanja - Definisanje optimalne količine margarina za laminiranje i aditiva za izradu zamrznutog lisnatog testa

Uzorak	Količina margarina (%)	Količina aditiva (%)	Žilavost testa (g)	Rastegljivost testa (mm)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje
I-1	40	0,5	191,02 ± 20,05 ^{ab}	17,73 ± 2,79 ^a	66,92 ± 12,77 ^{abc}	3,31 ± 0,32 ^{ab}	0,25 ± 0,08 ^a
I-2	40	1,0	245,71 ± 9,73 ^{abc}	17,81 ± 1,40 ^a	64,25 ± 4,40 ^{abc}	3,43 ± 0,23 ^b	0,30 ± 0,03 ^{ab}
I-3	40	1,5	221,56 ± 20,43 ^{ab}	21,97 ± 2,51 ^{ab}	54,71 ± 4,90 ^a	2,75 ± 0,18 ^a	0,33 ± 0,02 ^{abc}
I-4	50	0,5	254,24 ± 60,65 ^{abc}	20,33 ± 1,69 ^a	74,34 ± 6,15 ^c	5,12 ± 0,36 ^d	0,36 ± 0,03 ^{bc}
I-5	50	1,0	187,30 ± 43,13 ^a	17,83 ± 6,86 ^a	59,41 ± 7,40 ^{ab}	3,30 ± 0,34 ^{ab}	0,35 ± 0,03 ^{bc}
I-6	50	1,5	183,68 ± 29,96 ^a	22,11 ± 6,74 ^{ab}	73,21 ± 1,81 ^{bc}	4,52 ± 0,18 ^{cd}	0,41 ± 0,03 ^{cde}
I-7	60	0,5	207,54 ± 42,98 ^{ab}	17,51 ± 3,13 ^a	68,89 ± 3,51 ^{bc}	4,26 ± 0,09 ^c	0,41 ± 0,04 ^{cde}
I-8	60	1,0	269,74 ± 16,38 ^b	21,61 ± 3,61 ^a	56,15 ± 4,13 ^a	3,40 ± 0,30 ^b	0,37 ± 0,02 ^{bc}
I-9	60	1,5	321,14 ± 41,18 ^c	27,94 ± 2,82 ^b	60,20 ± 3,18 ^{abc}	4,66 ± 0,26 ^{cd}	0,47 ± 0,02 ^e

Uzorak	Eliptičnost	Sp. masa (g/cm ³)	Sp. zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
I-1	1,14 ± 0,04 ^{ab}	0,39 ± 0,06 ^{ab}	2,61 ± 0,44 ^{bc}	19,44 ± 2,48 ^{ab}	15,1 - dobar	8
I-2	1,15 ± 0,08 ^{ab}	0,39 ± 0,03 ^{ab}	2,63 ± 0,20 ^{bc}	24,12 ± 3,02 ^{cd}	16,7 - vrlo dobar	10
I-3	1,12 ± 0,05 ^{ab}	0,60 ± 0,05 ^c	1,66 ± 0,14 ^a	17,41 ± 2,16 ^a	11,4 - prihvatljiv	3
I-4	1,23 ± 0,06 ^b	0,33 ± 0,03 ^a	3,11 ± 0,20 ^c	22,11 ± 2,30 ^{bc}	17,3 - vrlo dobar	9
I-5	1,29 ± 0,06 ^b	0,45 ± 0,05 ^b	2,26 ± 0,28 ^b	19,29 ± 1,43 ^{ab}	14,8 - dobar	6
I-6	1,27 ± 0,13 ^b	0,37 ± 0,02 ^{ab}	2,63 ± 0,15 ^{bc}	26,84 ± 2,79 ^{de}	17,3 - vrlo dobar	12
I-7	1,22 ± 0,07 ^{ab}	0,40 ± 0,01 ^{ab}	2,51 ± 0,08 ^b	19,71 ± 2,87 ^{ab}	17,5 - vrlo dobar	12
I-8	1,06 ± 0,05 ^a	0,41 ± 0,03 ^{ab}	2,47 ± 0,23 ^b	29,26 ± 3,02 ^e	13,6 - dobar	7
I-9	1,27 ± 0,05 ^b	0,43 ± 0,04 ^b	2,40 ± 0,24 ^b	35,83 ± 3,04 ^f	18,0 - odličan	13

P5 – Rezultati II faze istraživanja nakon 1 dan skladištenja zamrznutih uzoraka

Uzorak	Temperatura zamrzavanja t_z (°C)	Temperatura u središtu testanog komada t_t (°C)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost	Sp. masa (g/cm ³)
II-1	-25	-10	53,47 ± 4,82 ^a	3,23 ± 0,24 ^a	0,32 ± 0,01 ^d	1,36 ± 0,13 ^a	0,53 ± 0,24 ^a
II-2	-25	-15	74,57 ± 5,95 ^b	3,52 ± 0,23 ^{abc}	0,13 ± 0,03 ^{ab}	1,21 ± 0,06 ^a	0,40 ± 0,21 ^a
II-3	-25	-20	88,12 ± 7,60 ^{bc}	4,53 ± 0,54 ^d	0,19 ± 0,05 ^{bc}	1,23 ± 0,10 ^a	0,30 ± 0,13 ^a
II-4	-30	-10	87,99 ± 6,18 ^{bc}	4,21 ± 0,37 ^{bcd}	0,13 ± 0,02 ^{ab}	1,22 ± 0,03 ^a	0,34 ± 0,12 ^a
II-5	-30	-15	98,86 ± 11,43 ^c	4,98 ± 0,54 ^d	0,18 ± 0,02 ^{abc}	1,17 ± 0,02 ^a	0,28 ± 0,13 ^a
II-6	-30	-20	90,97 ± 3,69 ^{bc}	4,82 ± 0,28 ^d	0,23 ± 0,02 ^c	1,28 ± 0,05 ^a	0,30 ± 0,13 ^a
II-7	-35	-10	89,63 ± 9,39 ^{bc}	4,47 ± 0,40 ^c	0,18 ± 0,06 ^{abc}	1,30 ± 0,08 ^a	0,34 ± 0,14 ^a
II-8	-35	-15	88,84 ± 7,12 ^{bc}	4,37 ± 0,21 ^{cd}	0,17 ± 0,04 ^{abc}	1,28 ± 0,17 ^a	0,33 ± 0,14 ^a
II-9	-35	-20	73,59 ± 8,17 ^b	3,38 ± 0,37 ^{ab}	0,10 ± 0,02 ^a	1,17 ± 0,05 ^a	0,45 ± 0,20 ^a

