

UNIVERZITET U NOVOM SADU

TEHNOLOŠKI FAKULTET



DOKTORSKA DISERTACIJA

**INTERAKCIJA PREHRAMBENIH VLAKANA SA
GRADIVNIM MATERIJAMA TESTA U POSTUPKU IZRADE
PEKARSKIH PROIZVODA SNIŽENE ENERGIJE**

Mentor:

Prof. dr Stevan Popov

Kandidat:

mr Jelena Filipović

Novi Sad, 2009.

Sadržaj

	strana
1.0.0. Uvod	1
2.0.0. Postavka problema	3
3.0.0. Teorijski deo	4
3.1.0. Proteini tokom izrade hleba	4
3.1.1. Genetika i struktura polipeptidnog lanca	5
3.1.1.1. Glijadini	6
3.1.1.2. Glutenini	7
3.1.2. Promene proteina tokom skladištenja i mlevenja pšenice	8
3.1.3. Promene proteina tokom zamesa testa i u procesu fermentacije	9
3.1.3.1. Interakcija proteina i lipida	10
3.1.3.2. Interakcija proteina i ugljenih hidrata	11
3.1.4. Promene proteina tokom procesa pečenja	12
3.1.5. Promene proteina na niskoj temperaturi	13
3.2.0. Reološke osobine i ispitivanja viskoelastičnih sistema	13
3.2.1. Reologija testa	16
3.3.0. Zamrznuti pekarski proizvodi u ishrani	22
3.3.1. Reološke osobine zamrznutog testa	23
3.3.2. Snižavanje temperature i zamrzavanje	25
3.3.2.1. Uloga pekarskog kvasca	28
3.4.0. Prehrambena vlakna	30
3.4.1. Inulin	31
3.4.2. Uticaj prehrambena vlakana u hlebu	33
4.0.0. Eksperimentalni deo	36
4.1.0. Materijal	36
4.1.1. Brašno	36
4.1.2. Prehrambena vlakna	36
4.1.3. Kvasac	36

4.1.4.	Ostale sirovine	37
4.2.0.	Metodi rada	38
4.2.1.	Fizički metodi	38
4.2.1.1.	Kapacitet zadržavanja vode i rastvorljivost prehrambenih vlakana	38
4.2.2.	Hemijski metodi	
4.2.2.1.	Sadržaj vlage	38
4.2.2.2.	Sadržaj proteina	38
4.2.2.3.	Sadržaj skroba	38
4.2.2.4.	Sadržaj lipida	38
4.2.2.5.	Sadržaj rezistentnog skroba u hlebu sa prehrambenim vlaknima	39
4.2.2.6.	Određivanje sadržaja ukupnih vlakana	39
4.2.3.	Reološki metodi	39
4.2.3.1.	Izrada farinograma	39
4.2.3.2.	Izrada ekstenzograma	39
4.2.3.3.	Izrada viskograma	39
4.2.3.4.	Izrada maturograma	40
4.2.3.5.	Određivanje reoloških karakteristika na Haake rheo stress 600	41
4.2.3.6.	Određivanje rastegljivosti mikro-metodom Kieffer extensibility Rig	41
4.2.4.	Kinetika zamrzavanja/odmrzavanja uzoraka	42
4.2.5.	Laboratorijsko probno pečenje po modifikovanom AACC metodu	42
4.2.6.	Ocena kvaliteta hleba	43
4.2.7.	Određivanja teksture hleba sa vlaknima	43
4.2.8.	Određivanja boje hleba sa vlaknima	44
4.2.9.	Statistička analiza	44
4.2.10.	Proračun energetske vrednosti hleba sa vlaknima	45

4.3.0. Rezultati i diskusija	46
4.3.1. Fizičke karakteristike vlakana i njihova interakcija sa brašnom	46
4.3.1.1. Fizičke karakteristike vlakana	46
4.3.1.2. Stacionarna merenja interakcije vlakana i gela pšeničnog brašna	47
4.3.1.3. Dinamička merenja interakcije vlakana i gela pšeničnog brašna	53
4.3.2. Interakcija vlakana sa sastojcima hlebnog testa	59
4.3.2.1. Uticaj vlakana na reološke osobine testa	59
4.3.2.2. Uticaj vlakana na pecivne osobine testa	70
4.3.3. Matematička analiza interakcije vlakana i hlebnog testa pri zamrzavanju	75
4.3.3.1. Matematička analiza uticaja vlakana na ponašanje zamrznutog testa na završnoj fermentaciji	75
4.3.3.2. Matematička analiza uticaja vlakana na kvalitet hleba od zamrznutog testa	80
4.3.4. Termodinamička merenja testa sa različitim količinama vlakana	85
4.3.4.1. Kinetika zamrzavanja testa sa vlaknima	85
4.3.4.2. Kinetika odmrzavanja testa sa vlaknima	91
4.3.5. Uticaj vlakana na kvalitet hleba kao funkcionalne hrane	96
4.3.5.1. Uticaj vlakana na reološke osobine testa	96
4.3.5.2. Uticaj vlakana na kvalitet i teksturu hleba	98
4.3.5.3. Nutritivna vrednost i boja hleba obogaćenog sa vlaknima	101
5.0.0. Zaključci	105
6.0.0. Literatura	110

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikaciono broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska publik

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Doktorska teza

Autor:

AU

mr Filipović Jelena, dipl. ing.

Mentor:

MN

Dr Stevan Popov, redovni profesor
Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu

Naslov rada:

NS

INTERAKCIJA PREHRAMBENIH VLAKNA SA
GRADIVNIM MATERIJAMA TESTA U POSTUPKU
IZRADE PEKARSKIH PROIZVODA SNIŽENE
ENERGIJE

Jezik publikacije:

JZ

srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI

srpski (latinica)

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Novi Sad, Vojvodina

Godina:

GO

2009

Izdavač: autorski reprint
IZ

Mesto i adresa: 21000 Novi Sad, Srbija, Bul. cara Lazara 1
MS

Fizički opis: VI, 119 str., 26 tab., 49 slika
FO

Naučna oblast: Prehrambena tehnologija
NO

Naučna disciplina: Biotehnologija
ND

Predmetna odrednica/ključne reči: Vlakna, testo, zamrzavanje, kvalitet hleba
PD

UDK: 664.64.016/.019:664.663

Čuva se: U biblioteci Tehnološkog fakulteta u Novom
ČU Sadu, 21000 Novi Sad, Srbija, Bulevar cara Lazara 1

Važna napomena: nema
VN

Izvod: U radu je ispitana interakcija tri vrste
IZ komercijalnih prehrambenih vlakana (Fibrex, inulin HPX i inulin GR) sa strukturnim komponentama hlebnog testa. Na različitim pH vrednostima (pH 7, pH 5, pH 4 i pH 3) ispitane su fizikohemijske osobine vlakana, pri čemu Fibrex ima najveći kapacitet zadržavanja vode od 421% dok inulin GR najmanji od svega 4.2%. Na osnovu reološke osobina testa sa vlaknima u količini od 5 i 10% dobijen je uvid u interakciju vlakana sa proteinskim kompleksom i klajsterisanim skrobom. Reološke osobine hlebnog testa zavise od količine i vrste inkorporiranih vlakana dok pH vrednost vode za zames ima mali uticaj na ove pokazatelje. Statistička obrada podataka je potvrdila

pozitivan uticaj vlakana na testa u zamrznutom stanju. Koeficijenti diskriminacije pokazuju da je najveći uticaj vlakana na završnu fermentaciju testa je posle 1 dana (199.006 i 5.739), a pozitivan uticaj vlakana na zapreminu hleba izražen je posle 30 dana (9.416) a na kvalitet sredine posle 60 dana (0.841). Termodinamičkim merenjima kinetike zamrzavanja/odmrzavanja testa sa vlaknima utvrđeno je da inulina GR doprinosi skraćenju postupka što potvrđuje koeficijent determinacije R^2 (0.966 i 0.981) dok testo sa fibrexom ima najmanji koeficijent determinacije R^2 (0.939 i 0.951) što pokazuje da ovo vlakno najlošije utiče na kinetiku zamrzavanja/odmrzavanja. Kinetika zamrzavanja/odmrzavanja može se definisati matematičkim modelom koja odgovara jednačini sa kvadratnim polinom, odnosno jednačini za nestacionarni temperaturni profil sa kvadratnim članom $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$. Rezultati ispitivanja pokazuju da se dodatkom 5 i 10% fibrex-a i inulina HPX dobija hleb dobrog kvaliteta, sa značajnim padom svarljivih ugljenih hidrata i promenjenog nutritivnog sastava koji ima osobine funkcionalne hrane pri čemu Fibrex tamni boju a inulin HPX i GR vizuelno ne menja boju hleba u odnosu na hleb bez vlakana.

Datum prihvatanja teme: 22.3.2007.
DP

Datum odbrane: 30.10.2009.
DO

Članovi komisije:
KO

Predsednik:

Prof. dr Vlada Veljković, akademik

Član:

Prof. dr Stevan Popov

Član:

Dr Đorđe Psodorov

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monographic publication

DT

Type of record:

Textual material, printed

TR

Contents code:

Ph.D. thesis

CC

Author:

Filipović Jelena m.s.

AU

Menthor:

Prof. Stevan Popov,.Ph.D.

MN

Faculty of Technology, Novi Sad

Title:

THE INTERACTION OF DIETARY FIBRES WITH
STRUCTURAL DOUGH COMPONENTS IN THE
PROCESS OF MAKING DECREASE ENERGY
BAKERY PRODUCTS

TI

Serbian (Roman)

Language of text:

LT

Serbian (Roman) / English

Language of abstract:

LS

Seribia

Country of publication:

CP

Locality of publication:

Novi Sad, Vojvodina

LP

Publication year: 2009
PY

Publisher: author reprint
PB

Publ. Place: 21000 Novi Sad, Serbia; Bul. cara Lazara 1
PL

Physical description: VI, 119 p., 26 tab., 49 fig
PD

Scientific field: Food Technology
SF

Scientific discipline: Biotechnology
SD

Key words: Fibres, dough, freezing, bread quality
CW

UC 664.64.016/.019:664.663

Holding data: Library of Faculty of Technology Novi Sad,
HD 21000 Novi Sad, Serbia, Bulevar cara Lazara1

Note: Ph.D. thesis = Doktorska teza
N Faculty of Technology = Tehnološki fakultet

Abstract: The interaction of three different commercial
AB fibers (Fibrex, inulin HPX and inulin GR) with structural elements of bread dough was tested. Physico/chemical fiber characteristics at different pH values point that the greatest water binding capacity (421%) is attributed to fibrex, contrary to the value of 4,2% experienced for inulin GR. Rheology of dough containing 0 to 10% of either fiber type proved the insight in the interaction between fibers and proteins and also fibers and starch gels. Dough rheology is influenced the most by fiber

characteristics and incorporated quantity, contrary to pH value of water at mixing stage. Statistical data interpretation proved the positive contribution of fibers on dough at freezing

Discrimination coefficients are confirming that, on the whole, the greatest influence fibers have on final proof after 1 day of freezing (199.006 and 5.739) and their beneficial influence is experienced after 30 and 60 days of freezing on bread volume (9.416) and bread crumb quality (0.841), respectively. Thermodynamic measuring of freezing/thawing kinetics of dough containing fibers point that inulin GR is beneficial in shortening the procedure, confirmed by values for determination coefficient R^2 (0.966 and 0.981), contrary to the contribution of Fibrex where the smallest values for those coefficients were experienced, R^2 (0.939 and 0.951) proving that fibrex is not contributing to the freezing/thawing kinetics. Freezing/thawing kinetics can be adequately defined by the mathematical model of square polynomial, i.e. equation for the non stationary temperature profile with square $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$. Data presented in this thesis show that, understanding interactions between fibers and dough structure, by the addition of 5 or 10% of either Fibrex or inulin HPX, high quality bread attributed with a significant decrease of digestible carbohydrates and modified nutritive pattern accompanied with attributes of functional food can be made, while Fibrex is adversely contributing to crumb colour contrary to inulin HPX and GR.

Accepted by the Scientific Board on: 22.3.2007.
ASB

Defended on: 30.10.2009.
DE

Thesis defended board:
DB

President: _____
dr Prof. dr Vlada Veljković, akademik

Member: _____
Prof. dr Stevan Popov

Member: _____
dr Đorđe Psodorov

1.0.0. UVOD

Ishrana je osnovna potreba čoveka koja uslovljava dobro ili loše zdravlje i utiče na radnu sposobnost i dužinu ljudskog života. Poznavanje i primena savremenih znanja o ishrani omogućava čoveku da svesno utiče na životne procese u svom organizmu. Uloga hrane je složena: omogućava organizmu rast i izgradnju ćelija, obezbeđuje energiju koja je telu potrebna za obavljanje fizičkog i umnog rada i obezbeđuje sastojke koji organizam štiti od eventualnih oboljenja (*Kaluđerski i sar., 1998*). Pravilna ishrana podrazumeva unošenje u organizam svih namirnica u pravilnom odnosu i to: proteina, masti, ugljenih hidrata, vitamina, mineralnih materija, vode i prehrambenih vlakana. Sve hranljive materije unete u organizam podležu nizu raznovrsnih biohemijskih promena. Količina hranljivih materija koje čovek mora da unese u organizam u toku dana, zavisi od raznih faktora, a prvenstveno od starosti, pola čoveka i vrste posla koji obavlja (*Kaluđerski i sar., 1998*).

Pekarski proizvodi su svakodnevni sastojci obroka svih režima ishrane i zauzimaju značajno mesto u ishrani ljudi. Ukoliko se funkcionalnim svojstvima prilagode ciljnoj grupi potrošača mogu pozitivno da deluju u pravcu poboljšanja kvaliteta ishrane, što doprinosi prevenciji masovnih nezaraznih bolesti (*Guillon i sar 2000*). U tehnološki razvijenom društvu i kod gradskog stanovništva hranu karakteriše visok sadržaj energije i mali unos prehrambenih vlakana. U cilju sprečavanja masovnih nezaraznih bolesti i očuvanju zdravlja, nutricionisti se zalažu za smanjenje energetske gustine namirnica i povećanje unosa prehrambenih vlakana, pri čemu prehrambene namirnice dobijaju osobine funkcionalne hrane.

U svetu, pa i kod nas, ispitivanja su usmerena u pravcu promene hranljive vrednosti hleba da bi se ispunili sve veći zahtevi savremene ishrane u pogledu sadržaja proteina, mineralnih materija, vitamina i prehrambenih vlakana, kao i u pogledu njegove energetske vrednosti, a u cilju poboljšavanja zdravlja ljudi.

Prehrambena vlakna po fizičko-hemijskim i biološkim karakteristikama se ne smatraju esencijalnim nutritijentom, što otežava put od potrošača, kome su ovi sastojci

deficitarni, do njegove svesti o važnosti ovih sastojaka u ishrani. Neophodno je podsticati unos ovih materija (*Schaafsma, 2004*). Da bi se ostvarili pozitivni zdravstveni efekti, hrana bogata prehrambenim vlaknima mora zadovoljiti nutritivne zahteve ali i kvalitet proizvoda mora odgovarati ciljnoj grupi potrošača. Termin "funkcionalna hrana" se odnosi na koncept nauke o ishrani i obuhvata sve namirnice koje, sem osnovne gradivne funkcije, imaju i pozitivno fiziološko delovanje i doprinose smanjenju rizika od bolesti (www.eatright.org), a ne pokazuju sporedni negativan efekat prilikom konzumiranja. Pozitivno delovanje funkcionalne hrane je teško zapaziti u kratkom vremenskom periodu, jer je merljivo tek nakon višegodišnjeg perioda konzumiranja. Iz ovih razloga, veoma je pogodno da se pekarski proizvodi, kao omiljena i svakodnevna hrana, prilagode savremenim trendovima u ishrani. Istovremeno nameće se potreba proširenja asortimana funkcionalnih pekarskih proizvoda. Problem kvaliteta pekarskih proizvoda sa visokim sadržajem vlakana je vezan za osobine samih vlakana i za nedovoljno proučen način njihove interakcije sa gradivnim komponentama testa.

2.0.0. POSTAVKA PROBLEMA

U tehnologiji proizvodnje hleba sa povećanim sadržajem prehrambenih vlakana uglavnom su poznati negativni efekti vlakana izraženi smanjenom zapreminom proizvoda, promenom boje i kvaliteta sredine, a mehanizam delovanja vlakana, pogotovo kada je u pitanju inulin, na pojedine komponente testa nije dovoljno ispitan i objašnjen.

Cilj istraživanja jeste utvrđivanje mehanizma interakcije vlakana, koja ograničeno bubre i imaju relativno velik kapacitet vezivanja vode kao što su vlakna Fibrexa i dve vrste inulina koji se razlikuju po molekulskim masama sa strukturnim komponentama hlebnog testa.

Rezultati ovih ispitivanja su prilog fundamentalnih ispitivanja mesta i uloge prehrambenih vlakana različitog porekla u tehnološkom postupku izrade hleba, sa ciljem da se omogući i olakša proizvodnja funkcionalnih prehrambenih proizvoda visokog kvaliteta.

Istraživanja obuhvataju fizikohemijske osobine relevantne za osobine testa s odabranim vlaknima, sa posebnim naglasakom na sposobnost zadržavanja vode, stepen bubrenja i viskozitet suspenzije koju čine vlakna i voda, u različitim uslovima pH.

Praćenjem reoloških osobina testa sa vlaknima dobija se uvid u interakciju vlakana različitih svojstava sa proteinskim kompleksom u procesu proizvodnje hleba.

Praćenjem reoloških osobina zamrznutog testa i vlakana različitih svojstava, ispitaće se efekat različitih vlakana na osobine i obradivosti testa i njihov uticaj na kvalitet hleba tokom različite dužine zamrzavanja. Termodinamička merenja testa sa različitim količinama vlakana pružaju uvid u kinetiku zamrzavanja i odmrzavanja testa na različitim temperaturama.

Uticaj vrste i količine vlakana na kvalitet hleba, kao funkcionalne hrane, potvrđuju objektivne metode merenja osobina kompresibilnosti i boje sredine.

3.0.0. TEORIJSKI DEO

3.1.0. PROTEINI TOKOM IZRADE HLEBA

Opšte je prihvaćeno da svojstva rezervnih proteina endosperma pšenice usmeravaju njihovu pogodnost za preradu u hleb. Među žitima, jedino pšenica i manje rasprostranjena *titicale* imaju rezervne proteine koji u interakciji sa vodom daju testu neophodnu kohezivnost i elastičnost kao preduslov za dobijanje specifične zapremine fermentisnoga hleba (Lastić, 1996; Mejri et al., 2005).

Sadržaj i sastav proteina utiču na svojstva glutenskog kompleksa i reološke osobine testa. Osnovni uslovi za formiranje testa od pšeničnog brašna su:

- Postojanje nerastvorljivog proteinskog matriksa koji obrazuje kohezivno testo,
- Zadovoljavajuća količina nerastvorljivog proteinskog matriksa za formiranje kontinualne faze u prisustvu skroba i vode,
- Odnos proteina glutena velike i male molekulske mase koji ima značajan efekat na reološka svojstva testa,
- Svi faktori koji utiču na interakciju protein-protein (kao što su disulfidne veze, vodonične veze, hidrofobne interakcije itd.) a koja menjaju reološka svojstva testa.

Polipeptidi koji obrazuju glutenski kompleks imaju dominantnu ulogu u određivanju tehnološkog kvaliteta pšenice. Prema podacima Lastić (1996, 2000) izdvajanjem pojedinačnih polipeptida koji obrazuju glutenski kompleks, kao i identifikacijom gena koji kodiraju proteine, može se izvesti korelacija između pojedinačnih proteina glutena i pecivnih svojstava i odrediti sledeće:

- Identifikovati gen koji kodira proteine, tj. obrazuje glutenski kompleks i odrediti sekvence nukleotida ovih gena,
- Izolovati pojedinačne polipeptide iz glutena i odrediti sekvence amino-kiselina,
- Izvesti korelaciju između sastava polipeptida glutena i tehnološkog kvaliteta,

- Utvrditi redoks sisteme u pšenici i brašnu: uticaj niskomolekularnih tiol grupa (glutation = GSH, GSSG = oksidansi, GSH, peptidi koji sadrže cistein i smesa proteina i disulfida) prisutnih u brašnu, kao i mehanizam poboljšanja primenom oksidacionih sredstava,
- Odrediti tehnološki kvalitet pšenice (*Lastić, 2000*).

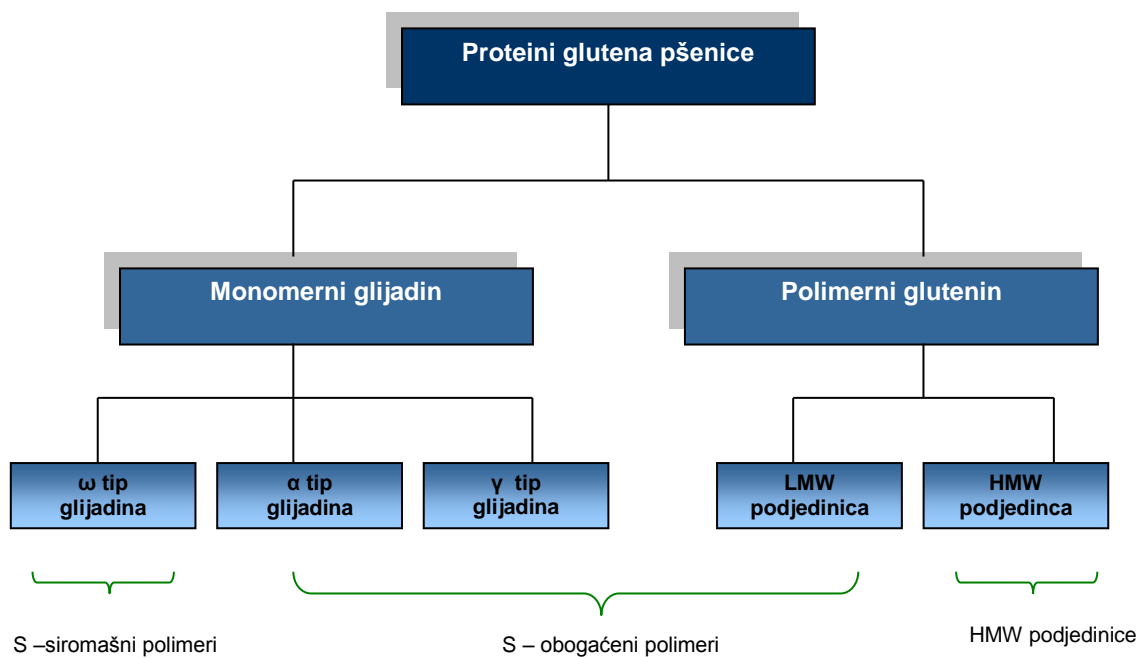
3.1.1. GENETIKA I STRUKTURA POLIPEPTIDNOG LANCA

Kod heksaploidne pšenice geni koji kodiraju obrazovanje polipeptida glutena locirani su na sledećim hromozomima: 1A, 1B, 1D, 6A, 6B i 6D. Na osnovu lokacije gena koji kodiraju proteine glutena iz jedne sorte pšenice uz primenu tehnike premeštanja gena mogu se stvoriti transgenske sorte pšenice kod kojih je striktno definisan sastav podjedinica glijadina i glutenina. Određivanjem sekvenci nukleotida u genima mogu se odrediti sekvence amino-kiselina pojedinih polipeptida (*Kasarda, 1999; Macritchie, 1999; Lastić, 2000*).

Svi proteini glutena sintetišu se u endoplazmatičnom retikulumu (RER), gde nastaje savijanje proteinskih lanaca i obrazovanje disulfidnih veza unutar zapremine endoplazmatičnog retikuluma (RE). Obrazovanje intramolekularnih veza je brz proces, dok se obrazovanje intermolekularnih disulfidnih veza uglavnom sporije odvija. Savijanje proteina, odnosno obrazovanje intra i intermolekularnih disulfidnih veza tj. obrazovanje glutena, zavisi od kvantiteta i kvaliteta proteina same sorte pšenice dok u fazi mešenja, odnosno formiranja testa može se regulisati do izvesne mere dodatkom oksidacionih sredstava (*Kasarda, 1999; Macritchie, 1999; Lastić, 2000*).

Na osnovu istraživanja hemijskog sastava proteina glutena, danas je poznata većina "gradivnih blokova" glutenskog kompleksa. Kao što je prikazano na slici 3.1.1, proteine glutena formiraju polipeptidi koji se mogu podeliti na monomere glijadina i polimere glutenina (slika 3.1.1). Na osnovu elektroforetske pokretljivosti mogu se razlikovati alfa, beta, gama i omega glijadini. Takođe se koristi i podela na osnovu

sadržaja amino-kiselina koje sadrže sumpor i tada se glijadini dele na dve grupe: glijadini bogati i siromašni sumporom (Kasarda, 1999; Macritchie, 1999; Lastić, 2000).



Slika 3.1.1. Polipeptidi koji obrazuju gluten

3.1.1.1. Glijadini

Glijadini se sastoje iz sekvenci amino-kiselina α , ω , i γ glijadina, a većina njih je proizašla iz sekvenci genoma i cDNK. Glijadini imaju sličnu strukturu i najveći deo komponenti sadrži između 250 i 300 ostataka. Sekvence se mogu podeliti na dva jasno razdvojena dela. N-terminalna oblast iznosi jednu trećinu do jedne polovine ukupnih proteina, sadrži polipeptide koji se višestruko ponavljaju, ima mnogo ostataka prolina i glutamina, međutim u N-terminalnoj oblasti prisutni su i kratki delovi koji se ne ponavljaju. U C-terminalnoj oblasti ne zapaža se ponavljanje polipeptida i ona sadrži najveći deo cisteinskih ostataka. α tip glijadina sadrži 6, a γ tip 8 cisteinskih ostataka, dok se kod ω glijadina razlike javljaju u sekvencama u N-terminalnoj oblasti (Wiser et al., 2000). Upoređivanjem sastava sekvenci u pogledu sadržaja ostataka cisteina u dva tipa glijadina zapaža se da je svih 6 cisteinskih

ostataka, prisutnih u alfa tipu glijadina, takođe prisutno i u gama tipu glijadina, ali gama glijadin sadrži još dva dodatna ostatka cisteina (*Kasarda, 1999; Macritchie, 1999; Lastić, 2000; Mejri et al., 2005; Margarida et al., 2005*).

3.1.1.2. Glutenini

Prema najnovijim stavovima stručnjaka, glutenin se sastoji od polipeptidnih podjedinica povezanih disulfidnim vezama. Podjedinice su podeljene u dve grupe:

- Podjedinice velike molekulske mase (HMW ili HMW-GS);
- Podjedinice male molekulske mase (LMW ili LMW-GS).

Unutar grupe, za svaki pojedinačni polipeptid HMW podjedinice su identifikovane na osnovu elektroforetske pokretljivosti i na osnovu koda hromozoma. HMW podjedinicu označenu kao 1A1 kodira hromozom 1A koji ima najmanju elektroforetsku pokretljivost. HMW podjedinice glutena su podeljene u dve podgrupe na osnovu broja i raspodele cisteinskih ostataka: podgrupa X tipa i podgrupa Y tipa (*Kasarda, 1999; Macritchie, 1999; Wrigely and Békés, 1999; Lastić, 2000*).

Kvalitet glutena uglavnom zavisi od broja i raspodele "gradivnih blokova", tj. od HMW glutenskih podjedinica velike molekulske mase koje lako formiraju polimere preko intermolekularnih disulfidnih lanaca koji su dobri markeri pšenice visokog kvaliteta. Na osnovu korelacije između sastava podjedinica velike molekulske mase HMW-GS i kvaliteta pšenice, predložena je primena tkz. "Glu-1 ocene kvaliteta" za predviđanje pecivnih svojstava sorti pšenice. Prema "Glu-1 oceni kvaliteta" sorte sa kombinacijom podjedinica 2+12 ili 4+12 imaju slab kvalitet. Međutim istraživanja stare mađarske sorte Bankut, poznate kao kvalitetne sorte tvrde ozime pšenice, pokazala su da brašno sadrži podjedinice 2+12. Takođe treba napomenuti da je nađeno da jedna sorta crvene tvrde jare pšenice gajene u Severnoj Dakoti ima podjedinice 2+12, a da je dobrog kvaliteta (*Lastić, 2000*).

Prilikom formiranja glutenskog matriksa, glutenin daje čvrstoću a glijadin viskozne osobine testu. Normalan gluten poseduje različita fizička svojstva kohezivna, elastična i viskozna. Gluten velike molekulske mase nastaje povezivanjem polipeptidnih jedinica

male molekulske mase disulfidnim vezama koje se grade oksidacijom cisteina. Ako se raskinu disulfidne veze redukcionim sredstvom, gluten gubi svoju čvrstoću i elastično kohezivni karakter, pri čemu se po molekulskoj masi približava glijadinu (*Pylar, 1988; Wrigely and Békés, 1999*).

Glijadin i glutenin sadrže disulfidne veze. U glijadinu disulfidne veze su intramolekularnog karaktera, što znači da povezuju delove istog polipeptidnog lanca u savijenoj konformaciji, dok se mnoge disulfidne veze glutenina formiraju između različitih proteinskih lanaca, te dolazi do povećanja molekulske mase agregata. Kada se glijadin tretira redukcionim sredstvom koji raskida intramolekularne disulfidne veze, efekat koji se zapaža elektroforezom je usporavanje brzine migracije pojedinih proteina, što se pripisuje promeni oblika i veličine molekula. Ove razlike u sposobnosti obrazovanja intra- i inter- molekularnih veza u gluteninu i glijadinu posledica su amino-kiselinskog sastava sekvenci proteina. Viskoelastične osobine glutenina nastaju zbog formiranja kako intra- tako i inter- molekularne veze (*Pylar, 1988; Lamacchia i sar 2000*), pri čemu polimeri glutenina obrazuju elastičnu mrežu koja stvara nekovalentne veze, prvenstveno vodonične sa proteinima glijadina. U više studija je dokazano da pecivne osobine brašna zavise od osobina glutenina (*Odintsova et al., 2000*).

3.1.2. PROMENA PROTEINA TOKOM SKLADIŠTENJA I MLEVENJA PŠENICE

U zdravom pšeničnom zrnu koje je skladišteno pod odgovarajućim uslovima, dolazi do veoma malih promena na proteinima. Raspodela proteinskih frakcija ostaje praktično nepromenjena i to naročito kod pšenice visokog kvaliteta.

Izvesna poboljšanja reoloških svojstava glutena su kod pšenice slabijeg kvaliteta i smanjene rastegljivosti. Promene koje nastaju u proteinima tokom skladištenja su povezane sa oksidativnim reakcijama tiolnih grupa u proteinima. Kod pšenice prokljale na polju može doći do drastičnih promena na glutenu usled dejstva proteaze.

U uobičajenom postupku mlevenja praktično ne dolazi do hemijskih promena proteina. Međutim, ako je manja ekstrakcija brašna, količina proteina je manja, pri čemu je ovaj pad neizbežan, ali se može smanjiti (*Lastić, 1996; Lamacchia et al., 2000*).

3.1.3. PROMENE PROTEINA TOKOM ZAMESA TESTA I U PROCESU FERMENTACIJE

U kontaktu sa vodom proteini brašna apsorbuju vodu i formiraju sistem koji bubri kao gel. Tokom zamesa testa kratki proteinski lanci glutena transformišu se u veliki kohezivni sistem koji ispoljava viskozne, elastične i kohezivne osobine. U prvoj fazi mešenja, proteini se hidriraju, a zatim u toku daljeg mešenja međusobno reaguju.

Nepolarni bočni lanci proteina glutena sastoje se od alifatičnih i aromatičnih grupa koje u vodenim rastvorima obrazuju hidrofobne veze. Na stvaranje disulfidnih veza između bliskih polipeptidnih lanaca utiče cistein, pri čemu su disulfidne veze u glijadinu uglavnom intramolekularnog tipa i one utiču na savijanje polipeptidnog lanca, a mnogo disulfidnih veza u gluteninu obrazuje se između različitih proteinskih lanaca što uslovljava veliku molekulsku masu agregata. Različit amino-kiselinski sastav glijadina i glutenina određuje sposobnost stvaranja inter- i intramolekularnih disulfidnih veza. Viskoelastična svojstva glutenina su posledica prisustva određenog odnosa kako intra- tako i intermolekularnih disulfidnih veza (*Pylar, 1988*).

Kada se mesi testo ili kada u testu deluju redukciona sredstva, veliki agregirani molekuli se razbijaju na manje i kraće lance, tako što se prvo raskidaju intemolekularne disulfidne veze, a kasnije se obrazuju druge nove veze između drugih –SH grupa. Intermolekularne –S-S- veze su reaktivnije od intramolekularnih i verovatno imaju veći uticaj na reološke osobine testa (*Pylar, 1988*).

Pored proteinskih reakcija i ostale komponente brašna lipidi, neskrobni polisaharidi i skrob učestvuju u formiranju glutenske strukture. Kao rezultat mehaničkog delovanja zamesa, obrazuje se testo koje se sastoji od kontinualne kvazi čvrste (testo) faze u kojoj su dispergovane ćelije gasa (prvo mehurići vazduha, a kasnije ugljen-

dioksid). Kontinualna mreža proteina glutena čini skelet testa u kome su raspodeljene granule skroba, čestice mekinja i rastvorljivih proteina (*Kulp, 1995; Lastić, 1996*).

Viskoelastična svojstva testa su rezultat kontinualne proteinske faze, koja kod potpuno razvijenog glutena, okružuje skrobne granule. Reološko ponašanje glutenske faze zavisi od molekulskih osobina komponenata koje reaguju i tipa veza koje grade glutensku strukturu. Jačina glutenske strukture zavisi od koncentracije i jačine unutrašnjih veza, molekulske mase međusobno umreženih delova, prosečne molekulske mase i raspodele molekulske mase sastavnih delova polimera (*Kulp, 1995*).