Uzorak	Sp. zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
II-1	2,37 ± 0,27 ^a	26,72 ± 2,35 ^a	14,1 - dobar	6
II-2	3,33 ± 0,25 ^{bc}	27,66 ± 2,21 ^a	14,9 - dobar	9
II-3	4,27 ± 0,38 ^d	29,70 ± 2,42 ^{abc}	15,3 - dobar	11
II-4	3,86 ± 0,33 ^{cd}	34,25 ± 1,84 ^{bc}	15,6 - dobar	10,5
II-5	4,54 ± 0,65 ^d	34,85 ± 1,01 ^c	16,0 - vrlo dobar	13
II-6	4,35 ± 0,26 ^d	35,02 ± 4,51 ^c	15,7 - vrlo dobar	11,5
II-7	3,79 ± 0,42 ^{bc}	32,94 ± 1,51 ^{abc}	17,1 - vrlo dobar	13
II-8	3,92 ± 0,25 ^{bc}	31,24 ± 0,83 ^{abc}	16,0 - vrlo dobar	12
II-9	2,86 ± 0,36 ^{ab}	28,11 ± 5,08 ^{ab}	12,3 - prihvatljiv	4

P6 – Rezultati II faze istraživanja nakon 7 dana skladištenja zamrznutih uzoraka

Uzorak	Temperatura zamrzavanja t_z (°C)	Temperatura u središtu testanog komada t_t (°C)	Zapremina (cm^3)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost	Sp. masa (g/cm^3)
II-1	-25	-10	$73,42 \pm 8,31^a$	$3,50 \pm 0,35^{ab}$	$0,13 \pm 0,02^b$	$1,12 \pm 0,04^a$	$0,31 \pm 0,04^{ab}$
II-2	-25	-15	$78,57 \pm 6,88^a$	$3,70 \pm 0,30^{abc}$	$0,12 \pm 0,02^b$	$1,18 \pm 0,03^{ab}$	$0,28 \pm 0,03^{ab}$
II-3	-25	-20	$88,68 \pm 10,03^a$	$4,60 \pm 0,52^c$	$0,20 \pm 0,03^{cd}$	$1,22 \pm 0,06^{ab}$	$0,23 \pm 0,03^a$
II-4	-30	-10	$81,31 \pm 12,40^a$	$3,92 \pm 0,66^{abc}$	$0,14 \pm 0,02^{bc}$	$1,21 \pm 0,05^{ab}$	$0,30 \pm 0,06^{ab}$
II-5	-30	-15	$79,21 \pm 12,09^a$	$3,83 \pm 0,67^{abc}$	$0,14 \pm 0,03^{bc}$	$1,18 \pm 0,05^{ab}$	$0,31 \pm 0,05^{ab}$
II-6	-30	-20	$80,27 \pm 8,00^a$	$4,40 \pm 0,38^{bc}$	$0,25 \pm 0,02^d$	$1,23 \pm 0,07^{abc}$	$0,27 \pm 0,03^{ab}$
II-7	-35	-10	$71,93 \pm 5,37^a$	$3,59 \pm 0,29^{abc}$	$0,18 \pm 0,01^{bc}$	$1,29 \pm 0,05^{bc}$	$0,33 \pm 0,03^b$
II-8	-35	-15	$85,07 \pm 10,04^a$	$4,21 \pm 0,35^{abc}$	$0,18 \pm 0,04^{bc}$	$1,38 \pm 0,09^c$	$0,26 \pm 0,04^{ab}$
II-9	-35	-20	$76,73 \pm 5,99^a$	$3,26 \pm 0,24^a$	$0,03 \pm 0,04^a$	$1,24 \pm 0,08^{abc}$	$0,34 \pm 0,03^b$

Uzorak	Sp. zapremina (cm^3/g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
II-1	$3,27 \pm 0,42^a$	$24,44 \pm 2,44^a$	12,3 - prihvatljiv	6
II-2	$3,56 \pm 0,36^{ab}$	$25,20 \pm 2,41^a$	15,5 - dobar	9
II-3	$4,38 \pm 0,57^b$	$30,29 \pm 1,04^a$	16,2 - vrlo dobar	11
II-4	$3,48 \pm 0,61^{ab}$	$30,47 \pm 6,93^a$	15,6 - dobar	10,5
II-5	$3,39 \pm 0,61^{ab}$	$31,06 \pm 5,44^a$	14,7 - dobar	13
II-6	$3,72 \pm 0,35^{ab}$	$29,41 \pm 5,79^a$	15,8 - vrlo dobar	11,5
II-7	$3,04 \pm 0,25^a$	$25,83 \pm 1,07^a$	14,0 - dobar	13
II-8	$3,95 \pm 0,60^{ab}$	$26,55 \pm 2,26^a$	15,1 - dobar	12
II-9	$2,93 \pm 0,25^a$	$23,99 \pm 4,87^a$	11,7 - prihvatljiv	4

P7 – Rezultati II faze istraživanja nakon 30 dana skladištenja zamrznutih uzoraka

Uzorak	Temperatura zamrzavanja t_z (°C)	Temperatura u središtu testanog komada t_t (°C)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost	Sp. masa (g/cm ³)
II-1	-25	-10	85,14 ± 6,34 ^a	3,98 ± 0,27 ^a	0,11 ± 0,01 ^{ab}	1,17 ± 0,06 ^a	0,26 ± 0,02 ^a
II-2	-25	-15	97,33 ± 7,27 ^a	4,44 ± 0,32 ^a	0,09 ± 0,02 ^a	1,17 ± 0,04 ^a	0,23 ± 0,01 ^a
II-3	-25	-20	86,92 ± 6,61 ^a	4,47 ± 0,32 ^a	0,20 ± 0,01 ^b	1,34 ± 0,08 ^{bc}	0,22 ± 0,01 ^a
II-4	-30	-10	88,97 ± 8,64 ^a	4,38 ± 0,39 ^a	0,16 ± 0,02 ^{ab}	1,21 ± 0,03 ^{ab}	0,25 ± 0,02 ^a
II-5	-30	-15	97,19 ± 3,37 ^a	4,60 ± 0,26 ^a	0,16 ± 0,02 ^{ab}	1,13 ± 0,07 ^a	0,23 ± 0,01 ^a
II-6	-30	-20	83,71 ± 8,37 ^a	4,39 ± 0,52 ^a	0,22 ± 0,03 ^b	1,35 ± 0,04 ^{bc}	0,24 ± 0,03 ^a
II-7	-35	-10	83,62 ± 9,52 ^a	4,27 ± 0,46 ^a	0,21 ± 0,02 ^b	1,38 ± 0,07 ^c	0,25 ± 0,04 ^a
II-8	-35	-15	79,07 ± 4,04 ^a	3,99 ± 0,16 ^a	0,19 ± 0,03 ^{ab}	1,34 ± 0,09 ^{bc}	0,27 ± 0,02 ^a
II-9	-35	-20	88,71 ± 17,38 ^a	4,08 ± 0,41 ^a	0,17 ± 0,01 ^{ab}	1,20 ± 0,10 ^{ab}	0,26 ± 0,04 ^a