Hemijske veze koje stabilizuju potpuno razvijene proteine glutena u hlebnom testu su sekundarne i kovalentne prirode. Kovalentne veze potiču od disulfidnih veza, koje formiraju inter- i intramolekularne veze u proteinima tokom procesa formiranja testa, reakcijom sulfidnih i disulfidnih grupa. Disulfidne veze u testu mogu se posmatrati i kao dimanički sistem, u kome njihov broj i položaj zavise od sorte pšenice, uslova mešanja i drugo. U postupku mešanja testa dolazi do raskidanja disulfidnih veza a u periodu relaksacije dolazi do ponovnog uspostavljanja ovih veza. Sekundarne veze potiču od reakcija vodonika, hidrofilnih, hidrofobnih, jonskih i polarnih veza (*Kulp, 1995*). Iako su sekundarne veze prilično slabe, njihov značaj se ne može zanemariti.

Neproteinske veze utiču na reologiju i stabilnost glutena, a obuhvataju nekovalentne protein-lipid komplekse, kovalentne veze proteina sa hemicelulozom iz brašna, sa oligosaharidima, kao i veze sekundarnog karaktera sa površinom skrobnih granula. Registrovana je i asocijacija ugljenih hidrata sa nekim HMW podjedinicama glutenina (*Lastić, 2000*).

3.1.3.1. Interakcija proteina i lipida

U procesu formiranja testa dolazi do interakcije proteina glutena i polarnih lipida (fosfolipida i glikolipida) koji stvaraju kompleks i ojačavaju glutensku strukturu. Pretpostavlja se da su veze fosfolipida i glikolipida češće nego veze glikolipida i proteina. Gluten i glikolipidi su povezani vodoničnim vezama i hidrofobnim vezama. Glijadinske i gluteninske frakcije proteina mogu da reaguju sa lipidima. Za slobodni polarni lipid

(uglavnom glikolipid) glijadinske frakcije se vezuje hidrofilnim vezama, a za glutenin hidrofobnim vezama. Lipidi učvršćuju veze između proteina, pri čemu je potrebna izvesna ravnoteža hidrofilnih i hidrofobnih grupa, a hleb sa optimalnom zapreminom može se proizvesti samo u prisustvu polarnih lipida brašna (*Filipović, 1997; Lastić, 2000*).

3.1.3.2. Interakcija proteina i ugljenih hidrata

U procesu obrazovanja testa dolazi do koloidnih i biohemijskih procesa, pri čemu je uloga ugljenih hidrata (pre svega polisaharida) izražena preko nekih indirektnih pokazatelja kao što su:

- Uticaj sadržaja oštećenog skroba na osobine testa;
- Uloga pentozana u procesu obrazovanja testa;
- Reološke osobine raženog testa mnogo više zavise od polisaharida nego od proteina;
- Pekarski proizvodi bez proteina izrađuju se od skroba, polisaharida drugih biljaka, šećera i kvasaca.

Prisustvo polarnih, hidrofilnih grupa u ugljenim hidratima omogućuje interakciju sa amino-kiselinama. Među kovalentnim vezama najvažnije su N-glikozidne i O-glikozidne veze, dok među sekundarnim vezama preovlađuju vodonične veze. Oštećeni skrob ima važnu ulogu u apsorpciji vode, ali s druge strane, negativno utiče na optimalnu zapreminu hleba (*Lastić, 2000*).

Za regulisanje reoloških osobina testa mogu se upotrebiti ugljeni hidrati kao što su pentozani, koji su nerastvorljivi u vodi i drugi hidrofilni polisaharidi. Oni imaju pozitivan uticaj na reološke osobine i stabilnost testa, utiču na povećanje zapremine hleba, kao i na ravnomerniju i elastičniju sredinu hleba (*Lastić, 2000*). Pentozani u prisustvu oksidacionih sredstava učestvuju u formiraju gela i utiču na prostornu strukturu proteina (*Kulp, 1995*).

3.1.4. PROMENE PROTEINA TOKOM PROCESA PEČENJA

Ponašanje testa na različitim temperaturama je veoma važno i određuje kvalitet pekarskih proizvoda, a posledica je, pre svega, želatinizacija skroba i denaturacija proteina (*Falcão- Rodrigues et al., 2005*). Tokom procesa pečenja, temperatura postepeno raste. Denaturacija proteina je proces ili samo deo procesa u kome se prostorni raspored polipeptidnog lanca unutar molekula proteina menja i prelazi iz nativne uređene u neuređenu strukturu. Većina proteina denaturiše u temperaturnom intervalu 50-80 °C. Toplotnu transformaciju glutena prati njegova smanjena rastegljivost sve do momenta kada prestaje ekspanzija glutena u fermentisanom testu i kada se učvrsti struktura zidova pora. U toku progrevanja testa, voda iz denaturisanog glutena prelazi u skrobne granule koje bubre (*Falcão- Rodrigues et al., 2005*). S tačke gledišta termodinamičke stabilnosti proteina, promene energije vodoničnih i disulfidnih veza imaju najvažniju ulogu. U temperaturnom intervalu od 40 do 50 °C dolazi do učvršćivanja glutenske strukture, zato što je efekat entalpije niži nego entropije, koji omogućava, usled proizvodnje ugljen-dioksida, povećanje zapremine. Pri višim temperaturama slabljenje vodoničnih veza je presudno i kao posledica dolazi do postepene denaturacije proteina paralelno sa gubitkom vode.

U kori, gde temperatura dostiže vrednosti više od 100 °C, usled Majardovih reakcija između šećera i amino-kiselina, obrazuju se bojene materije i komponente arome koje daju ukus i boju gotovom proizvodu (*Lastić, 1996*).

3.1.5. PROMENE PROTEINA NA NISKOJ TEMPERATURI

Hlađenjem i zamrzavanjem testa u proizvodnji hleba dolazi do smanjenja konzistencije testa usled zamrzavanja/odmrzavanja. Jedan od faktora koji utiču na promenu konzistencije je "hladna denaturacija". Prema ovoj teoriji na niskim temperaturama dolazi do efekta destabilizacije koji prouzrokuje odmotavanje strukture proteina. Proces dehidratacije tokom zamrzavanja može, takođe da prouzrokuje strukturne promene i delimično razlaganje proteinskog matriksa testa.

Usled fizičkih i hemijskih reakcija, koje nastaju tokom zamrzavanja testa dolazi do preraspodele kovalentnih i sekundarnih veza. Formirani kristali leda utiču na raskidanje sekundarnih veza, što može da dovede do promene konformacije proteina i negativno utiče na njegove funkcionalne osobine (*Lastić, 1996*).

3.2.0. REOLOŠKE OSOBINE I ISPITIVANJA VISKOELASTIČNIH SISTEMA

Viskoelastični sisitemi poseduju istovremeno i viskozne i elastične osobine. Ovi koloidni sistemi nisu ni idealno čvrsti ni idealno tečni, a poseduju osobine i čvrstih (elastične osobine) i tečnih (viskozni) tela. Osobine ovih sistema zavise od vremena dejstva spoljašnje sile i menjaju se posle njihovog prestanka. Viskoelastična tela i pored promena koje se javljaju zbog dejstva spoljašnje sile, ostaju u manje-više čvrstom stanju, za razliku od tiksotropnih koja prelaze u tečno stanje. Ova tela poseduju osobine, koje su između osobina idealno elastičnih i idealno viskoznih tela.

Viskoelastične deformacije. Realna reološka tela se deformišu pod dejstvom spoljne sile, a deformacije mogu da budu delom povratne, a delom potpuno nepovratne. Pod dejstvom sile dolazi do stuktturnih promena koje utiču na unutrašnju građu, na unutrašnji otpor sistema i stepen nepovratnosti deformacija. Ove strukturne promene zavise od dužine trajanja. One izazivaju pojavu relaksacije, spontano opadanje unutrašnjeg otpora nekog sistema pod naponom. Usled relaksacije dolazi do

razmeštanja unutrašnjih strukturnih elemenata gde se makromolekuli odmotavaju i postavljaju paralelno u pravcu istezanja, pri čemu dolazi do raskidanja pojedinih veza, a oslobođeni makromolekuli mogu da ostvare nove veze.

Reološka ispitivanja viskoelastičnog ponašanja mogu da se izvode sa dve vrste merenja:

- deformacija pri konstantnom naponu smicanja,
- promena otpora viskoelastičnog tela u toku vremena, pri konstantnoj deformaciji.

Dinamička oscilatorna merenja su se pokazala veoma korisnim za praćenje razvijanja strukture tokom stvaranja i starenja skrobnih gelova. Za ova merenja je važno da ne dolazi do destrukcije unutrašnjih veza, usled primenjenih dovoljno niskih amplituda napona (deformacija) (*Kulicke et al., 1996*). Skrobni gelovi ili paste pokazuju osobine kako viskoznih (tečnost), tako i elastičnih (čvrstih) tela. Dinamički oscilatorni testovi se izvode primenjujući mali sinusoidalni napon (ili deformaciju), a meri se rezultirajuća deformacija (napon) (*Karim, 2000*). Oscilatorni testovi se koriste za ispitivanje svih tipova viskoelastičnih materija, od niskoviskoznih tečnosti, pasti, gelova, rastopa polimera do elastičnih i čvrstih tela. Kod oscilatornog testa koristi se model dve paralelne ploče, između kojih se nalazi neko telo. Gornja ploča se pomera sinusoidalno i paralelno donjoj ploči, na kojoj može da se meri otpor izazvan oscilatornim deformacijama (*Magez, 2002*)

Kod viskoelastičnih tela koja pokazuju elastične i viskozne osobine promena faznog ugla je $0^\circ < \delta < 90^\circ$. Kako raste viskozna komponenta, tako raste i promena faznog ugla δ (www.iq.usp.br). Visokoelastično ponašanje materijala može da se objasni preko kompleksnog modula (G^*) koji predstavlja ukupan otpor materijala primenjenom naponu, gde su maksimalni napon $\tau_o(t)$ i deformacije $\gamma_o(t)$ koji se dostignu tokom jedne oscilacije. Za G' elastični (zadržani) moduo i G'' viskozni (izgubljeni) moduo za važe: sledeći odnosi

$$G^* = G' + G'' = \tau_o(t) / \gamma_o(t)$$

$$G' = G^* \cos \delta = \tau_o / \gamma_o \cos \delta$$

$$G'' = G^* \sin\delta = \tau_0/\gamma_0 \sin\delta$$

Elastični moduo (G') je merilo zadržane energije tokom merenja koja se posle može osoboditi, a viskozitet (G'') je merilo rasute ili izgubljene energije (toplota). Stoga se G' koristi kao indikator elastičnog, a G'' viskoznog ponašanja (*Scharmm, 2000*).

Parametar fizičkog ponašanja sistema je $\tan\delta = G''/G'$. On pokazuje doprinos viskozne i elastične komponente viskoelastičnim osobinama materijala. Kod idealno elastičnih tela: $\delta=0$ i $\tan\delta=0$ jer elastični G' kompletno dominira nad viskoznim modulom G'' . Za idealno viskozne sisteme: $\delta=90^\circ$ i $\tan\delta=\infty$ jer G'' dominira u potpunosti nad G' . Viskoelastična tela se ponašaju u datim intervalima u zavisnosti od dominantnih faktora (G'/G''), a da bi se odredile vrednosti G'' i G' . Tokom merenja ne sme doći do destrukcije sistema. Ovo se postiže merenjem u linearnom viskoelastičnom režimu.

Na osnovu vrednosti G'' i G' , dobijenih u linearnom viskoelastičnom režimu, može se odrediti karakter (osobina) ispitivanog sistema, tj. da li sistem ima karakteristike gela ili tečnosti:

- sistem se svrstava u gele ako je $G' > G''$, jer u ovom slučaju elastične osobine dominiraju nad viskoznim osobinama i sistem pokazuje određenu čvrstoću. Ovo je karakteristično za čvrsta tela i paste. Ako sistemi koji imaju mali viskozitet pri visokim brzinama smicanja pokazuju $G' > G''$, onda oni grade gel strukturu, određeni stabilan oblik,
- sistem se svrstava u tečnosti ako je $G'' > G'$, jer kod ovih sistema dominiraju viskozne osobine nad elastičnim. Ovi sistemi ne zadržavaju stabilnu strukturu, postaju tečljivi i zbog toga pokazuju nizak viskozitet.

3.2.1. REOLOGIJA TESTA

Već krajem devetnaestog veka, pekari, cerealisti i prerađivači žita su pokazali veliko interesovanje za definisanje i merenje osnovnih fizičkih osobina pšeničnog testa. Ispitivanja su bila fokusirana na merenje konzistencije, odnosno na merenje reoloških osobina testa. Reologija, kao naučna disciplina koja proučava elastične deformacije i viskozitet, pruža neophodne informacije koje omogućavaju kontrolu sirovina i tehnološkog procesa u zavisnosti od kvaliteta gotovog proizvoda. U prošlom veku konstruisani su uređaji koji su počeli da se proizvode za merenje reoloških osobina testa (*Faridi and Faubion, 1986*).

U pekarskoj proizvodnji, u svakoj fazi proizvodnog procesa, testo je izloženo nekom vidu deformacije. Tokom mešenja, testo je izloženo ekstremnim deformacijama koje prelaze granične vrednosti izdržljivosti i dolazi do kidanja. Tokom fermentacije testa u masi, deformacije su mnogo manje, tokom istanjivanja i oblikovanja testa nivo deformacija po intenzitetu je negde između gore pomenutih vrednosti, a tokom završne fermentacije i pečenja testo je izloženo dodatnim deformacijama. Primena reoloških merenja neophodna je za definisanje međuzavisnosti sastojaka brašna, dodataka, parametara proizvodnje i osobina gotovog proizvoda (*Faridi, 1987*).

Automatizovan i kompjuterizovan savremeni tehnološki postupak proizvodnje hleba je aktuelizovao praćenje reoloških osobina testa. Praktično sve faze tehnološkog procesa proizvodnje hleba su osavremenjene kada je ocena konzistencije testa postala dovoljno brza, kvantitativno merljiva i precizna (*Faridi and Faubion, 1986*).

Za razumevanje reologije neophodno je upoznati se s osnovnom terminologijom:

Deformacija materijala je posledica delovanja sile.

Napon (stres) je stanje tela na koje deluje sila i definiše se kao delovanje sile po jedinici površine. U stanju napona telo se deformiše, odnosno isteže ili sabija. Promena dimenzije u odnosu na početno stanje naziva se relativna deformacija.

Viskozitet fluida predstavlja unutrašnji otpor koji se protivi uzajamnom pomeranju susednih slojeva i proticanju tečnosti pod dejstvom sile.

Dinamički viskozitet - η definiše se kao tangencijalna sila koja deluje na jediničnu površinu jedne od dve paralelne ploče na jediničnom rastojanju kada je zapremina između ploča ispunjena fluidom i kada se jedna ploča pomera jediničnom brzinom u odnosu na drugu ploču (*Faridii, 1987*).

Deformacije mogu biti plastične i elastične. Ako deformacija tela pod dejstvom sile dostigne određeni nivo, a telo se nakon prestanka delovanja sile vrati u prvobitan položaj u pitanju je elastična deformacija. Deformacija tela koja ostaje nakon prestanka delovanja sile je plastična deformacija (*Fariii, 1987*).

Deformacije realnih reoloških sistema ne mogu se posmatrati ni kao deformacije idealno čvrstih tela ni kao deformacije idealno tečnih tela već kao kombinacije ova dva ponašanja. Testo, kao realan reološki sistem, pokazuje i osobine tečnosti i osobine čvrstih tela, te predstavlja *viskoelastičan sistem* (www.iq.usp.br).

U realnim reološkim sistemima pod dejstvom sile dolazi do stuktturnih promena koje utiču na unutrašnju građu, a time i na unutrašnji otpor sistema i prouzrokuju deformacije koje mogu biti u manjem ili većem stepenu povratne. Uzrok relaksacije je unutrašnje razmeštanje umreženih linearnih makromolekula, usled raskidanja bočnih veza pod dejstvom sile. Oslobođeni delovi makromolekula stvaraju nove veze koje su oslobođene dejstva sile (www.iq.usp.br) i vraćanje u prvobitni oblik je nepotpuno, a za to je potrebno kraće ili duže vreme i protiče izvesnom brzinom. Kod ovih sistema vreme deformacije igra značajnu ulogu i može biti merilo neidealnosti viskoelastičnih sistema (*Bloksma and Bushuk, 1988*).

Testo kao fluid: testo se ponaša, delimično, kao fluid velikog viskoziteta. Ukoliko je viskozitet ili konzistencija testa veća, utoliko ono sporije teži da protiče i obrnuto (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Testo kao plastično telo: supstance koje pokazuju osobine fluida i čvrstih tela zovu se plastične supstance, a početna sila potrebna za iniciranje toka zove se kritična vrednost.

U izvesnom smislu testo se ponaša kao plastična materija, čija kritična vrednost može da se izmeri. Za vreme zamesa testa, deljenja ili istanjivanja, primenjene sile su

velike i kritična vrednost je od manjeg značaja. Kada se posmatra testo u kalupima, ono je izloženo delovanju sopstvene mase i blagim deformacijama i u ovim uslovima kritična vrednost može igrati značajnu ulogu (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Testo kao elastičan materijal: u reološkom modelu osobina elastičnosti predstavljena je oprugom. Viskozne i elastične sile deluju u suprotnim smerovima. Pokretljivost kod testa veoma velikog viskoziteta dozvoljava mu da zauzme oblik suda u kome se nalazi. Elastičnost oblikovanog komada testa teži da uspori i spreči zauzimanje oblika u koji je testo postavljeno. Optimalan odnos između viskoznih i elastičnih osobina testa je neophodan za dobijanje dobro oblikovanog testa, odnosno, hleba (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Reološke osobine testa: reološke osobine pšeničnog testa zavise od sastojaka brašna. Presudan uticaj na reologiju i na kvalitet gotovog proizvoda ima sadržaj i kvalitet proteina. Prilikom zamesa testa dolazi do intenzivnog upijanja vode, hidratacije i razdvajanja polipeptidnih lanaca. Makromolekulski agregati proteina ograničeno bubre i poprimaju plastično-elastične osobine. Zahvaljujući sposobnosti međusobnog umrežavanja, agregati proteina tokom zamesa obrazuju neprekidnu prostornu makromolekulsku mrežu koja se naziva *gluten*. U ovoj makromolekulskoj mreži molekuli vode delimično su vezani za polarne grupe, a delimično su mehanički uklopljeni. Zahvaljujući formiranju glutena, testo poseduje osobine kao što su: elastičnost, rastegljivost, otpor na rastezanje i sposobnost zadržavanja gasa (*Pylar, 1988*; *Auerman, 1988*).

Intermolekularne i intramolekularne veze između proteinskih lanaca glutena kao i između glutena i neproteinskih sastojaka utiču na reološke osobine testa. Za reološke osobine najvažniju ulogu imaju vodonične i kovalentne -S-S- veze. Što je više ovakvih međumolekulskih bočnih veza, testo je manje rastegljivo i čvršće. Raskidanje međumolekulskih -S-S- veza dovodi do omekšavanja testa (*Faridi, 1987*).

U testu mogu da budu prisutne i veze između molekula koje su ostvarene preko slobodnih nepolarnih bočnih grupa. Sa povećanjem udela nepolarnih veza između

molekula, povećava se plastičnost, a smanjuje mu se čvrstoća testa. Na ovaj način lipidi vezani za proteine utiču na reološke osobine testa (*Pylar, 1988*).

Reološke osobine testa zavise od količine proteina u brašnu. Eksperimentalno je pokazano da se moć upijanja vode, vreme razvoja testa i stabilnost testa, mereni farinografski, te otpor i rastegljivost testa, mereni ekstenzografski, povećavaju sa povećanjem sadržaja proteina u brašnu (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Osobine proteina utiču na sposobnost testa da zadržava gas. Zapremina hleba će biti veća, a pore finije, ukoliko testo pokazuje sposobnost da u toku obrade zadrži što više gasa. Zadržavanje gasa unutar mase testa omogućeno je stvaranjem elastično-rastegljivog matriksa glutena (*Pylar, 1988*).

Količina vode za zames utiče na reološke osobine testa. Moć upijanja vode zavisi, u prvom redu, od količine i kvaliteta proteina brašna, ali i od količine pentozana i oštećenog skroba. Kuhinjska so utiče na osobine testa. Prisustvo soli smanjuje konzistenciju i lepljivost testa, produžava razvoj i povećava otpor. Sve sirovine koje se u manjoj ili većoj količini dodaju u testo imaju uticaj na njegove reološke osobine (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Na reološke osobine testa veoma velik uticaj ima mehanički rad. Mehanički rad se najvećim delom u testo unosi mešenjem. Značaj mešenja je dvojak: služi za homogenizovanje svih sastojaka - brašna, vode, soli, kvasca i drugih dodataka, u cilju postizanja njihove ujednačene raspodele u testu i služi za razvoj glutena u kontinualnu fazu testa. Na taj način struktura testa dobija svojstvo zadržavanja gasova, što predstavlja tipičnu osobinu kvasnog hleba (*Pylar, 1988*).

Reološke osobine testa se menjaju u zavisnosti od količine, načina i intenziteta mešenja. U početnoj fazi mešenja konzistencija se povećava i dostiže maksimum sa povoljnim odnosom između viskoznih i elastičnih osobina. U krajnjoj fazi konzistencija testa se smanjuje, a osobine tečljivosti sve više dolaze do izražaja (*Bloksma, Bushuk, 1988*).

Uopšte, važi mišljenje da reološke osobine testa veoma značajno utiču na kvalitet gotovog proizvoda. Za ispitivanje reoloških osobina testa mogu se koristiti osnovna

reološka merenja kao što su: merenje smicanja i istezanja, gde se dobijaju podaci o elastičnim i viskoznim deformacijama. Ipak, najčešće se koriste empirijska merenja na uređajima kao što su: Brabenderov farinograf, ekstenzograf, amilograf i maturograf, a dobijeni parametri koriste za predviđanje kvaliteta gotovih proizvoda (*Blokma, Bushuk, 1988*).

Određivanje kvaliteta brašna *farinografom* zasniva se na registrovanju promena fizičkih osobina testa u toku određenog vremena mešenja. Aparat je konstruisan tako da preko dinamometra meri snagu koja je potrebna za kretanje dve lopatice z-mesilice kroz testo, odnosno meri se otpor koji testo pruža gnječenju, pri čemu se registruje kriva - farinogram. Na osnovu moći upijanja vode određuje se količina vode za zames hlebnog testa, a na osnovu drugih farinografskih pokazatelje može se pretpostaviti ponašanje testau proizvodnji. Ovom metodom se prati uticaj dodataka i pomoćnih sirovina na reološke osobine testa (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

Ekstenzografom se ispituju fizičke osobine testa i reakcije testa na odmaranje i mehaničku obradu, odnosno mere se rastegljivost, otpor pri rastezanju i energija utrošena na rastezanje. Primenom sile konstantne veličine pri istoj brzini i smeru dejstva, testo se deformiše preko granice rastegljivosti i kida se. Otpor koji testo pruža dejstvu sile, registruje se u vidu krive-ekstenzograma. Ovim metodom prate se promene fizičkih osobina testa u određenom vremenskom intervalu, odnosno određuje se kvalitet glutena, aktivnost proteolitičkih enzima i oštećenost glutena. Ekstenzografskim pokazateljima se najbolje može utvrditi dejstvo raznih dodataka. Takođe je moguće utvrditi optimalnu količinu ovih dodataka (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

Amilografom se dobijaju podaci o toku klajsterizacije skroba, kontinualnim merenjem viskoziteta suspenzije brašna pri zagrevanju. Iz dobijene krive – amilograma, mogu da se odrede maksimalni viskozitet, tok i stabilnost klajsterizacije koji ukazuju na aktivnost α -amilaze u brašnu (*Pylar, 1988*).

Maturografom se prati tok završne fermentacije. Sa krive-maturograma određuju se elastičnost i otpor testa, sposobnost razvijanja i zadržavanja gasa, vreme trajanja završne fermentacije i tolerancija fermentacije. Ovim metodom može se utvrditi delovanje dodataka na završnu fermentaciju (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

Promenom reoloških osobina može se pratiti uticaj dodataka i predvideti ponašanje testa tokom obrade, što je naročito važno kada dodaci ometaju prostornu strukturu glutena, kao što su prehrambena vlakna koja se sada sve više koriste za izradu pekarskih proizvoda sa osobinama funkcionalne hrane.

3.3.0. ZAMRZNUTI PEKARSKI PROIZVODI U ISHRANI

Dnevne energetske potrebe, najveći deo svetskog stanovništva zadovoljava prvenstveno ugljenim hidratima, nezavisno od etničke i verske pripadnosti, a razlike postoje u količini i tipu konzumiranih ugljenih hidrata. Najčešće su to žita, ali u zavisnosti od postupka prerade i načina potrošnje, za svaku od osnovnih vrsta žita razlikuju se načini konzumiranja, tabela 2.1 (*Berghöfer, 2000; 2002*):

Tabela 3.1.1 Upotreba žita u ljudskoj ishrani u zavisnosti od postupka prerade (*Berghöfer, 2000*):

Prekrupa ili ljuštena žita	pšenica (Istočna Azija) ljuštena pšenica i ječam (Azija)
Kaše	kaša od sirka i prosa (Afrika) kaša od kukuruza – palenta (Evropa)
Nefermetisani hleb	od pšenice (Bliski Istok, Severna Afrika) od kukuruza – tortilje (Srednja Južna Amerika) vaflji, ekstrudirani proizvodi (Evropa, Severna Amerika)
Fermentisani hleb	pšenični hleb (Egipat, Evropa, Kina, Indija) ražani hleb (Evropa) mešane vrste hleba (Evropa, Severna Amerika)

Svež hleb dobrog kvaliteta se odlikuje izrazito rumenom i hrskavom korom, prijatnom aromom pečenja, dobrim karakteristikama pri sečenju, mekom i elastičnom teksturom sredine i svojstvenim ukusom. Kvalitet pekarskih proizvoda mnogo zavisi od vremena koje protekne između pečenja i konzumiranja (*Bárcenas et al., 2003*). Tokom čuvanja hleba na sobnoj temperaturi, hrskava kora svežeg hleba postaje vlažna i žilava dok, meka sredina postaje suva i tvrda. Pored navedenog, gubi se i aroma svežeg proizvoda. Sve fizičke i hemijske promene tokom skladištenja hleba nazivaju se "starenje hleba". Da bi svakodnevno obezbedili potrošačima svež hleb, pekarska industrija je oduvek radila noću ili u ranim jutarnjim časovima. Brz transport svežih pekarskih

proizvoda od velikih automatizovanih pekara do potrošača je još jedan od postojećih problema (*Sharadanant and Khan, 2003a, 2003b*). Zamznuti, oblikovani testani komadi od kojih se lako i relativno brzo mogu dobiti sveži krajnji proizvodi su predloženi kao rešenje za postojeće probleme tradicionalnog pekarstva (*Bárcenas et al., 2003*).

Neke od prednosti procesa proizvodnje hleba od zamrznutog testa su:

- značajno poboljšani radni uslovi i smanjeni troškovi proizvodnje deljenjem dugog procesa proizvodnje hleba na dva procesa,
- stalna mogućnost snabdevanjem potrošača svežim hlebom,
- gubici usled bacanja viška starog hleba su smanjeni na minimum (*Naito et al., 2004*),
- duga trajnost tih proizvoda omogućava njihovu masovnu proizvodnju na jednom mestu uz pozitivne ekonomske efekte i olakšanu distribuciju (*Gugerli et al., 2004*).

Sirovine i sami uslovi tokom vođenja procesa kod proizvodnje zamrznutih pekarskih proizvoda imaju mnogo veći uticaj na kvalitet krajnjeg proizvoda nego kod tradicionalnog postupka (*Ribottaet et al., 2003*).

Pored značajnih prednosti, postupak proizvodnje hleba od zamrznutog testa ima i poteškoće i nedostatke kao što variranje osobina proizvoda vezano za dužinu i uslove zamrzavanja, su kao i višestruko zamrzavanje/odmrzavanje tokom transporta itd. (*Sharadanant and Khan, 2003a; 2003b*).

3.3.1. REOLOŠKE OSOBINE ZAMRZNUTOG TESTA

Hlebna testa koja se koriste u zamrznutom stanju po sirovinskom sastavu i načinu proizvodnje su u suštini sličana proizvodima od svežeg testa. Tokom pripreme zamrznutog testa, faza mešenja, zajedno sa narednim fazama mehaničke obrade testa (deljenje, zaokrugljivanje, stanjivanje i oblikovanje) su posebno važne, zato što tokom ovih faza dolazi do formiranja i modifikovanja glutena. Za razliku od klasičnog procesa pripreme hlebnog testa, u procesu pripreme zamrznutog testa, nakon što su testani

komadi zamrznuti, nema mogućnosti naknadne korekcije grešaka u reologiji, narednim mehaničkim doradama. Hlebna testa koja se zamrzavaju, moraju imati optimalne reološke osobine, kao što su jačina i rastegljivost testa i moraju imati u potpunosti razvijen gluten, jer ovi faktori utiču na završnu fermentaciju testa i na kvalitetne karakteristike gotovog proizvoda (*Kulp, 1995; Jinhee et al. 2009*).

Da bi pekarski proizvodi proizvedeni od zamrzavanog testa imali slične osobine kao proizvodi od svežeg testa, mora se obratiti pažnja na sledeće parametare:

- Fermentativna aktivnost pekarskog kvasca se smanjuje, što dovodi do sledećih posledica:
 - produženo vreme fermentacije,
 - smanjenje zapremine proizvoda,
 - lošija struktura sredine proizvoda, što se ogleda u finoći struktura pora, teksturi sredine i spoljašnjem izgledu hleba (*Ribotta i sar., 2003; Brennan and Tudorica 200; Jinhee et al. 2009*),
- Pogoršanje reoloških osobina testa (*Kulp, 1995; Takano et al., 2002*), posledica je ispuštanja redukujućih jedinjenja, najviše glutaciona, iz ćelija kvasca koje slabe glutensku mrežu raskidajući disulfidne mostove u polimerima proteina. Ovi negativni efekti se odražavaju na reologiju testa tako što dolazi do: skraćanja vremena mešenja i povećanje rastegljivosti testa (*Kulp, 1995*).
- Oštećenje mreže glutena, usled zamrzavanja (*Gugerli et al., 2004*) je posledica mehaničkog raskidanja glutenskih veza kristalima leda, koja može dovesti do sledećih poteškoća.
 - odmrznuto testo je lepljivo i teško za obradu,
 - zapremina hleba je smanjena, smanjena je sposobnost zadržavanja CO₂,
 - sredina gotovog proizvoda je loše strukture itd. (*Ribotta et al., 2003; Brennan and Tudorica, 2008; Jinhee et al. 2009*).

U cilju dobijanja stabilnog testa koje se koristiti pri zamrzavanju, primenjuju se sledeće tehnološke mere:

- smanjuje se količina vode za zames,

- smanjuje se temperatura umešenog testa,
- povećava se nivo šorteninga u sirovinskom sastavu,
- povećava se količina kvasaca,
- povećava se sadržaj površinski aktivnih materija,
- primenjuje se direktan postupak sa kratkim vremenom pečenja,
- testo se zamrzava odmah nakon mešenja,
- ambalaža za pakovanje zamrznutog testa je nepropustljiva za vlagu i kiseonik,
- temperatura zamrzivača -23°C

Potrebno je voditi računa o navedenim faktorima da ne bi došlo do destabilizacije tj. slabljenja testa i inaktivacije kvasca, što uslovljava malu zapreminu hleba, grube strukture, kao i dugu završnu fermentaciju (*De Stefanis, 1995*).

3.3.2. SNIŽAVANJE TEMPERATURE I ZAMRZAVANJE

Zamrzavanje utiče kako na osobine testa, tako i na aktivnost kvasca u testu. Tokom zamrzavanja testa neophodno je očuvati funkcionalnost glutenskog matriksa, tj. gluten mora zadržati svoja reološka svojstva. Njegova fiziko-hemijska svojstva bi trebalo da ostanu neizmenjena, tako da se zamrznuti gluten može povratiti u svoje originalno stanje, od pre zamrzavanja. To zahteva minimalna oštećenja nastala hemijskim reakcijama i fizičkim oštećenjima od leda tokom zamrzavanja i čuvanja u zamrznutom stanju kao i rehidraciju iz zamrznutog stanja tokom odmrzavanja. Na efekte zamrzavanja testa, pored slobodne vode, značajan uticaj ima i deo vezane vode za proteine, ugljene hidrate i pentozane (*Kulp, 199; Brennan and Tudorica 2008*).

Giannou i sar. (2004) navode da kvalitet zamrznutog proizvoda u manjoj meri zavisi od uslova zamrzavanja ali znatan uticaj ima variranje temperature tokom čuvanja. Međutim noviji radovi su nedvosmisleno pokazali da kod hleba dobijenog od zamrznutog testa, u odnosu na nezamrzavano, postoji razlika u strukturi testa. Registrovano je oštećenje glutenskog matriksa kristalima leda, zatim promena želatinizacije i retrogradacije skroba, pri čemu ove pojave utiču na pokazatelje kvaliteta

proizvoda, kao što su dobra zapremina i oblik hleba, izgled sredine i brzina procesa starenja hleba (*Naito et al 2004, Jinhee et al. 2009*).

Nemeth i dr. (1996) smatraju da je oštećenje proteinskog matriksa, a time i pogoršanje kvaliteta gotovog proizvoda direktno srazmerno produženju vremena čuvanja u zamrznutom stanju. Zamrzavanjem kvasnog testa voda se potpuno ili delimično pretvara u led usled odvođenja toplote pri snižavanju temperature ispod tačke mržnjenja. Pretvaranje vode u led izaziva složene fizičke i fizičko-hemijske promene, koje mogu da prouzrokuju pogoršanje kvaliteta, naročito ako postupak pripreme i zamrzavanja testanih komada nije odgovarajući ili pak uslovi čuvanja nisu optimalni (*Wagner, 1999*).

Sniženje temperature zahteva odvođenje osetne toplote, a za promenu agregatnog stanja vode, iz tečnog u čvrsto, potrebno je znatno veće odvođenje toplote, poznate kao latentna, bez promene temperature (*Vujić, 1983; Singh and Heldman, 1995*).