Uzorak	Sp. zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
II-1	3,92 ± 0,35 ^a	33,32 ± 3,40 ^a	14,9 - dobar	10,5
II-2	4,28 ± 0,24 ^a	37,00 ± 2,43 ^a	16,2 - vrlo dobar	10
II-3	4,61 ± 0,31 ^a	39,70 ± 4,11 ^a	15,7 - vrlo dobar	14,5
II-4	4,04 ± 0,48 ^a	36,38 ± 2,97 ^a	16,0 - vrlo dobar	14
II-5	4,33 ± 0,21 ^a	38,23 ± 2,53 ^a	16,6 - vrlo dobar	14,5
II-6	4,20 ± 0,49 ^a	37,62 ± 2,95 ^a	15,3 - dobar	10,5
II-7	4,00 ± 0,54 ^a	34,72 ± 4,15 ^a	15,8 - vrlo dobar	11,5
II-8	3,69 ± 0,30 ^a	35,49 ± 6,25 ^a	14,6 - dobar	8,5
II-9	3,91 ± 0,51 ^a	42,30 ± 4,83 ^a	14,9 - dobar	10

P8 – Rezultati II faze istraživanja - Tri optimalna režima OR1, OR2 i OR3 nakon 0, 1, 7, 14, 21, 28 i 30 dana skladištenja

Skladištenje (dan)	Režim	t _z (°C)	t _t (°C)	Narastanje	Eliptičnost	Skupljanje	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	Čvrstoća (kgs)	Zapremina volumetar (cm ³)
0	OR1	-30	-15	3,98	1,09	0,09	16,2 - vr.dobar	13,0	20,95	64,32
	OR2	-35	-10	4,55	0,96	0,15	16,4 - vr.dobar	12,5	21,3	67,63
	OR3	-35	-20	4,51	1,03	0,15	16,8 - vr.dobar	14,5	19,11	76,18
1	OR1	-30	-15	4,62	1,09	0,09	16,2 - vr.dobar	12,5	20,14	69,11
	OR2	-35	-10	4,91	1,11	0,10	16,6 - vr.dobar	13,0	19,77	63,01
	OR3	-35	-20	4,49	1,06	0,13	16,6 - vr.dobar	13,0	16,53	73,90
7	OR1	-30	-15	3,98	1,05	0,1	15,5 - dobar	10,0	19,96	67,39
	OR2	-35	-10	4,05	1,07	0,12	16,2 - vr.dobar	11,0	14,73	68,07
	OR3	-35	-20	4,41	1,09	0,14	15,1 - dobar	8,5	17,11	74,58
14	OR1	-30	-15	4,84	1,06	0,1	15,3 - dobar	10,0	20,07	70,37
	OR2	-35	-10	4,44	1,09	0,14	16,2 - vr.dobar	12,0	17,41	66,56
	OR3	-35	-20	4,35	1,08	0,12	15,6 - dobar	11,5	10,18	65,26
21	OR1	-30	-15	3,97	1,05	0,08	14,6 - dobar	10,5	18,33	67,77
	OR2	-35	-10	4,24	1,1	0,12	15,5 - dobar	12,5	19,61	67,50
	OR3	-35	-20	4,56	1,1	0,12	15,4 - dobar	12,0	19,3	70,94
28	OR1	-30	-15	4,31	1,06	0,09	15,8 - vr. dobar	12,0	17,78	66,47
	OR2	-35	-10	4,41	1,08	0,13	16,0 - vr. dobar	13,5	18,89	69,19
	OR3	-35	-20	4,07	1,08	0,13	15,3 - dobar	10,5	16,47	65,89
30	OR1	-30	-15	4,30	1,09	0,06	15,3 - dobar	11,0	15,56	66,08
	OR2	-35	-10	4,78	1,08	0,13	16,2 - vr. dobar	12,5	19,06	68,12
	OR3	-35	-20	4,42	1,1	0,09	15,1 - dobar	11,0	18,75	67,51

t_z - temperatura zamrzavanja; t_t - temperatura u središtu testanog komada.

P9 – Rezultati III faze istraživanja nezamrznutih uzoraka (0 dana skladištenja)

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Žilavost testa (g)	Rastegljivost testa (mm)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost
III-1	5	3	0,25	250,80 ± 3,75 ^{abcd}	106,94 ± 1,17 ^{cde}	70,96 ± 7,99 ^{de}	3,23 ± 0,46 ^{bcd}	0,19 ± 0,03 ^a	1,06 ± 0,02 ^a
III-2	10	6	0,25	324,25 ± 101,21 ^{cdef}	112,27 ± 3,11 ^{gh}	39,10 ± 1,74 ^a	2,69 ± 0,11 ^{ab}	0,34 ± 0,03 ^{de}	1,19 ± 0,05 ^{cd}
III-3	5	6	0	317,02 ± 41,97 ^{cdef}	111,80 ± 2,43 ^{fgh}	55,99 ± 2,16 ^c	3,21 ± 0,11 ^{bcd}	0,27 ± 0,02 ^{bc}	1,14 ± 0,03 ^{abcd}
III-4	5	3	0,25	250,08 ± 20,56 ^{abcd}	106,27 ± 1,28 ^{bcd}	44,77 ± 2,36 ^{ab}	2,82 ± 0,13 ^b	0,35 ± 0,03 ^{de}	1,21 ± 0,10 ^{cd}
III-5	0	3	0	301,53 ± 34,58 ^{bcde}	114,68 ± 2,45 ^h	77,00 ± 4,43 ^{ef}	4,91 ± 0,23 ^f	0,33 ± 0,03 ^{cde}	1,16 ± 0,01 ^{abcd}
III-6	5	0	0,5	245,05 ± 10,26 ^{abcd}	107,28 ± 1,95 ^{cdef}	54,53 ± 2,72 ^{bc}	3,54 ± 0,19 ^d	0,32 ± 0,02 ^{cde}	1,16 ± 0,05 ^{abcd}
III-7	0	3	0,5	336,74 ± 11,27 ^{def}	113,32 ± 1,09 ^{gh}	83,49 ± 4,54 ^f	5,66 ± 0,30 ^g	0,38 ± 0,03 ^e	1,10 ± 0,05 ^{abc}
III-8	5	6	0,5	274,37 ± 20,81 ^{abcde}	109,41 ± 0,89 ^{defg}	56,26 ± 2,29 ^c	3,43 ± 0,13 ^{cd}	0,31 ± 0,01 ^{cde}	1,16 ± 0,02 ^{abcd}
III-9	0	0	0,25	397,89 ± 48,45 ^f	115,73 ± 2,65 ^h	99,43 ± 11,16 ^g	6,02 ± 0,45 ^g	0,33 ± 0,03 ^{cde}	1,20 ± 0,04 ^{cd}
III-10	10	3	0,5	239,37 ± 14,14 ^{abc}	104,31 ± 1,40 ^{abc}	44,71 ± 1,11 ^{ab}	2,89 ± 0,05 ^{bc}	0,30 ± 0,03 ^{cd}	1,19 ± 0,03 ^{cd}
III-11	0	6	0,25	356,04 ± 30,85 ^{ef}	113,57 ± 2,06 ^{gh}	84,11 ± 5,30 ^f	4,82 ± 0,26 ^{ef}	0,37 ± 0,02 ^e	1,25 ± 0,05 ^d
III-12	10	3	0	221,75 ± 17,65 ^{ab}	100,41 ± 1,08 ^a	42,81 ± 1,14 ^a	2,83 ± 0,06 ^b	0,30 ± 0,01 ^{cd}	1,07 ± 0,03 ^{ab}
III-13	5	0	0	286,29 ± 30,73 ^{abcde}	105,29 ± 0,96 ^{bcd}	64,07 ± 1,05 ^{cd}	4,32 ± 0,25 ^e	0,32 ± 0,03 ^{cde}	1,14 ± 0,05 ^{abcd}
III-14	10	0	0,25	205,29 ± 30,04 ^a	102,13 ± 0,94 ^{ab}	39,24 ± 3,11 ^a	2,17 ± 0,05 ^a	0,23 ± 0,05 ^{ab}	1,06 ± 0,04 ^{ab}
III-15	5	3	0,25	355,96 ± 41,68 ^{ef}	111,27 ± 2,33 ^{efgh}	59,87 ± 2,01 ^{cd}	3,68 ± 0,13 ^d	0,32 ± 0,00 ^{cde}	1,18 ± 0,03 ^{bcd}