Pri intenzivnom odvođenju toplote, temperatura na površini testa se ravnomerno snižava, dok je u unutrašnjosti, usled zamrzavanja vode, pad temperature znatno sporiji. Kad je osnovni deo vode u centru testa pretvoren u led, snižavanje temperature se ubrzava. U centru testanog komada temperatura izvesno vreme ostaje konstantna kad je dostigla tačku mržnjenja i to u uslovima kad je hlađenje završeno, a zamrzavanje vode još nije počelo (*Kremić, 1989*).

U toku zamrzavanja granica između zamrznutog i nezamrznutog dela kreće se od površine prema centru proizvoda. Kad granica podele dospe do centra testa i u njemu počne obrazovanje leda, tada su i unutrašnja razmena toplote i izjednačavanje temperature u celom proizvodu relativno brzi, jer je pojačana njegova temperaturna provodljivost, a i odavanje temperature sa površine je malo (*Kremić, 1989*).

Parametri koji određuju uslove zamrzavanja testa su (*Brak, Hanneforth, 1991*):

- vreme ili brzina zamrzavanja,
- temperatura zamrzavanja,
- temperatura čuvanja i
- vreme čuvanja u zamrznutom stanju.

Za kvalitet zamrznutog kvasnog testa od najvećeg značaja je brzina zamrzavanja tj. temperatura pri kojoj se testo zamrzava (vreme zamrzavanja). Pod brzinom zamrzavanja podrazumeva se brzina prodiranja granice podele od površine prema unutrašnjosti zamrznutog proizvoda (*Kremić 1989; Kulp 1995*).

Brzina (vreme) zamrzavanja u tom kontekstu podrazumeva vremenski period u kome se temperatura izmerena u unutrašnjosti komada testa sa $+10^{\circ}\text{C}$ spusti na -10°C (*Brak, Hanneforth, 1991*). Brzina zamrzavanja zavisi od sledećih faktora: opterećenja prostora za zamrzavanje, veličine komada testa, temperature testa, sirovinskih sastava itd. Što je veće opterećenje prostora za zamrzavanje, to je manja brzina zamrzavanja (*Brak, Hanneforth, 1991*). U cilju usklađivanja brzine zamrzavanja mogu se menjati: temperatura zamrzavanja, brzina ventilatora (delimično) i početna temperatura komada testa (*Brak, Hanneforth, 1991*).

Brzina zamrzavanja ima najveću vrednost u početku procesa, i to na površini testa, a smanjuje se pomeranjem granice podele unutar proizvoda, ukoliko je konstantna temperatura rashladnog medijuma i koeficijenta razmene toplote unutar testa koje se zamrzava (*Kremić, 1989*).

Petrović (1987) navodi da je brzo zamrzavanje ono pri kom je prosečna brzina zamrzavanja između 0,5 i 3 cm/h. Brzina zamrzavanja se pri tome određuje kao odnos minimalnog odstojanja površine i termalnog centra zamrznutog komada i vremena od momenta kada je na površini 0°C do momenta postizanja -10°C u termalnom centru (*Petrović, 1987*).

Temperatura testa koje se zamrzava ostaje relativno konstantna sve dok se ne zamrzne njegov najveći deo, a nakon toga se temperatura testa približava temperaturi prostora u kome se testo zamrzava. Brzo zamrzavanje definisali su istraživači koji priznaju teoriju brze kristalizacije kao proces u kom testo prolazi kroz zonu maksimalnog stvaranja kristala leda (0°C do -3°C) za 30 i manje minuta. Osnovni princip svih postupaka brzog zamrzavanja je brzo uklanjanje toplote iz testa (*Petrović, 1987*).

Brzina zamrzavanja testa deluje na strukturu ćelije kvasca i na udeo živih ćelija kvasca. U literaturi se mogu naći veoma različita mišljenja o tim uslovima. Kod nekih

autora se preporučuje brzo, a kod drugih sporo zamrzavanje testa (*Brümmer, Morgenstern, 1990*).

3.3.2.1. Uloga pekarskog kvasca

Poznato je da zamrzavanje dovodi do smanjenja broja živih ćelija *Saccharomyces cerevisiae*, a u kojoj meri će ćelije preživeti zavisi od većeg broja faktora (*Janković i sar. 1999*), među kojima su:

- fiziološko stanje,
- faza rasta *Saccharomyces cerevisiae*,
- sastav hranljive podloge (sastav testa) na kojoj raste mikroorganizam i
- brzina zamrzavanja.

Na osnovu proučavanja osobina kvasnih ćelija sa poboljšanom otpornošću na zamrzavanje pronađena je veza između otpornosti na zamrzavanje i sastava ćelija kao što su: sadržaj trehaloze, sadržaj amino-kiselina, sadržaj lipida u ćelijskoj membrani, nivo termorezistentnih proteina, respiratorni kapacitet ćelije (*Tanghe et al., 2002*).

Tokom snižavanja temperature i zamrzavanja dolazi do promena kako oko ćelije, tako i u samoj ćeliji kvasca. Za ponašanje kvasca pri zamrzavanju vrlo je značajan odnos sadržaja vode unutar i izvan ćelije. Prosečan sadržaj vanćelijske vode je oko 20%, a ćelijske oko 50% (*Kulp, 1995; Janković i sar. 1999*). Niske temperature i formiranje leda su često škodljivi za ćelijske membrane, što se pokazuje posle odmrzavanja, kada se gubi osmotska celovitost i turgor (osmotska pogonska sila, osmotski pritisak). U slučaju brzog zamrzavanja, formiranje leda unutar ćelija može da izazove oštećenja na ćelijskoj strukturi i proizvede enzimske reakcije koje rezultuju stvaranjem izmenjenog ukusa i mirisa (*Kulp, 1995*).

U procesu proizvodnje kvasnog testa razlikuju se tri osnovna načina zamrzavanja:

- **Prekid fermentacije** - Pri zamrzavanju komada testa temperatura proizvoda se snižava toliko da više ne dolazi do aktivnosti kvasca, što znači da dolazi do prekida fermentacije.

- **Usporavanje fermentacije** - Pri hlađenju komada testa usporeno se odvijaju biohemijske reakcije u sistemu i tako dolazi do usporavanja aktivnosti kvasca. Temperatura usporavanja fermentacije u praksi obično iznosi od -2 °C do +8 °C.
- **Šok zamrzavanje** - Šok zamrzavanje podrazumeva brzo zamrzavanje prethodno fermentisanog testa ili pečenih proizvoda.

Prvi problem koji treba ukloniti u vezi sa zamrznutim kvasnim testom je umanjena fermentativna sposobnost kvasca posle skladištenja kvasnog testa u zamrznutom stanju, kao i mogući efekti zamrzavanja i odmrzavanja i njihovi uticaji na sposobnost kvasca da fermentira. Često se u takvom testu povećava sadržaj kvasca u odnosu na konvencionalni postupak, da bi se time nadoknadio gubitak aktivnosti kvasca (*Giannou, 2003*). To je samo delimično rešenje, jer velika količina kvasca utiče na:

- osobine glutena,
- količinu oslobođenih redukujućih supstanci iz uginulih ćelija kvasca,
- ukus testa,
- povećanja troškova proizvodnje.

3.4.0. PREHRAMBENA VLAKNA

Prehrambena vlakna se najčešće definišu kao “ostaci jestivih delova biljaka, biljni ekstrakti ili njihovi sintetski analozi koji ne podležu dejstvu enzima u tankom crevu i ne apsorbuju se u tankom crevu, a delimično ili potpuno podležu fermentaciji u debelom crevu” (*Prosky, 2001*). Komponente obuhvaćene ovom definicijom su celuloza, hemiceluloza, lignin, gume, modifikovana celuloza, sluzi, oligosaharidi, polisaharidi, inulin, pektini, voskovi, kutin i suberin (*Guillon i sar., 2000*).

U novijoj literaturi izraz “prehrambena vlakna” osim biljnih vlakana obuhvataju i vlakna animalnog porekla, odnosno hitozane dobijene iz hitina, sastojka skeleta ljuskara, lignji i insekata (*Borderías i sar., 2005*). Hitozan je aminopolisaharid, po hemijskoj strukturi sličan celulozi (*Jeon i sar., 2002*).

Već duže vreme nutricionisti ističu važnost prehrambenih vlakana u održavanju zdravlja populacije u celini. Poslednjih dvadeset godina u pekarskoj industriji je plasiran veliki broj prehrambenih vlakana različitog porekla, posebno u proizvodnji hleba i peciva (*Stauffer, 1993*). Kada se u SAD deklariraju uzorci, energija nerastvorljivih prehrambenih vlakana se računa kao 0, a energija rastvorljivih vlakana se računa kao 17 J po gramu. U proizvodima sa visokim sadržajem prehrambenih vlakana ili proizvodima smanjene energije u sirovinskom sastavu deo brašna se zamenjuje sirovinama koje su bogate vlaknima. Zamena može biti od svega nekoliko procenata do 20 [%] kada su u pitanju proizvodi smanjene energetske vrednosti (*Nelson, 2001; Marquart i sar. 2004*).

Pekarski proizvodima obogaćeni prehrambenim vlaknima produžavaju osećaj sitosti kod potrošača i produžavaju svežinu gotovog proizvoda. U sirovinskom sastavu moguće je smanjiti sadržaj masti i time uticati na energetska vrednost hrane, odnosno dobiti dijetetski proizvod. Poželjno je da dobijeni proizvodi nemaju izmenjena senzorna svojstva, u prvom redu izgled i miris/ukus (*Seibel, 2001*). Danas se u hleb dodaje i inulin dobijen iz biljaka grupe cikorija, kao i rezistentni skrob koji nastaje preradom sirovina bogatih skrobom (*Berghöfer, 2000; 2002*). Na ovaj način, hrana obogaćena vlaknima čini finalni proizvod funkcionalnim (*Seibel, 2001*). Pod funkcionalnom hranom se

podrazumevaju namirnice koje pored svojih nutritivnih i senzornih osobina, pozitivno utiču na pojedine funkcije organizma jer sadrže bioaktivne komponente i poboljšavaju fizičko i psihičko stanje čoveka i dobijaju se od supstanci koje se nalaze u prirodi (*Seibel, 2001*).

3.4.1. INULIN

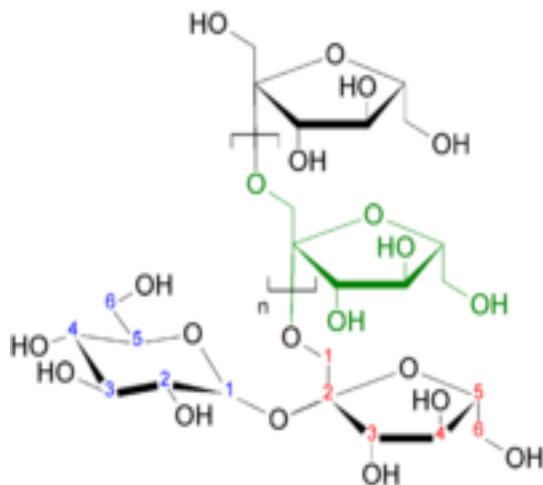
Pored klasičnih prehrambenih vlakana iz samog zrna žita, danas se u hleb dodaju i vlakna iz drugih biljnih izvora, kao što su vlakna šećerne repe, inulin, polidekstroza i rezistentni škrob. Pomenute materije se u organima za varenje ponašaju slično prehrambenim vlaknima, pa se u sve većoj meri reklamiraju kao „prebiotičke supstance“, a budući da ne sadrže metaboličku energiju koriste se i za smanjenje energetske sadržaja namirnica (*Berghöfer, 2002*).

Inulin ili oligofruktoza predstavlja prirodna prehrambena vlakna izolovana iz raznih biljaka. Kao što su: koren čičoke, maslačak, crni i beli luk, artičoke, banane, aloja (*Niness, 1999*).

Inulin je linearan lanac sastavljen od 2 do 60 fruktoznih jedinica povezanih β (2-1) vezama sa krajnjom glukoznom jedinicom. Oligofruktoza je, takođe, polifruktan čiji se lanac sastoji od 2 do 10 fruktoznih jedinica, slika 3.1.2.

Razlika u dužini lanaca između inulina i oligofruktoze uslovljava njihova različita funkcionalna svojstva. Inulin je, zbog dužih lanaca, manje rastvorljiv od oligofruktoze i ima sposobnost formiranja mikrokristala u vodi i mleku. Ovi kristali se ne osećaju u ustima, ali daju glatku, kremastu teksturu i zbog toga se uspešno koriste kao zamena za masti kod raznih proizvoda kao što su: namazi, filovi, smrznuti deserti i prelive. Oligofruktoza zbog svojih kraćih lanaca poseduje karakteristike slične šećeru ili glukoznom sirupu, rastvorljivija je od saharoze, a stepen slatkoće je 30-50% u odnosu na saharozu. Oligofruktoza obezbeđuje gustinu mlečnim proizvodima, nežnu strukturu pekarskim proizvodima i hrskavost keksu. Često se koristi u kombinaciji sa zaslađivačima

kao što su aspartam i acesulfam k, pri čemu se dobija proizvod sa dobro izbalansiranim slatkim ukusom (Wiedmann, Jager, 1997).



Slika 3.1.2- Hemijska formula inulina (www.wikipedia.htm)

Inulin i oligofruktoza koriste se kao zamena za šećer ili mast i smanjuju energetska vrednost proizvoda. U ljudskom organizmu su nesvarljivi, usled postojanja $\beta(2-1)$ veza, i imaju ulogu prehrambenih vlakana. U debelom crevu ih metabolizuju bifido-bakterije, što stimulatивно deluje na uspostavljanje ravnoteže unutar zdrave crevne mikroflore (Seibel, 2001). Energija koja proizilazi iz fermentacije je većim delom rezultat stvaranja laktata i masnih kiselina kratkih lanaca, koje se metaboliziraju i daju oko 6,3 KJ/g korisne energije. Masne kiseline kratkih lanaca – SCFA (Short-Chain Fatty Acids), koje su produkt fermentacije, utiču na rast crevnog epitela, jednim delom su izvor energije, a drugim stimulišu određene hormone rasta. Povećana gustina crevnog zida smanjuje rizik od translokacije bakterija. SCFA stimulišu apsorpciju vode i elektrolita što je važno za pacijente koji pate od akutene dijareje.

Konzumiranjem inulina i oligofruktoze povećava se masa fecesa i normalizuje učestalost pražnjenja i smanjuje se nivo triglicerida i holesterola u krvi. Istraživanjima je utvrđeno da inulin i oligofruktoza nemaju uticaja na nivo šećera u krvi i ne podstiču sekreciju insulina što ih čini veoma pogodnim u proizvodnji hrane za dijabetičare. Inulin i oligofruktoza povećavaju apsorpciju kalcijuma, magnezijuma i gvožđa, kao i sakupljanje

minerala u kostima, te time pomažu u prevenciji osteoporoze kod starijih osoba (*Niness, 1999*).

Zahvaljujući navedenim pozitivnim efektima na ljudsko zdravlje, inulin je našao veliku primenu u izradi funkcionalnih proizvoda, naročito mlečnih proizvoda.

U literaturi ne postoji mnogo studija o uticaju inulina na hlebno testo. Inulin se u hlebno testo dodaje kao zamena dela brašna i pri tome modifikuje reološke osobine i utiče na kvalitet gotovog proizvoda. Najuočljiviji efekat na kvalitet hleba je smanjenje zapremine, grublje pore, promena ukusa i tamnija boja sredine u nekim slučajevima (*Knuckles i sar; 1997*).

3.4.2. UTICAJ PREHRAMBENIH VLAKANA U HLEBU

Svaka sirovina bogata prehrambenim vlaknima utiče na proces proizvodnje hleba na različit način. Dodata voda hidratiše sastojke, obrazuje se glutenski matriks i razvija se testo, vodu vezuju i vlakna i ona se uklapaju u prostornu strukturu glutena (*Stauffer, 1993; Nelson, 2001; Marquart, i sar. 2004*).

Reološki pokazatelji. Farinografskim merenjima utvrđeno je da dodatak Fibrexa utiče na povećanje moći upijanja vode, a intenzitet ovog uticaja zavisi od količine vlakana dodatih u testo. Sa povećanjem udela vlakana povećava se količina vezane vode i neophodno je produžiti zames testa kako bi se adekvatno hidratizirali gluten i vlakna (*Filipović i sar., 2001*). Za razliku od drugih prehrambenih vlakana dodatak inulina smanjuje moć upijanja vode brašna. Inulin nema uticaja na vreme razvoja testa što znači da ne ometa razvoj glutenske mreže, ali povećava stabilitet i smanjuje stepen omekšanja i elastičnost, što ukazuje na povećanje jačine glutena. Ovakvi rezultati su, verovatno, posledica interakcija između glutena i inulina (*Wang et al., 2002*). Alveografskim merenjima je utvrđeno da dodatak inulina povećava energiju deformacije i otpor na rastezanje što ukazuje na dobru obradivost testa tokom procesa proizvodnje.

Maturografski pokazatelji ukazuju da dodatak inulina skraćuje vreme završne fermentacije i povećava stabilitet fermentacije (*Wang et al., 2002*).

Dužina zamesa testa. Dodatak prehrambenih vlakana sirovinama za zames hlebnog testa zahteva produžetak faze mešenja. Produženje je neophodno da bi se omogućila potpuna hidratacija testa i da se obrazuje gluten. Obrazovanje glutenskog matriksa je otežano, jer molekuli prehrambenih vlakana ometaju lance proteina da dođu u kontakt i da formiraju gluten. Bolji rezultati se mogu postići kada se prehrambena vlakna ugrađuju u testo od brašna sa visokim sadržajem proteina (visokoproteinsko brašno). Kada se veća količina vlakana ugrađuje u testo neophodan je pravilno obrazovan glutenski matriks. (*Stauffer, 1993; Nelson, 2001.*). Dodaci sa visokim sadržajem prehrambenih vlakana uglavnom smanjuju toleranciju testa pri zamesu, odnosno brzo se dostiže efekat suviše dugo mešenog testa (*Filipović i sar, 2001; Nelson, 2001*).

Kvalitet sredine hleba. Dodatak sastojaka bogatih prehrambenim vlaknima može negativno da utiče na osobine sredine hleba. Ovo je uglavnom posledica narušene trodimenzionalne glutenske mreže. Upotrebom brašna sa jakim glutenom, dodatkom vitalnog pšeničnog glutena ili poboljšivača koji pozitivno deluju na gluten kao što su oksidaciona sredstva, postiže se ujednačena poroznost sredine hleba. (*Kaluđerski i sar., 1990; 1993; Nelson, 2001*). Dodatak vlakana utiče na produžetak svežine sredine, jer vlakna vezuju i zadržavaju vodu tokom procesa proizvodnje hleba, a njihov uticaj na osobine sredine hleba zavisi od vrste i količine vlakana (*Nelson, 2001*).

Boja sredine hleba. Zavisno od porekla, vlakna mogu da sadrže bojene materije koje mogu da oboje gotov proizvod. Ovo može da bude pozitivan efekat kada je u pitanju hleb od celog zrna ili hleb od više vrsta žita, ali kod belog hleba cilj je da se bela boja zadrži. Dodatkom komercijalnog proizvoda Fibrexa boja belog hleba tamni (*Nelson, 2001.*), a dodatkom inulina boja se vizuelno menja (*Wanga et. al 2002*).

Svežina i starenje hleba. Prehrambena vlakna mogu da poboljšaju sposobnost zadržavanja vode kod pečenog pekarskog proizvoda, čime doprinose usporavanju

starenja sredine i produžavaju upotrebnu vrednost ovih proizvoda. Vlakna takođe inhibiraju migraciju vlage tokom čuvanja u zamrznutom stanju. Sastojci bogati prehrambenim vlaknima inhibiraju obrazovanje kristala u zamrznutom testu, što direktno utiče na produženje stabilnosti kako faze zamrzavanja, tako i faze odmrzavanja (*Filipović i sar. 2001; Nelson, 2001*).

Zapremina hleba. Dodatkom Fibrexa i inulina u hleb dolazi do smanjenja zapremine gotovog proizvoda. Kada se vlakna dodaju kao zamena za deo brašna, smanjuje se količina raspoloživog glutena. Ovo se naziva još i "razblaženje" glutena. Do smanjenja zapremine dolazi jer vlakna smanjuju sposobnost glutena da zadrži gasove stvorene tokom fermentacije i pečenja. Pozitivan uticaj na zapreminu hleba sa prehrambenim vlaknima imaju poboljšivači koji deluju na gluten, namenske masti (šorteninzi) i obrano mleko u prahu. Male količine rastvorljivih prehrambenih vlakana (oko 2%) takođe utiču na povećanje zapremine (*Kaluđerski i sar. 1993; 1990; Filipović i sar. 2001*).

4.0.0. EKSPERIMENTALNI DEO

4.1.0. MATERIJAL

4.1.1. Brašno

Korišćena su dva uzorka komercijalnog brašana T-400 istog proizvođača: A.D. „Danubius”, Novi Sad. Na uzorku 1 su rađena ispitivanja uticaja vlakana na zamrzavanje, a na uzorku 2 je praćena interakcija vlakana sa proteinskim i ugljenohidratnim kompleksom testa. Brašno je ručno prosejano kroz sito s otvorima 200 µm, ručno homogenizovano i čuvano u plastičnoj posudi sa poklopcem.

Hemijski sastav i reološke osobine ispitivanih uzoraka brašna dati su u tabeli 4.1.

4.1.2. Prehrambena vlakna

U eksperimentu su korišćeni sledeći uzorci prehrambenih vlakana:

- *Fibrex* komercijalni proizvod prehrambenih vlakana iz šećerne repe, proizvođač Denisco Sugar AB. Sadržaj prehrambenih vlakana je 73% sa prirodnom ravnotežom nerastvorljivog i rastvorljivog dela,
- *Inulin HPX* je komercijalni proizvod, poreklom iz korena čičoke, proizvođača: „ORAFI Active Food Ingredients”, Belgija. Inulin HPX se sastoji od dugih molekulskih lanaca sa više od 10 glukočnih jedinica i
- *Inulin GR* je komercijalni proizvodi, poreklom iz korena čičoke, proizvođača: „ORAFI Active Food Ingredients”, Belgija. Inulin GR se sastoji od kratkih molekulskih lanaca sa 2 do 5 glukočnih jedinica.

4.1.3. Kvasac

Prilikom ispitivanja reoloških i pecivnih osobina zamrznutog testa sa prehrambenim vlaknima korišćen je:

- *Svež pekarski kvasac*, komercijalni proizvod, proizvođač: A.D. „Alltech-Fermin”, Senta.

4.1.4. Ostale sirovine

- Kuhinjska so, komercijalni proizvod, proizvođač: D.P. „So produkt”, Beograd.
- Mlečna kiselina p.a.
- Vodovodska voda za piće.

Tabela 4.1.1. Pokazatelji kvaliteta brašna

Pokazatelji kvaliteta	uzorak 1	uzorak 2
Hemijski sastav		
Sadržaj vlage (%)	15,0	13,1
Sadržaj pepela (% s.m)	0,45	0,54
Sadržaj sirovih proteina (% s.m)	11,3	11,2
Kiselinski stepen	2,2	2,65
Farinografski podaci		
Moć upijanja vode (%)	61,5	60,4
Razvoj testa (min)	2	2
Stabilitet (min)	1	1
Rezistencija (min)	3	3
Stepen omekšanja (Fj)	70	50
Kvalitetni broj	58,4	65,9
Kvalitetna klasa	B-1	B1
Ekstenzografski podaci		
Energija (cm ²)	83,6	40
Otpor (Ej)	500	580
Rastegljivost (mm)	160	120
Odnos otpor/rastegljivost	3,1	4,8
Amilografski podaci		
max. viskozitet (Aj)	870	850

4.2. METODI RADA

4.2.1. FIZIČKI METODI

4.2.1.1. Kapacitet zadržavanja vode i rastvorljivost prehrambenih vlakana određen je na sledeći način: u kiveti centrifuge zapremine 50 cm³ 2,5 g usitnjenih suvih vlakana je suspendovano sa 30 cm³ destilovane vode, temperature 30 °C. Suspenzija je termostatirana 30 min. na 30 °C, a svakih 10 min. je mešanjem homogenizovana. Nakon termostatiranja suspenzija je 5 min. centrifugirana pri 5000G. Hidratisane čestice vlakana su filtracijom odvojene od supernatanta i zatim je određena njihova masa. Sposobnost zadržavanja vode vlakana je izračunat iz razlike mase hidratisanog i suvog uzorka. Uparavanjem supernatanta na vodenom kupatilu do suva dobijen je podatak o rastvorljivosti vlakana u vodi (*Stauffer, 1993*).

4.2.2. HEMIJSKI METODI

4.2.2.1. Sadržaj vlage je određen standardnim postupkom sušenja na 130 °C (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.2.2.2. Sadržaj proteina je dobijen na osnovu sadržaja azota koji je određen po A.O.A.C Micro-Kjeldahl metodu (*Metodi 962.52, 1994*) i upotrebom faktora 6,25 za preračunavanje sadržaja azota u sadržaj proteina.

4.2.2.3. Sadržaj skroba je određen po Ewersu (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.2.2.4. Sadržaj lipida je određen hidrolizom po metodu Weibull Stoldu (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.2.2.5. Sadržaj rezistentnog skroba u hlebu sa prehrambenim vlaknima, određen je po AACC metodu (32-40), pri čemu je određen rezistentni skrob (RS) u hlebu sa različitom količinom i vrstom vlakana (0%, 5% i 10% fibrexa, inulin HPX i inulin GR).

4.2.2.6. Sadržaj ukupnih vlakana po AOAC metodu (Metod 985.29, 1990).

4.2.3. REOLOŠKI METODI

4.2.3.1. Izrada farinograma

Farinogrami su rađeni na standardnom Brabenderovom farinografu sa mesilicom za 300 g brašna (*Kaluđerski, Filipović, 1998*). Ispitivan je uticaj vlakana (fibrex, inulin HPX i inulin GR) u količinama od 0%, 5 % i 10 % kao zamena dela brašna. Varirana je pH vrednost vode za zames, odnosno rađeni su zamesi sa neutralnom vodovodskom vodom i vodovodskom vodom čije su pH vrednosti bile: pH=5, pH=4 i pH=3. pH vrednost je podešavana mlečnom kiselinom.

4.2.3.2. Izrada ekstenzograma

Ekstenzogrami su rađeni na Brabenderovom ekstenzografu po standardnom postupku (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.2.3.3. Izrada viskograma

Viskogrami su rađeni na Brabenderovom viskografu. Napravljena je 15 % (na suhu materiju) suspenzija brašna u 450 ml vode, i suspenzija brašna sa dodatkom vlakana (fibrex, inulin HPX i inulin GR) u količini od 0%, 5% i 10% kao zamena dela brašna. pH vrednost vode za pripremu suspenzije bila je neutralna ili kisela: pH=5, pH=4 i pH=3, pri čemu je pH vrednost vode podešavana mlečnom kiselinom.

Suspenzija je dinamikom zagrevanja 1,5 °C/min, zagrevana od 25 °C do 95 °C. Kada je suspenzija dostigla 95 °C temperatura je održavana konstantnom 30 min, a zatim se gel postepeno hladio, brzinom od 1,5 °C/min do 50 °C i ova temperatura je održavana konstantnom narednih 60 min. U procesu ovog kontrolisanog zagrevanja i hlađenja beležen je viskozitet suspenzije.

4.2.3.4. Izrada maturograma

Testo za maturogram sa dodatkom vlakana (Fibrex, inulin HPX, inulin GR) u količini od 0 do 10% kao zamena za brašno je mešeno u farinografskoj mesilici 5 minuta. U svim zamesima količina soli je bila 2%, količina kvasca 2,5%, a količina aditiva 0,5% računato na ukupnu masu brašna i vlakana.

Količina vode za zames određena je na osnovu farinografske moći upijanja vode. Posle zamesa odmereno je tri puta po 152-154 g testa. Svaki komad testa je okruglo oblikovan u homogenizeru maturografa na položaju 9. Testo je 45 minuta fermentisalo u komori maturografa na temperaturi 30 °C, pri relativnoj vlažnosti vazduha 85%, zatim je okruglo oblikovano u homogenizeru i fermentisalo narednih 15 minuta pri istim uslovima kao i kod prve fermentacije.

Nakon drugog odmaranja i okruglog oblikovanja, masa svakog komada testa svedena je na tačno $150 \pm 0,1$ g. Jedan komad testa postavljen je u posudu za završnu fermentaciju maturografa i registrovana je maturografska kriva. Dva druga komada testa su korišćena za laboratorijsko probno pečenje hleba po modifikovanom AACC metodu (Kaluderski, Filipović, 1998).

4.2.3.5. Određivanje reoloških karakteristika na Haake rheo stress 600

Kod ispitivanja gela koji sadrži samo pšenično brašno, kao i gela sistema (fibrex-pšenično brašno, inulin HPX-pšenično brašno, inulin GR-pšenično brašno), korišćen je pribor ploča-ploča (prečnika 60 mm) pri temperaturi od 20 °C, za sve eksperimente. Merenje histerezisnih petlji (krive τ napon smicanja u zavisnosti od D – brzine smicanja) su obavljani u opsegu brzina smicanja od 0-500 1/s. Povećanje brzine smicanja je izvođeno 3 minuta, zatim je održavano 2 minuta na maksimalnoj brzini, a smanjivanje brzine je iznosilo 3 minuta. Prilikom ispitivanja rastvora inulina kao pribor korišćen je cilindar, a uslovi ispitivanja su bili kao i kod pšeničnog gela. Dinamička oscilatorna merenja su izvođena variranjem vrednosti ω (ugaona brzina) od 6.28 do 62.8 rad/s (frekvencija 1-10 Hz), a praćeni su moduli elastičnosti G' i viskoznosti G'' . Napon smicanja je određen iz linearnog viskoelastičnog režima.

4.2.3.6. Određivanje rastegljivosti testa mikro-metodom Kieffer extensibility Rig

U cilju određivanja reoloških osobina testa primenjen je mikro-metod određivanja rastegljivosti testa (*Kieffer, i sar., 1981*). Nakon zamesa testa u trajanju od 5 min, testo je okruglo oblikovano na homogenizeru 18 puta, a potom stavljeno na relaksaciju 30 min. Postupak pripreme testa za određivanje rastegljivosti odvijao se u četiri faze:

- U prvoj fazi je duguljasto oblikovano testo postavljeno na žljebnu ploču, koja je premazana parafinskim uljem, da bi se izbegla adhezija. Duž žljebova ploče su stavljene pomoćne uske trake, koje pomažu pri vađenju uzoraka.
- U drugoj fazi uzorak je stavljen na ploču pri čemu je višak testa uklonjen špatulom. Na ovaj način uzorak je isečen u trake i dopušta testu relaksaciju, a sprečava gubitak vlage.

- U trećoj fazi spoljne ploče sa uzorkom su stavljene u spojnicu. Zatvaranjem spojnice višak testa je odstranjen špatulom. Ovim postupkom osigurano je da svaka traka uzorka bude razdvojena.
- Trake testa su postavljene na podlogu za uzorak. Kada se postigne sila od 5g, kuka nastavlja da isteže testo dok se ne dobije elastični limit i uzorak odvoji. Pre testiranja potrebno je osigurati da se kuka teksturometra nalazi u donjem položaju.

Analiza je izvedena na teksturometu TA.XT Plus pri sledećim radnim parametrima: merna ćelija 5 kg, brzina kukice pre analize 2,0 mm/s, brzina kukice u toku analize 3,3 mm/s, brzina kukice nakon analize 10.0 mm/s, odstojanje 75 mm.

4.2.4. KINETIKA ZAMRZAVANJA/ODMRZAVANJA UZORAKA

Okruglo oblikovano testo pripremljeno po postupku 4.2.3.4. mase 150 g sa vlaknima fibrex, inulin HPX i inulin GR u količini od 0, 5 i 10% postavljeno je u komoru za zamrzavanje na temperaturi od -18 °C i -28 °C. Komora je bila opterećena istom masom testa čija je početna temperatura bila 30 ±1°C. U centru testa na svakih 10 minuta je praćena kinetika zamrzavanja sve dok testo nije postiglo ravnotežnu temperaturu od -18 °C ili -28 °C u centru komada. Prilikom zamrzavanja testa na svakih 10 minuta je praćena kinetika odmrzavanja na temperaturi od +30 °C, sve dok testo nije dostiglo ravnotežnu temperaturu od +30 °C u centru komada.

4.2.5. LABORATORIJSKO PROBNO PEĆENJE PO MODIFIKOVANOM A.A.C.C. METODU

Posle postupka izrade testa za maturografsko određivanje preostala dva okruglo oblikovana komada testa od 150 g, ostavljena su 10 min. na radnoj ploči, na intermedijarnoj fermentaciji, zatim su ručno oblikovana u veknu i postavljena u podmazane kalupe za hleb. Testo je fermentisalo u komori maturografa na temperaturi 30 °C, pri relativnoj vlažnosti vazduha od 85%. Kraj završne fermentacije je određen

prema visini pika maturografske krive. Hlebovi su pečeni od 15 do 20 minuta u Chopin-ovoj laboratorijskoj peći, odnosno do postizanja mase pečenog hleba od 135,0 do 137,0 g. Temperatura gornje grejne ploče bila je 250 °C, a donje 240 °C (*Kaluđerski, Filipović, 1998*).

4.2.6. OCENA KVALITETA HLEBA

Kvalitet hleba ocenjen je 24h nakon pečenja. Zapremina je određena postupkom istiskivanja semena uljane repice, a komisija od tri nezavisna ocenjivača je senzorno vrednovala finoću strukture pora i elastičnost sredine. Opisne ocene za elastičnost sredine i finoću strukture pora su izražene zbirnim numeričkim vrednostima i označene kao vrednosni broj sredine hleba – VBS (minimalan 0,0 maksimalan 7,0) (*Kaluđerski, Filipović, 1998*). Ocene kvaliteta predstavljaju prosečnu vrednost za dva ponavljanja.