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P9/I – Rezultati III faze istraživanja nezamrznutih uzoraka (0 dana skladištenja)

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Sp. masa (g/cm ³)	Sp. zapremina (cm ³ /g)	Čvrstoća (kgs)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
III-1	5	3	0,25	0,41 ± 0,18 ^{defg}	3,17 ± 0,45 ^d	20,06 ± 4,58 ^f	14,6 - dobar	9,5
III-2	10	6	0,25	0,48 ± 0,02 ^{fg}	2,11 ± 0,08 ^a	16,03 ± 2,13 ^{cdef}	14,2 - dobar	6,0
III-3	5	6	0	0,36 ± 0,01 ^{cdef}	2,78 ± 0,12 ^{bcd}	29,37 ± 2,45 ^g	15,3 - dobar	8,5
III-4	5	3	0,25	0,40 ± 0,02 ^{def}	2,50 ± 0,16 ^{abc}	9,99 ± 1,42 ^{abcd}	14,0 - dobar	9,5
III-5	0	3	0	0,26 ± 0,02 ^{abc}	3,91 ± 0,25 ^{ef}	15,38 ± 1,36 ^{cdef}	18,2 - odličan	14,0
III-6	5	0	0,5	0,36 ± 0,02 ^{cdef}	2,82 ± 0,17 ^{bcd}	11,19 ± 1,43 ^{bcde}	14,2 - dobar	10,0
III-7	0	3	0,5	0,23 ± 0,02 ^{ab}	4,40 ± 0,37 ^f	16,06 ± 2,39 ^{cdef}	16,8 - vrlo dobar	13,5
III-8	5	6	0,5	0,32 ± 0,01 ^{bcde}	3,15 ± 0,12 ^{cd}	19,16 ± 1,84 ^{ef}	14,3 - dobar	9,5
III-9	0	0	0,25	0,20 ± 0,02 ^a	5,15 ± 0,64 ^g	18,40 ± 8,59 ^{def}	17,9 - odličan	15,0
III-10	10	3	0,5	0,42 ± 0,01 ^{defg}	2,40 ± 0,07 ^{ab}	7,61 ± 1,45 ^{abd}	12,1 - prihvatljiv	8,0
III-11	0	6	0,25	0,25 ± 0,02 ^{abc}	4,01 ± 0,32 ^{ef}	14,62 ± 6,87 ^{cdef}	18,2 - odličan	15,0
III-12	10	3	0	0,43 ± 0,01 ^{efg}	2,30 ± 0,06 ^{ab}	4,62 ± 0,60 ^{ab}	12,5 - prihvatljiv	8,5
III-13	5	0	0	0,30 ± 0,01 ^{abcd}	3,35 ± 0,07 ^{de}	12,24 ± 2,82 ^{bcdef}	15,7 - vrlo dobar	11,5
III-14	10	0	0,25	0,52 ± 0,03 ^g	1,88 ± 0,16 ^a	1,51 ± 0,47 ^a	12,0 - prihvatljiv	7,5
III-15	5	3	0,25	0,31 ± 0,02 ^{abcde}	3,20 ± 0,14 ^d	12,17 ± 1,48 ^{bcdef}	14,4 - dobar	9,5

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P10 – Rezultati III faze istraživanja - Fizički parametri kvaliteta uzoraka nakon 30 dana skladištenja