4.2.7. ODREĐIVANJE TEKSTURE HLEBA SA VLAKNIMA

Analize su izvedene na teksturometu TA.XT Plus, gde je korišćena sila u funkciji vremena. Za ispitivanja korišćeni su uzorci hleba dobijeni po metodi 4.2.5 sa 0%, 5% i 10% različitih vlakana (fibrex, inulin HPX I GR) koji su sečeni u vidu pravougaonika dimenzija 3cm x 2cm x 2cm (dužina x širina x debljina) i opterećeni cilindrom (P 25), sa početnom brzinom 1mm/s, i silom od 10g. U uzorku koji je služio kao kontrola, nivo deformacije je 85%. Analizirani uzorci su dva puta bili izloženi sili deformacije.

Za ocenu teksture hleba mereni su: čvrstoća, kohezivnost i elastičnost. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja.

4.2.8. ODREĐIVANJE BOJE HLEBA SA VLAKNIMA

Boja hleba sa različitim količinama (0%, 5% i 10%) i vrstama vlakana (fibrex, inulin HPX, inulin GR) određena je tristimulusnim fotoelektričnim kolorimetrom CHROMA METER CR-400 (proizvođača MINOLTA CO. LTD Japan). Uzorci sredine hleba sa vlaknima su osušeni na sobnoj temperaturi do konstantne mase, usitnjeni na mlinu sa piruetom (tip WZ – 1 "Spolem", proizvođač ZBPP, Bydgoszoz, Poljska), zatim frakcionisani na planskom situ (tip SZ-1, proizvođač ZBPP, Bydgoszoz Poljska), gde su za analizu korišćene frakcije čestica hleba manje od 150 (μm). Tristimulusnim fotoelektričnim kolorimetrom merene su tristimulusne vrednosti X, Y, Z, izračunate su koordinate boja i prikazane u Hanterovom sistemu.

Hanterov sistem za definisanje boje koristi svetloću L i vrednosti a i b. Vrednost a određuje udeo crvene (predznak +) i zelene (predznak -) boje, dok vrednost b određuje udeo žute (predznak +) i plave (predznak -) boje. Postoji i pojam tzv. "zasićenost boje", što predstavlja ukupnu razliku boje ΔE .

4.2.9. STATISTIČKA ANALIZA

Svi uzorci su pripremani i mereni u 3 do 6 ponavljanja, pri čemu su prikazane prosečne vrednosti dobijenih parametara.

Za praćenje kinetike zamrzavanja/odmrzavanja testa sa različitom količinom (0%, 5% i 10%) i vrstama vlakana (fibrex, inulin HPX, inulin GR) korišćen je matematički model za procenu adekvatnosti fitovanja koja je izvršena preko koeficijenta determinacije (R^2), u programu Statistica Orgin 7.5b.

Statističko projektovanje i obrada podataka je rađena po metodologiji agencije "Smartline", Novi Sad, pri čemu su podaci prikazani diskriminativnim parametrima, srednja vrednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije i interval poverenja i Kolmogorov-Smirnov test normalne raspodele (*Anderson, 1984*).

Eksperimentalni podaci na završnoj fermentaciji (završna fermentacija i stabilitet fermentacije) i kvalitet hleba (zapremina i vrednosni broj sredine) su statistički testirani analizom multivarijantne MANOVA i diskriminativnom analizom. Od univarijantnih postupaka primenjena je ANOVA.

Pronaženjem koeficijenta diskriminacije, izdvojena su obeležja koja određuju specifičnost vlakna i obeležja koje je potrebno isključiti iz dalje obrade, odnosno redukuje se posmatrani prostor. Procena homogenosti vlakana ima za cilj da se što je moguće bolje izuči njihov uticaj na posmatrane parametre.

4.2.10. PRORAČUN ENERGETSKE VREDNOSTI HLEBA SA VLAKNIMA

Energetska vrednost hleba je izračunata na osnovu hemijskog sastava. Sadržaj proteina je pomnožen sa faktorom 167,7 J (4 kcal), sadržaj lipida faktorom 376,8 J (9 kcal) i sadržaj svarljivih ugljenih hidrata koji predstavlja razliku između ukupnog i rezistentnog skroba pomnožen sa faktorom 167,7J (4 kcal).

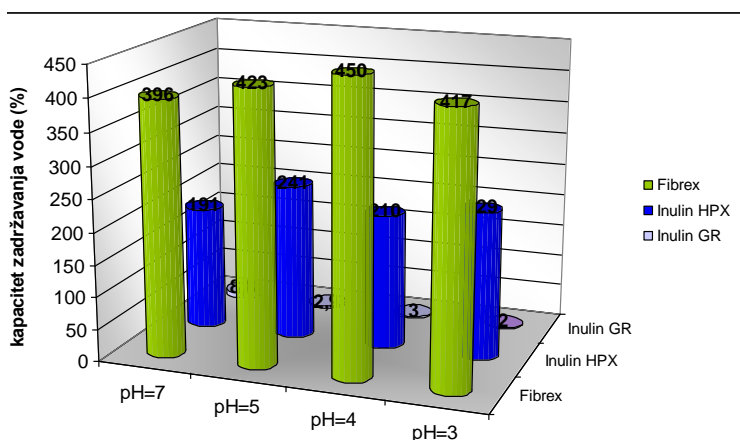
4.3. REZULTATI I DISKUSIJA

4.3.1. FIZIČKE KRAKTERISTIKE VLAKANA I NJIHOVA INTERAKCIJA SA BRAŠNOM

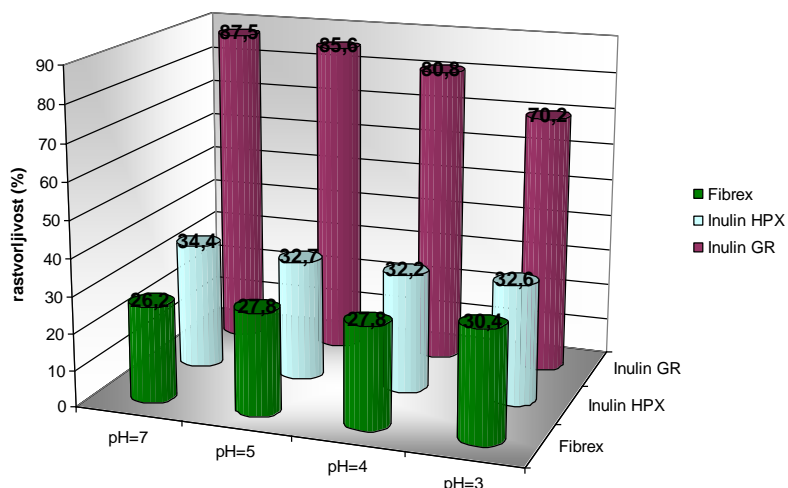
4.3.1.1. Fizičke karakteristike vlakana

Interakcija Fibrexa, inulina HPX i inulina GR sa vodom ispitana je u laboratorijskim uslovima sa vodom u neutralnoj i kiseljoj sredini na različitim pH vrednostima. Sa slika 4.3.1. i 4.3.2. se vidi da na kapacitet zadržavanja vode vlakana i njihovu rastvorljivost utiče vrsta vlakna, odnosno njegovo poreklo i struktura, dok pH vode ima znatno manji uticaj.

Fibrex ima najveći kapacitet zadržavanja vode, koji iznosi oko 421%, inulin HPX ima duplo manji, a inulin GR praktično i ne zadržava vodu. Povećanje kapaciteta zadržavanja vode kod Fibrexa može biti posledica povećanja sposobnosti komponenti ćelijskog zida da vežu i zadrže vodu u svom matriksu (*Gould i sar. 1989*). Inulin HPX dugih lanaca ima 50 puta veći kapacitet zadržavanja vode od inulina GR kratkih lanaca, što je posledica prostorne konfiguracije i povećanja međućelijskog prostora u strukturi inulina HPX.



Slika 4.3.1. Kapacitet zadržavanja vode vlakana na različitim pH vrednostima

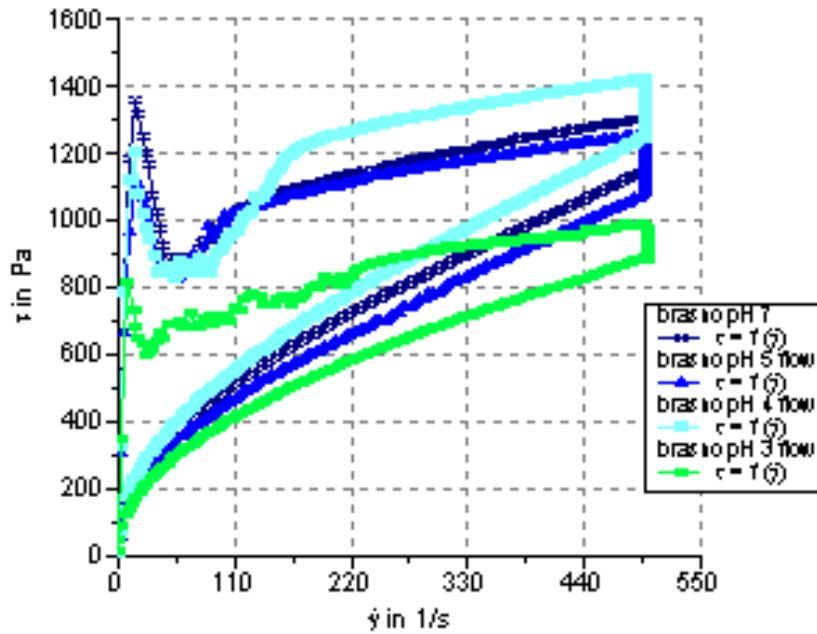


Slika 4.3.2. Rastvorljivost vlakana na različitim pH vrednostima

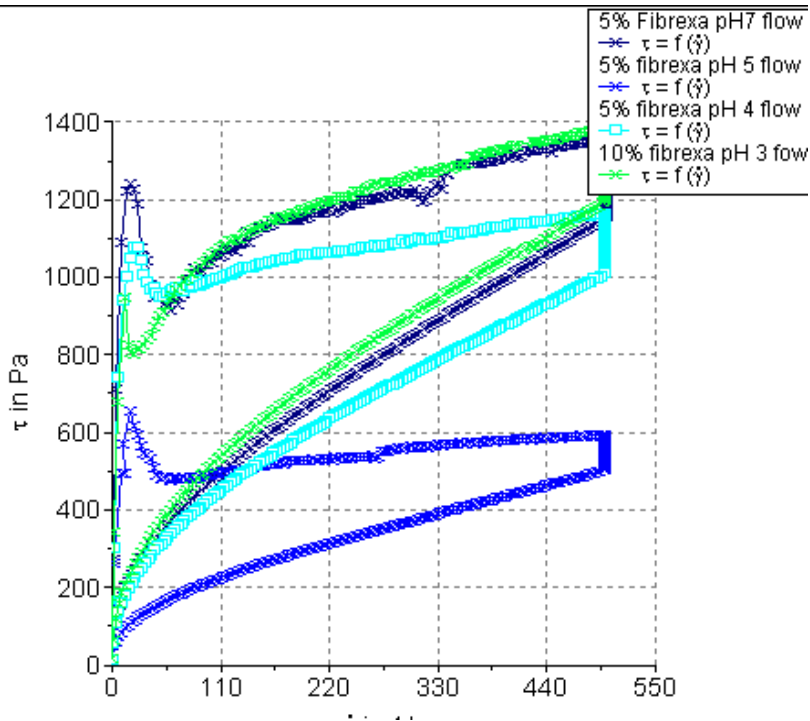
Inulin GR ima veliku rastvorljivost, koja se smanjuje sa snižavanjem pH vrednosti od pH 7 do pH 3 za 2 %. Inulin HPX ima 2,5 puta manju rastvorljivost od inulina GR, što je (Wiedmann i Jager, 1997) posledica prisustva dugih lanaca. Na rastvorljivost inulina HPX praktično ne utiče pH vrednost rastvora, odnosno zapažene promene su na nivou ponovljivosti metode. U poređenju sa inulinom HPX i inulinom GR, fibrex ima najmanju rastvorljivost i ona se povećava sa snižavanjem pH vrednosti od pH 7 do 3 za 16%, što je verovatno posledica započetih ali nezavršenih procesa razgradnje komponenata ćelijskog zida Fibrexa, koji su u rastvorljivom obliku ostali gradivni elementi vlakana, što se potvrđuje i smanjenjem kapaciteta zadržavanja vode (417%).

4.3.12. Stacionarna merenja interakcije vlakana i gela pšeničnog brašna

Na grafiku 4.3.3 prikazana je analiza gela pšeničnog brašna na različitim pH vrednostima sa karakterističnim krivama proticanja. Sistemi u neutralnoj sredini i pH 5 imaju iste vrednosti kako napona smicanja tako i površina tikotropnih petlji. U izrazito kiselj sredini pri pH 3 dolazi do snižavanja napona smicanja i površine tikotropne petlje, pri čemu koncentracija H^+ jona dovodi do slabljenja -S-S- veza, unutar glutenske strukture. Gel pri pH 3 ima karakterističan pik za razrušene strukture.

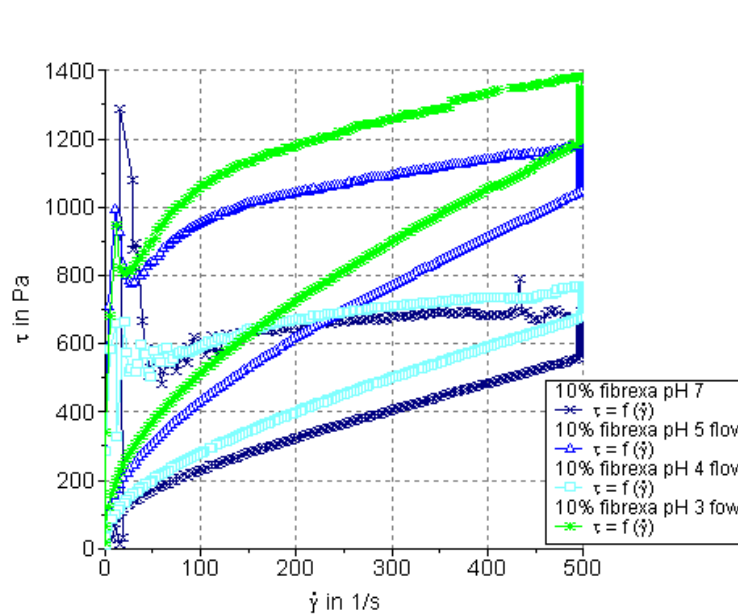


Slika 4.3.3. Kriva proticanja gela sa % vlakana i 100%



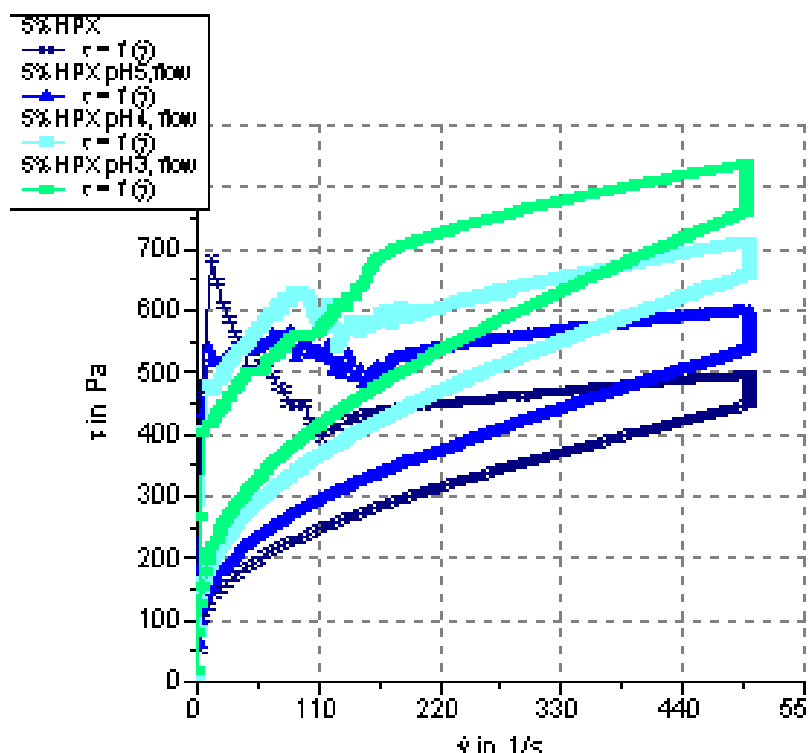
Slika 4.3.4. Kriva proticanja gela sa 5% Fibrexa i 95 % brašna

Gel sa 5% Fibrexa (slika 4.3.4.) ima najveće vrednosti napona smicanja i tikotropnih petlji u neutralnoj i izrazito kiseloj sredini pri pH 3. Pri pH 5 se registruje najveće razrušavanje unutrašnje strukture gela, pri čemu molekuli Fibrexa, verovatno, stupaju u interakciju sa amilozom i amilopektinom, a sprečavaju formiranje -S-S- veza u proteinima i ugrađuju se u glutenski matriks, što ima za posledicu slabljena celokupne strukture gela.