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost	Sp. masa (g/cm ³)	Sp. zapremina (cm ³ /g)
III-1	5	3	0,25	74,07 ± 6,12 ^{ef}	3,10 ± 0,27 ^{cde}	0,12 ± 0,02 ^a	1,05 ± 0,01 ^a	0,41 ± 0,18 ^{cde}	3,18 ± 0,31 ^{def}
III-2	10	6	0,25	44,17 ± 3,87 ^{ab}	2,60 ± 0,18 ^{bc}	0,22 ± 0,02 ^{bc}	1,08 ± 0,05 ^{abc}	0,42 ± 0,04 ^{de}	2,41 ± 0,23 ^b
III-3	5	6	0	55,56 ± 7,84 ^{bcd}	2,82 ± 0,36 ^{bcdde}	0,17 ± 0,03 ^{ab}	1,06 ± 0,03 ^{ab}	0,38 ± 0,05 ^{bcdde}	2,70 ± 0,39 ^{bcd}
III-4	5	3	0,25	48,30 ± 4,00 ^{bc}	2,77 ± 0,19 ^{bcd}	0,28 ± 0,0 ^{cd}	1,15 ± 0,03 ^{bc}	0,41 ± 0,03 ^{de}	2,44 ± 0,24 ^{bc}
III-5	0	3	0	76,80 ± 3,87 ^f	4,57 ± 0,32 ^h	0,28 ± 0,02 ^{cd}	1,16 ± 0,04 ^c	0,26 ± 0,01 ^{ab}	3,87 ± 0,14 ^{fg}
III-6	5	0	0,5	56,43 ± 3,27 ^{bcd}	3,31 ± 0,12 ^{def}	0,25 ± 0,02 ^c	1,11 ± 0,05 ^{abc}	0,35 ± 0,02 ^{abcde}	2,86 ± 0,15 ^{bcd}
III-7	0	3	0,5	86,79 ± 7,54 ^{fg}	5,58 ± 0,42 ⁱ	0,34 ± 0,01 ^d	1,07 ± 0,03 ^{ab}	0,23 ± 0,02 ^a	4,45 ± 0,40 ^g
III-8	5	6	0,5	49,94 ± 2,80 ^{bcd}	2,89 ± 0,14 ^{bcdde}	0,28 ± 0,02 ^{cd}	1,13 ± 0,02 ^{abc}	0,42 ± 0,05 ^{de}	2,47 ± 0,29 ^{bc}
III-9	0	0	0,25	93,02 ± 3,64 ^g	5,34 ± 0,14 ⁱ	0,29 ± 0,03 ^{cd}	1,13 ± 0,05 ^{abc}	0,23 ± 0,01 ^a	4,48 ± 0,27 ^g
III-10	10	3	0,5	43,63 ± 2,29 ^{ab}	2,73 ± 0,17 ^{bcd}	0,27 ± 0,03 ^{cd}	1,13 ± 0,02 ^{abc}	0,42 ± 0,03 ^{de}	2,35 ± 0,17 ^{ab}
III-11	0	6	0,25	91,44 ± 3,63 ^g	4,37 ± 0,27 ^{gh}	0,24 ± 0,06 ^{bc}	1,11 ± 0,05 ^{abc}	0,26 ± 0,02 ^{abc}	3,83 ± 0,26 ^{efg}
III-12	10	3	0	44,35 ± 10,41 ^{ab}	2,35 ± 0,19 ^{ab}	0,25 ± 0,02 ^c	1,06 ± 0,04 ^{ab}	0,48 ± 0,04 ^{ef}	2,38 ± 0,48 ^b
III-13	5	0	0	61,97 ± 3,41 ^{de}	3,79 ± 0,26 ^{fg}	0,25 ± 0,03 ^c	1,08 ± 0,02 ^{abc}	0,32 ± 0,02 ^{abcd}	3,13 ± 0,21 ^{cde}
III-14	10	0	0,25	33,47 ± 4,39 ^a	1,89 ± 0,26 ^a	0,24 ± 0,02 ^{bc}	1,07 ± 0,03 ^{abc}	0,62 ± 0,09 ^f	1,65 ± 0,25 ^a
III-15	5	3	0,25	57,73 ± 2,47 ^{cd}	3,41 ± 0,22 ^{ef}	0,29 ± 0,02 ^{cd}	1,09 ± 0,05 ^{bcd}	0,35 ± 0,02 ^{abcde}	2,92 ± 0,20 ^{bcd}
Kontrolni uzorak II-7				83,62 ± 9,52 ^a	4,27 ± 0,46 ^a	0,21 ± 0,02 ^b	1,38 ± 0,07 ^c	0,25 ± 0,04 ^a	4,00 ± 0,54 ^a

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

Kontrolni uzorak II-7 - Parametri kvaliteta kontrolnog uzorka bez funkcionalnih dodataka, od testa zamrzavanog na optimalnom režimu (t_z -35°C do t_t -10°C), skladištenog 30 dana. Podaci su preuzeti iz P7 i upoređuju se sa parametrima kvaliteta peciva sa funkcionalnim dodacima od testa koje je zamrzavano na istom režimu i skladišteno isto vreme.

P11 – Rezultati III faze istraživanja - Senzorski parametri kvaliteta uzoraka nakon 30 dana skladištenja

Uzorak	Vlakna šećerne repe (%)	Čija seme (%)	Ksantan guma (%)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
III-1	5	3	0,25	14,4 - dobar	10,5
III-2	10	6	0,25	11,7 - prihvatljiv	7,5
III-3	5	6	0	13,3 - prihvatljiv	9,5
III-4	5	3	0,25	13,7 - dobar	9,0
III-5	0	3	0	17,6 - vrlo dobar	14,0
III-6	5	0	0,5	15,3 - dobar	11,5
III-7	0	3	0,5	17,0 - vrlo dobar	12,5
III-8	5	6	0,5	14,7 - dobar	10,0
III-9	0	0	0,25	16,2 - vrlo dobar	12,5
III-10	10	3	0,5	15,1 - dobar	11,0
III-11	0	6	0,25	17,1 - vrlo dobar	13,0
III-12	10	3	0	14,4 - dobar	8,0
III-13	5	0	0	15,6 - dobar	10,5
III-14	10	0	0,25	9,5 - neprihvatljiv	5,5
III-15	5	3	0,25	16,0 - vrlo dobar	11,5
Kontrolni uzorak II-7				15,8 - vrlo dobar	11,5

Kontrolni uzorak II-7 - Parametri kvaliteta kontrolnog uzorka bez funkcionalnih dodataka, od testa zamrzavanog na optimalnom režimu (t_z -35°C do t_t -10°C), skladištenog 30 dana. Podaci su preuzeti iz P7 i upoređuju se sa parametrima kvaliteta peciva sa funkcionalnim dodacima od testa koje je zamrzavano na istom režimu i skladišteno isto vreme.

P12 – Rezultati III faze istraživanja – Vrednosti skupljanja i eliptičnosti nezamrznutih i zamrznutih uzoraka nakon 30 dana skladištenja

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Nezamrznuti uzorci		Zamrznuti uzorci	
				Skupljanje	Eliptičnost	Skupljanje	Eliptičnost
III-1	5	3	0,25	0,19 ± 0,03 ^a	1,06 ± 0,02 ^a	0,12 ± 0,02 ^a	1,05 ± 0,01 ^a
III-2	10	6	0,25	0,34 ± 0,03 ^{de}	1,19 ± 0,05 ^{cd}	0,22 ± 0,02 ^{bc}	1,08 ± 0,05 ^{abc}
III-3	5	6	0	0,27 ± 0,02 ^{bc}	1,14 ± 0,03 ^{abcd}	0,17 ± 0,03 ^{ab}	1,06 ± 0,03 ^{ab}
III-4	5	3	0,25	0,35 ± 0,03 ^{de}	1,21 ± 0,10 ^{cd}	0,28 ± 0,0 ^{cd}	1,15 ± 0,03 ^{bc}
III-5	0	3	0	0,33 ± 0,03 ^{cde}	1,16 ± 0,01 ^{abcd}	0,28 ± 0,02 ^{cd}	1,16 ± 0,04 ^c
III-6	5	0	0,5	0,32 ± 0,02 ^{cde}	1,16 ± 0,05 ^{abcd}	0,25 ± 0,02 ^c	1,11 ± 0,05 ^{abc}
III-7	0	3	0,5	0,38 ± 0,03 ^e	1,10 ± 0,05 ^{abc}	0,34 ± 0,01 ^d	1,07 ± 0,03 ^{ab}
III-8	5	6	0,5	0,31 ± 0,01 ^{cde}	1,16 ± 0,02 ^{abcd}	0,28 ± 0,02 ^{cd}	1,13 ± 0,02 ^{abc}
III-9	0	0	0,25	0,33 ± 0,03 ^{cde}	1,20 ± 0,04 ^{cd}	0,29 ± 0,03 ^{cd}	1,13 ± 0,05 ^{abc}
III-10	10	3	0,5	0,30 ± 0,03 ^{cd}	1,19 ± 0,03 ^{cd}	0,27 ± 0,03 ^{cd}	1,13 ± 0,02 ^{abc}
III-11	0	6	0,25	0,37 ± 0,02 ^e	1,25 ± 0,05 ^d	0,24 ± 0,06 ^{bc}	1,11 ± 0,05 ^{abc}
III-12	10	3	0	0,30 ± 0,01 ^{cd}	1,07 ± 0,03 ^{ab}	0,25 ± 0,02 ^c	1,06 ± 0,04 ^{ab}
III-13	5	0	0	0,32 ± 0,03 ^{cde}	1,14 ± 0,05 ^{abcd}	0,25 ± 0,03 ^c	1,08 ± 0,02 ^{abc}
III-14	10	0	0,25	0,23 ± 0,05 ^{ab}	1,06 ± 0,04 ^{ab}	0,24 ± 0,02 ^{bc}	1,07 ± 0,03 ^{abc}
III-15	5	3	0,25	0,32 ± 0,00 ^{cde}	1,18 ± 0,03 ^{bcd}	0,29 ± 0,02 ^{cd}	1,09 ± 0,05 ^{bcd}

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P13 – Rezultati III faze istraživanja – Vrednosti narastanja i specifične zapremine nezamrznutih i zamrznutih uzoraka nakon 30 dana skladištenja

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Nezamrznuti uzorci		Zamrznuti uzorci	
				Narastanje	Sp. zapremina (cm ³ /g)	Narastanje	Sp. zapremina (cm ³ /g)
III-1	5	3	0,25	3,23 ± 0,46 ^{bcd}	3,17 ± 0,45 ^d	3,10 ± 0,27 ^{cde}	3,18 ± 0,31 ^{def}
III-2	10	6	0,25	2,69 ± 0,11 ^{ab}	2,11 ± 0,08 ^a	2,60 ± 0,18 ^{bc}	2,41 ± 0,23 ^b
III-3	5	6	0	3,21 ± 0,11 ^{bcd}	2,78 ± 0,12 ^{bcd}	2,82 ± 0,36 ^{bcde}	2,70 ± 0,39 ^{bcd}
III-4	5	3	0,25	2,82 ± 0,13 ^b	2,50 ± 0,16 ^{abc}	2,77 ± 0,19 ^{bcd}	2,44 ± 0,24 ^{bc}
III-5	0	3	0	4,91 ± 0,23 ^f	3,91 ± 0,25 ^{ef}	4,57 ± 0,32 ^h	3,87 ± 0,14 ^{fg}
III-6	5	0	0,5	3,54 ± 0,19 ^d	2,82 ± 0,17 ^{bcd}	3,31 ± 0,12 ^{def}	2,86 ± 0,15 ^{bcd}
III-7	0	3	0,5	5,66 ± 0,30 ^g	4,40 ± 0,37 ^f	5,58 ± 0,42 ⁱ	4,45 ± 0,40 ^g
III-8	5	6	0,5	3,43 ± 0,13 ^{cd}	3,15 ± 0,12 ^{cd}	2,89 ± 0,14 ^{bcde}	2,47 ± 0,29 ^{bc}
III-9	0	0	0,25	6,02 ± 0,45 ^g	5,15 ± 0,64 ^g	5,34 ± 0,14 ⁱ	4,48 ± 0,27 ^g
III-10	10	3	0,5	2,89 ± 0,05 ^{bc}	2,40 ± 0,07 ^{ab}	2,73 ± 0,17 ^{bcd}	2,35 ± 0,17 ^{ab}
III-11	0	6	0,25	4,82 ± 0,26 ^{ef}	4,01 ± 0,32 ^{ef}	4,37 ± 0,27 ^{gh}	3,83 ± 0,26 ^{efg}
III-12	10	3	0	2,83 ± 0,06 ^b	2,30 ± 0,06 ^{ab}	2,35 ± 0,19 ^{ab}	2,38 ± 0,48 ^b
III-13	5	0	0	4,32 ± 0,25 ^e	3,35 ± 0,07 ^{de}	3,79 ± 0,26 ^{fg}	3,13 ± 0,21 ^{cde}
III-14	10	0	0,25	2,17 ± 0,05 ^a	1,88 ± 0,16 ^a	1,89 ± 0,26 ^a	1,65 ± 0,25 ^a
III-15	5	3	0,25	3,68 ± 0,13 ^d	3,20 ± 0,14 ^d	3,41 ± 0,22 ^{ef}	2,92 ± 0,20 ^{bcd}

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P14 – Rezultati III faze istraživanja – Vrednosti senzorske ocene metodom bodovanja i QDA metodom nezamrznutih i zamrznutih uzoraka nakon 30 dana skladištenja

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Nezamrznuti uzorci		Zamrznuti uzorci	
				Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
III-1	5	3	0,25	14,6 - dobar	9,5	14,4 - dobar	10,5
III-2	10	6	0,25	14,2 - dobar	6,0	11,7 - prihvatljiv	7,5
III-3	5	6	0	15,3 - dobar	8,5	13,3 - prihvatljiv	9,5
III-4	5	3	0,25	14,0 - dobar	9,5	13,7 - dobar	9,0
III-5	0	3	0	18,2 - odličan	14,0	17,6 - vrlo dobar	14,0
III-6	5	0	0,5	14,2 - dobar	10,0	15,3 - dobar	11,5
III-7	0	3	0,5	16,8 - vrlo dobar	13,5	17,0 - vrlo dobar	12,5
III-8	5	6	0,5	14,3 - dobar	9,5	14,7 - dobar	10,0
III-9	0	0	0,25	17,9 - odličan	15,0	16,2 - vrlo dobar	12,5
III-10	10	3	0,5	12,1 - prihvatljiv	8,0	15,1 - dobar	11,0
III-11	0	6	0,25	18,2 - odličan	15,0	17,1 - vrlo dobar	13,0
III-12	10	3	0	12,5 - prihvatljiv	8,5	14,4 - dobar	8,0
III-13	5	0	0	15,7 - vrlo dobar	11,5	15,6 - dobar	10,5
III-14	10	0	0,25	12,0 - prihvatljiv	7,5	9,5 - neprihvatljiv	5,5
III-15	5	3	0,25	14,4 - dobar	9,5	16,0 - vrlo dobar	11,5

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P15 – Rezultati IV faze istraživanja nezamrznutih uzoraka (nulti dan)

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Zapremina (cm ³)	Narastanje	Skupljanje	Eliptičnost	Sp.masa (g/cm ³)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
KU	0	0	0	76,95	4,17	0,31	1,14	0,39	17,6 – vrlo dobar	13,5
OD	2,25	3,6	0,5	64,97	4,50	0,48	1,14	0,38	17,8 – vrlo dobar	14,5
OE1	0	6	0,25	49,40	3,20	0,39	1,13	0,47	15,7 – vrlo dobar	10,5
OE2	5	0	0	64,61	3,67	0,32	1,11	0,35	16,6 – vrlo dobar	11,5

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan guma.

P16 – Rezultati IV faze istraživanja zamrznutih uzoraka nakon 120 dana skladištenja

Uzorak	VŠR (%)	ČS (%)	K (%)	Metoda bodovanja (PB)	QDA metoda
KU	0	0	0	17,2 – vrlo dobar	12,0
OD	2,25	3,6	0,5	15,8 – vrlo dobar	10,5
OE1	0	6	0,25	13,6 – dobar	8,5
OE2	5	0	0	16,4 – vrlo dobar	11,0

VŠR – vlakna šećerne repe; ČS – čija seme; K- ksantan gum

P 17 – Rezultati metode bodovanja za uzorke iz I i II faze ispitivanja

Uzorak	Spoljni izgled	Struktura	Miris	Ukus	Uzorak	Spoljni izgled	Struktura	Miris	Ukus
I faza					II faza nakon 1 dan skladištenja				
I-1	4,17	3,8	3,47	3,67	II-1	3,5	4,2	3,2	3,17
I-2	4,5	4,8	3,6	3,83	II-2	3,67	4,4	3,2	3,67
I-3	4	2	3,2	2,17	II-3	3,33	4,8	3,2	4
I-4	4,5	5	3,6	4,17	II-4	4	4,6	3,2	3,83
I-5	3,67	4,2	3,6	3,3	II-5	4	5	3,2	3,83
I-6	4,67	5,4	3,6	3,67	II-6	3,83	4,8	3,2	3,83
I-7	4,17	5,4	3,6	4,33	II-7	4,17	5,4	3,2	4,33
I-8	3,33	3,8	3,6	2,83	II-8	3,83	5	3,2	4
I-9	4	5,8	3,6	4,67	II-9	3,33	3,4	3,2	2,33
II faza nakon 7 dana skladištenja					II faza nakon 30 dana skladištenja				
II-1	2,67	3,4	3,2	3	II-1	3,67	4,2	3,2	3,83
II-2	3,83	4,6	3,2	3,83	II-2	4,33	4,8	3,2	3,83
II-3	4	4,8	3,2	4,17	II-3	3,67	4,8	3,2	4
II-4	3,83	4,6	3,2	3,83	II-4	4	5	3,2	3,8
II-5	3,67	4,2	3,2	3,67	II-5	4	5,2	3,2	4,17
II-6	3,5	4,8	3,2	4	II-6	3,83	4,6	3,2	3,67
II-7	3,5	4	3,2	3,33	II-7	3,33	4,8	3,2	4,5
II-8	3,67	4,6	3,2	3,67	II-8	3,33	4,4	3,2	3,67
II-9	3,5	2	3,2	3	II-9	3,67	4	3,2	4
II faza, optimizacija režima 0. dan					II faza, optimizacija režima 1. dan				
OR1	4	4,6	3,6	4	OR1	4	4,8	3,2	4,17
OR2	4	4,8	3,6	4	OR2	4	5	3,6	4
OR3	4	5	3,6	4,17	OR3	4	5	3,6	4
II faza, optimizacija režima 7. dan					II faza, optimizacija režima 14. dan				
OR1	4	4,6	3,2	3,67	OR1	3,83	4,4	3,2	3,83
OR2	4	4,8	3,2	4,17	OR2	4	4,8	3,2	4,17
OR3	3,83	4,4	3,2	3,67	OR3	3,83	4,6	3,2	4
II faza, optimizacija režima 21. dan					II faza, optimizacija režima 28. dan				
OR1	3,67	4,2	3,2	3,5	OR1	3,83	4,8	3,2	4
OR2	3,83	4,6	3,2	3,83	OR2	3,83	4,8	3,2	4,17
OR3	3,83	4,4	3,2	4	OR3	3,83	4,4	3,2	3,83
II faza, optimizacija režima 30. dan									
OR1	3,83	4,6	3,2	3,67					
OR2	4	5	3,2	4					
OR3	3,83	4,4	3,2	3,67					

P18 - Rezultati QDA metode za uzorke iz I i II faze ispitivanja

Uzorak	L	RL	DL	VP	RB	Uzorak	L	RL	DL	VP	RB
I faza						II faza nakon 1 dan skladištenja					
I-1	1	2	1	2	2	II-1	1	1	1	2	1
I-2	2	2	2	2	2	II-2	2	2	1	2	2
I-3	1	0	0	1	1	II-3	2	2	2	2	3
I-4	2	2	1	2	2	II-4	3	2	1,5	2	2
I-5	2	1	0	2	1	II-5	3	3	2	2	3
I-6	3	2	2	3	2	II-6	3	2	1,5	2	3
I-7	3	2	2	2	3	II-7	3	3	2	2	3
I-8	2	1	1	1	2	II-8	2	3	2	2	3
I-9	3	3	2	2	3	II-9	1	0	1	1	1
II faza nakon 7 dana skladištenja						II faza nakon 30 dana skladištenja					
II-1	1	0	0	1,5	1	II-1	2,5	2	1,5	2,5	2
II-2	2	2	1,5	2	2	II-2	2	2	2	2	2
II-3	3	2,5	2	2,5	3	II-3	3	2,5	2,5	2,5	3
II-4	2	2	1,5	2	2	II-4	3	3	2,5	2,5	3
II-5	1	1	1	1,5	1	II-5	3	3	3	2,5	3
II-6	3	3	2	3	3	II-6	2,5	2	1,5	2,5	2
II-7	1,5	1,5	1	2	2	II-7	2,5	2,5	2	2,5	2
II-8	2	2	1,5	2	2	II-8	2	1,5	1,5	1,5	2
II-9	1	1	1,5	1	1	II-9	2,5	2,5	1,5	1,5	2
II faza, optimizacija režima 0. dan						II faza, optimizacija režima 1. dan					
OR1	2,5	2,5	2	3	3	OR1	2	2	2	2	3
OR2	2,5	2	2	3	3	OR2	2,5	2,5	2	3	3
OR3	3	3	2,5	3	3	OR3	2,5	2,5	2	3	3
II faza, optimizacija režima 7. dan						II faza, optimizacija režima 14. dan					
OR1	2	2	1,5	1,5	3	OR1	2	2	1,5	2	2,5
OR2	2	2	2	2	3	OR2	2,5	2,5	2,5	2	2,5
OR3	2	2	1	1,5	2	OR3	2,5	2,5	2	2	2,5
II faza, optimizacija režima 21. dan						II faza, optimizacija režima 28. dan					
OR1	2	2	2	2	2,5	OR1	2,5	2,5	2	2,5	2,5
OR2	2,5	3	2	2,5	2,5	OR2	2,5	2,5	2,5	3	3
OR3	2,5	2,5	2	2,5	2,5	OR3	2,5	2	2	1,5	2,5
II faza, optimizacija režima 30. dan						L – listanje; RL – ravnomernost listanja; DL – debljina listova; VP – veličina pora; RB – ravnomernost boje.					
OR1	2,5	2	2	2	2,5						
OR2	3	2,5	3	3	3						
OR3	2,5	2,5	2	2	2						

P 19 – Rezultati metode bodovanja za uzorke iz III i IV faze ispitivanja

Uzorak	Spoljni izgled	Struktura	Miris	Ukus	Uzorak	Spoljni izgled	Struktura	Miris	Ukus
III faza, nezamrznuti uzorci					III faza, zamrznuti uzorci nakon 30 dana skladištenja				
III-1	3,5	4,2	3,2	3,67	III-1	3,67	4,4	3,2	3,17
III-2	3,17	3,4	3,33	4,33	III-2	2,83	32,8	3,2	2,83
III-3	3,83	4,4	3,2	3,83	III-3	3,17	3,6	3,2	3,33
III-4	3,17	4	3,2	3,67	III-4	3,33	3,8	3,2	3,33
III-5	4,33	5,8	3,2	4,83	III-5	4	5,6	3,2	4,83
III-6	3,5	3,8	3,2	3,67	III-6	3,67	4,8	3,2	3,67
III-7	3,83	5,6	3,2	4,17	III-7	4,17	5,6	3,2	4
III-8	3,5	3,8	3,2	3,83	III-8	4	3,67	3,2	3,83
III-9	3,83	6	3,2	4,83	III-9	4	5	3,2	4
III-10	3,17	2,2	3,2	3,5	III-10	3,83	4,6	3,2	3,5
III-11	4,17	6	3,2	4,83	III-11	4,33	5,6	3,2	4
III-12	3,17	3	3,2	3,17	III-12	3,67	4,2	3,2	3,33
III-13	4	4,6	3,33	3,83	III-13	4	4,6	3,2	3,83
III-14	3	2,8	3,2	3	III-14	3,5	1,4	2,4	2,17
III-15	3,17	4	3,2	4	III-15	4	4,8	3,2	4
IV faza nezamrznuti uzorci					IV faza zamrznuti uzorci nakon 120 dana skladištenja				
OD	4,67	5	3,6	4,5	OD	4	4,8	3,6	4
OE1	3,33	5,4	3,2	3,83	OE1	4	4,2	3,6	4
OE2	4,33	4,8	3,6	3,83	OE2	3,5	3,6	2,8	3,5
KU	4,67	5,2	3,2	4,5	KU	4,33	4,8	3,6	4,5

P 20 – Rezultati QDA metode za uzorke iz III i IV faze ispitivanja

Uzorak	L	RL	DL	VP	RB	Uzorak	L	RL	DL	VP	RB
III faza, nezamrznuti uzorci						III faza, zamrznuti uzorci nakon 30 dana sklad.					
III-1	2	2	1,5	1,5	2,5	III-1	2	2	2	2	2,5
III-2	1,5	1,5	1	1	1	III-2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
III-3	1,5	2	2	1,5	1,5	III-3	2	2	1,5	2	2
III-4	2	2	1,5	1,5	2,5	III-4	2	2	1,5	1,5	2
III-5	3	2,5	3	2,5	3	III-5	3	3	2,5	2,5	3
III-6	2	2	1,5	2	2,5	III-6	2,5	2,5	2	2	2,5
III-7	3	2,5	3	2,5	2,5	III-7	3	2,5	2,5	2	2,5
III-8	2	2	1,5	1,5	2,5	III-8	2	2	1,5	12	2,5
III-9	3	3	3	3	3	III-9	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
III-10	1,5	1,5	1,5	1,5	2	III-10	2,5	2	2	2	2,5
III-11	3	3	3	3	3	III-11	3	2,5	2,5	2,5	2,5
III-12	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	III-12	2	1,5	1,5	1,5	1,5
III-13	2,5	2,5	2	2	2,5	III-13	2	2	2	2	2,5
III-14	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	III-14	1	1	1	1	1,5
III-15	2	2	1,5	1,5	2,5	III-15	2,5	2,5	2	2	2,5
IV faza nezamrznuti uzorci						IV faza zamrznuti uzorci nakon 120 dana sklad.					
OD	2,5	2	1,5	2,5	3	OD	2,5	2	2	2,5	2
OE1	3	3	3	2,5	3	OE1	2	2	2	2	2,5
OE2	2,5	2	1,5	2	2,5	OE2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
KU	3	2,5	2,5	2,5	3	KU	2,5	2	2	2,5	3

L –listanje; RL –ravnomernost listanja; DL –debljina listova; VP –veličina pora; RB –ravnomernost boje.

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Ефекат шок замрзавања теста на технолошке особине лиснатог пецива обогаћеног влакнима шећерне репе и семеном чије (<i>Salvia hispanica</i>)
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Технолошки факултет Нови Сад б) Научни институт за прехранбене технологије в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживања у оквиру ове докторске дисертације су повезана са истраживањима која финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, у оквиру пројекта „Развој нових функционалних кондиторских производа на бази улјарица, број: ТР 31014
1. Опис података
1.1 Врста студије <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> <u>докторска дисертација</u>
1.2 Врсте података а) <u>квантитативни</u> б) <u>квалитативни</u>
1.3. Начин прикупљања података а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____

д) узорци ткива: навести врсту _____

ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____

е) текст, навести врсту _____

ж) мапа, навести врсту _____

з) остало: описати кроз експериментални рад _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

а) Excel фајл, датотека _____

б) SPSS фајл, датотека _____

в) PDF фајл, датотека _____.pdf _____

г) Tekst fajl, datoteka _____.doc _____

д) JPG fajl, datoteka _____.jpg _____

е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

а) број варијабли _____ велики број _____

б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) __ велики број _____

1.3.3. Поновљена мерења

а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) временски размак између поновљених мера је __један сат _____

б) варијабле које се више пута мере односе се на _____ параметре квалитета теста и пецива _____

в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као __одговарајући број експеримента _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип _____ поступак замрзавања, пробно печење _____

б) корелационо истраживање, навести тип _____ response surface methodology (RSM) _____

ц) анализа текста, навести тип _____ тумачење експерименталних резултата, поређење са литературним подацима и извођење закључака _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

- Texturometar TA.XTPlus
- Viskozimetar Haake Rheo Stress 600
- VolScan profiler
- Gasni hromatograf Hewlett Packard 5890A
- Maseni spektrofotometar Hewlett Packard 5971A
- NMR Bruker minispec 20 mq
- A.O.A.C. Association of official Analytical chemists (2005).18th ed. Washington D.C.U.S.A.

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да Не

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан применом добре лабораторијске праксе.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијум докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- a) Подаци нису у отвореном приступу
 - б) Подаци су анонимизирани
 - ц) Остало, навести шта
-
-

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

a) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Анастасија Селаковић, anastasija.selakovic@fidelinkaskrob.rs; anase171@gmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима