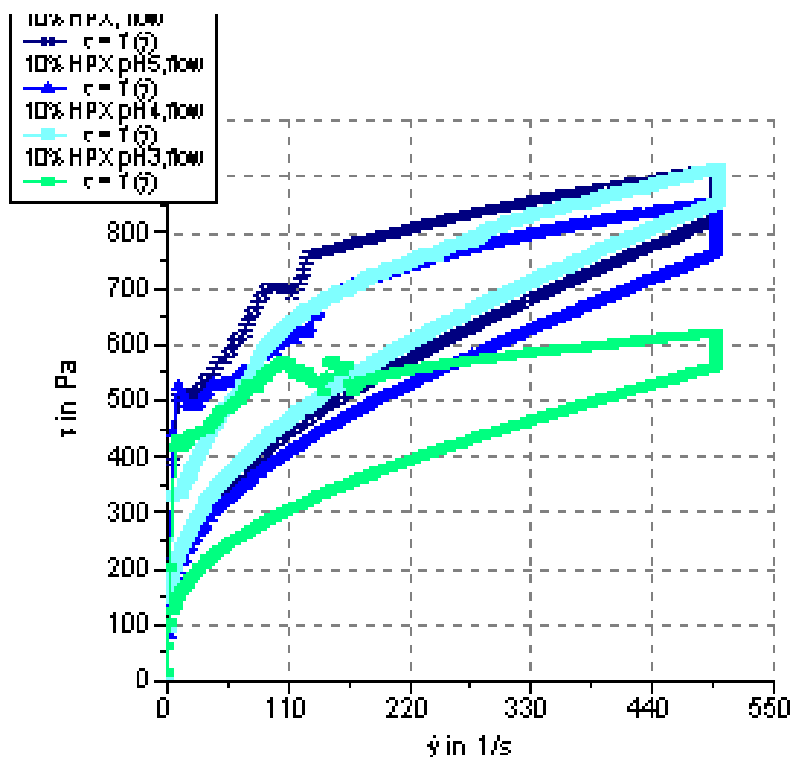
Slika 4.3.5. Kriva proticanja gela sa 10% Fibrexa i 90% brašna

Dodatkom 10% Fibrexa (slika 4.3.5.) najveću vrednost napona smicanja i najjaču strukturu pokazao je sistem u izrazito kiseloj sredini pri pH 3 kao i kod gela sa 5% Fibrexa (slika 4.3.4.). Izrazito kisela sredina dovodi do razgradnje komponenata ćelijskog zida Fibrexa i menja njegovu strukturu, pri čemu se omogućuje bolja inkorporacija Fibrexa u glutenski matriks i strukturu nabubrelog skroba (slike 4.3.4 i 4.3.5). Do najvećeg razrušavanja strukture dolazi kod gela u neutralnoj sredini, pri čemu se sa povećanjem kiselosti povećava stabilnost gela.



Slika 4.3.6. Kriva proticanja gela sa 5% inulin HPX i 95% brašna

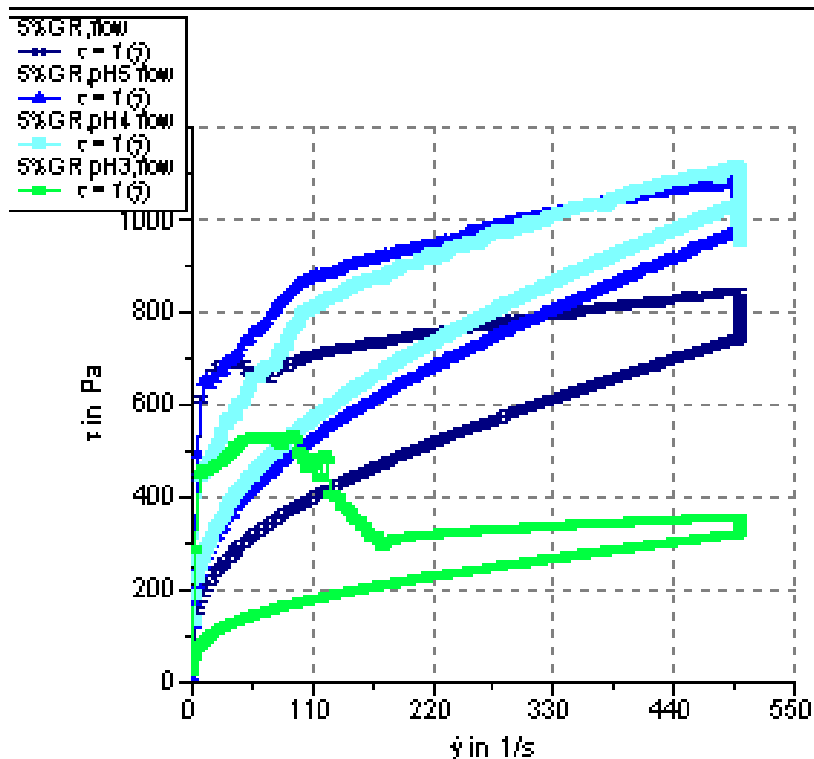
Gel sa dodatkom 5% inulina HPX ima najmanju vrednost napona smicanja na pH 7, pri čemu dolazi do najvećeg razrušavanja unutrašnje strukture. Sa slike 4.3.6. vidi se da se sa povećanjem kiselosti od pH 7 do pH 3 struktura gela povećava. Najveće vrednosti napona smicanja i najjaču strukturu pokazao je gel pri pH 3. Povećanjem kiselosti gela dolazi do jačeg povezivanja molekula inulina HPX sa lancima amiloze i amilopektina, što ima za posledicu slabije razrušavanje sistema u odnosu na gele na većim pH vrednostima. Dugi lanci inulina HPX imaju dobru orijentaciju molekula, što rezultuje nižim naponom smicanja u odnosu na sistem bez inulina.



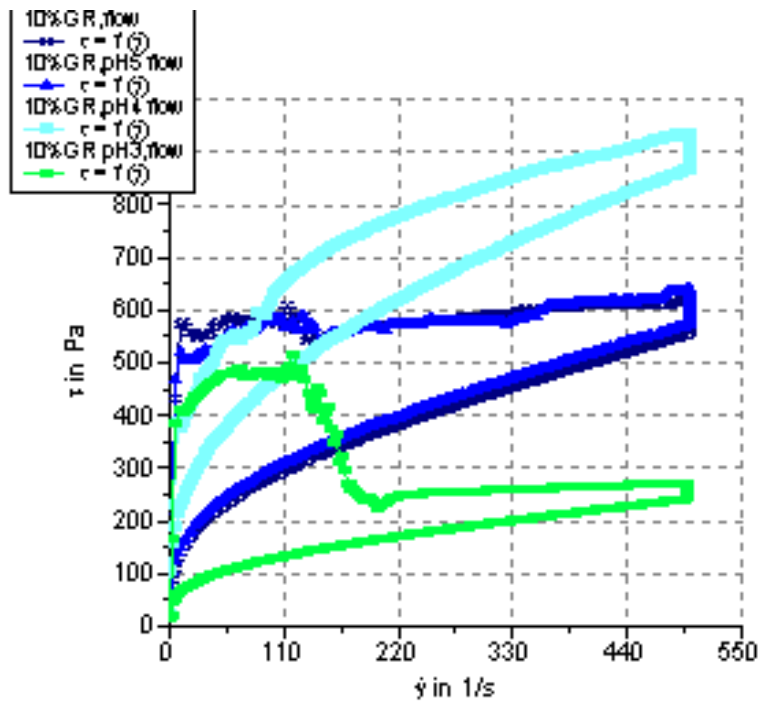
Slika 4.3.7. Kriva proticanja gela sa 10% inulin HPX i 90% brašna

Kod gela sa dodatkom 10% inulina HPX dolazi do manjeg razrušavanja strukture u odnosu na gel sa 5% inulina HPX. Pri dodatku 10% inulina HPX (slika 4.3.7.) sistem u neutralnoj sredini je pokazivao najveće vrednosti napona smicanja i najveću površinu tiksotropne petlje. Geli sa 10% inulina HPX pri pH 4 i 5 imaju skoro isti oblik tiksotropne petlje, dok gel pri pH 3 pokazuje izrazito slabu strukturu.

Smanjivanjem kiselosti gela sa dodatkom 5% inulina GR (slika 4.3.8) iz neutralne sredine na pH 5 i 4, dolazi do povećanja napona smicanja što ukazuje na povećanje stabilnosti gela. Gel pH 3 ima najmanju površinu tiksotropne petlje i najmanje vrednosti napona smicanja, što ukazuje na najveću degradaciju unutrašnje strukture. Predpostavlja se da niska pH vrednost utiče kako na samu strukturu inulina GR tako i na hidrolizu skroba što ima za posledicu dobijanja gela narušene strukture.



Slika 4.3.8. Kriva proticanja gela brašna sa 5% inulin GR i 95%

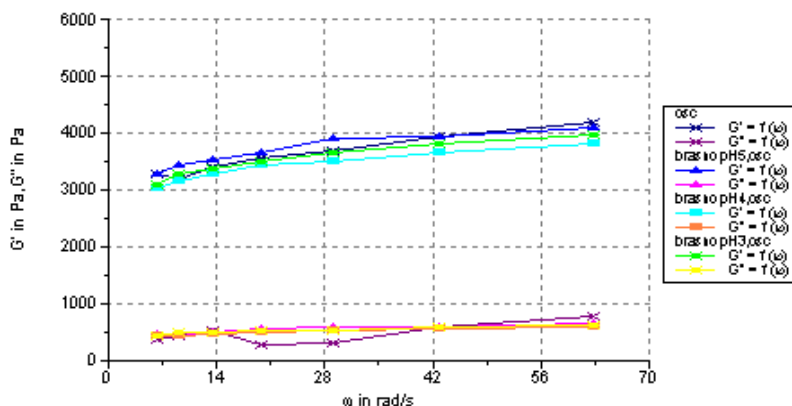


Slika 4.3.9. Kriva proticanja gela sa10% inulin GR i 90% brašna

Tip proticanja gelova sa dodatkom 10% inulina GR (slika 4.3.9.) je sličan gelovima sa 5% istog inulina (slika 4.3.8.), ali su zapažene manje vrednosti napona smicanja jer se molekuli fruktoze iz inulina ugrađuju u glutenski matriks i sprečavaju formiranje -S-S-veza (slika 4.3.9.). Zapaža se da sistemi pri pH 7 i 5 imaju iste vrednosti napona smicanja i površine tiksotropnih petlji. Gel u izrazito kiseloj sredini pri pH 3 je imao najmanju površinu tiksotropne petlje i najmanji napon smicanja, kao i gel sa 5% inulina GR.

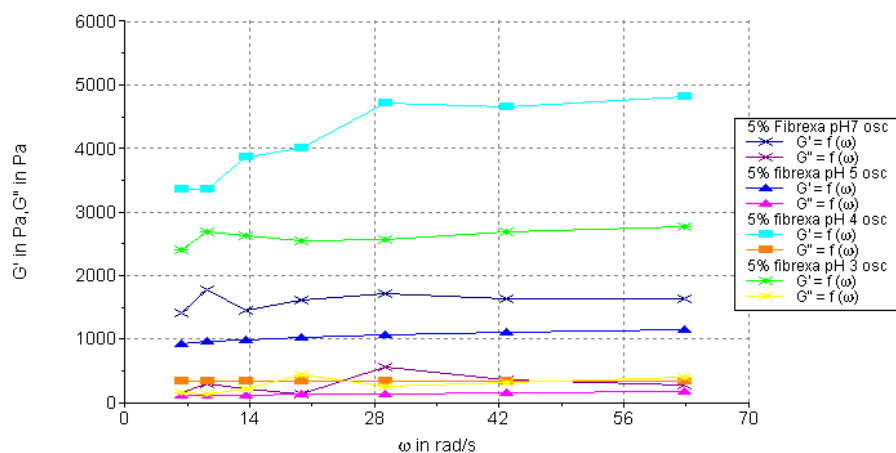
4.3.13. Dinamička merenja interakcije vlakana i gela pšeničnog brašna

Kod sistema koji ne sadrži vlakna, najveće vrednosti elastičnog modula G' pokazivao je gel pri pH 5. Manju vrednost elastičnog modula G' imao je sistem pri pH 4, što je i očekivano, jer se pri ovoj pH vrednosti proteini brašna nalaze u izoelektričnoj tački (Lasztity 1996). Na nižim pH vrednostima (pH 3 i pH 4) dolazi do interakcije H^+ jona sa -S-S- vezama glutenskog matriksa, što doprinosi slabljenju gela (tabela 4.3.1. slika 4.3.10.).

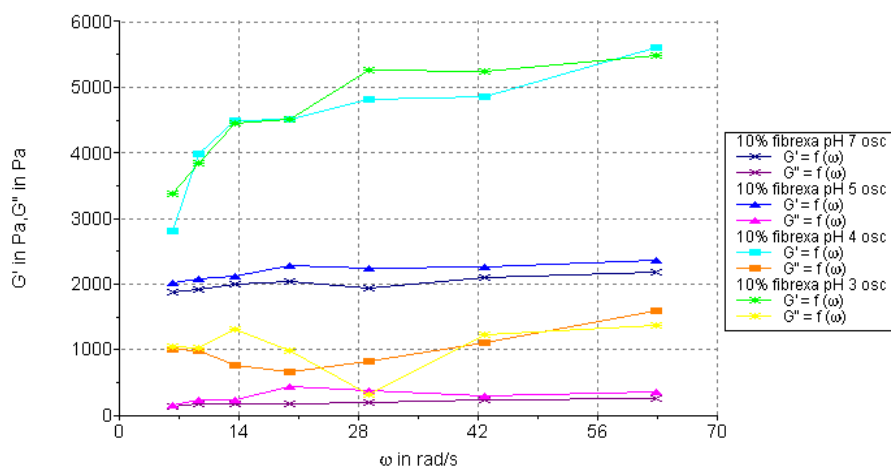


Slika 4.3.10. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 0% vlakana

Kod gela sa 5 i 10% Fibrexa, pH vrednost sistema utiče na vrednosti elastičnog modula G' . Sa slike 4.3.11. i 4.3.12. se vidi da se sa povećanjem kiselosti, tj. pri pH 3 i pH 4 povećava vrednost elastičnog modula. Povećanje modula elastičnosti gela sa Fibrexom u izrazito kiseloj sredini posledica je dobre sposobnosti vezivanja i zadržavanja vode Fibrexa i bolje inkorporacije u glutenski matriks.



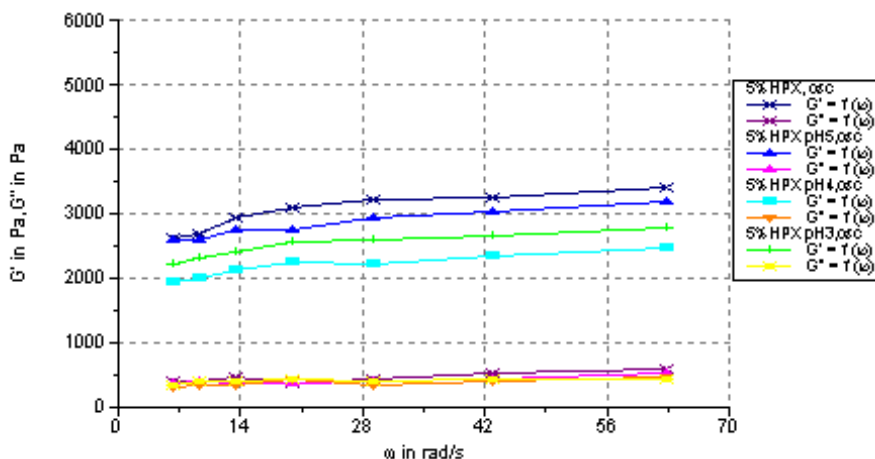
Slika 4.3.11. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 5% Fibrexa



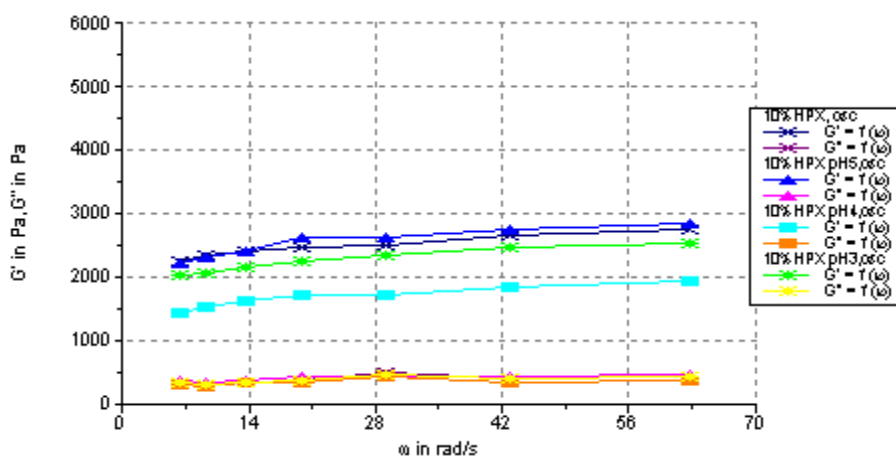
Slika 4.3.12. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 10% Fbexa

Dodatkom 5 i 10% inulina HPX unutrašnja struktura gela je slabila, što se vidi iz manjih vrednosti elastičnog modula G' u poređenju sa gelom koji ne sadrži vlakna (tabela 4.3.1, i slike 4.3.10, 4.3.13. i 4.3.14). Do slabljenja unutrašnje strukture verovatno dolazi usled distribucije lanaca makromolekula inulina između makromolekula gela skroba i proteina. Pri većoj koncentraciji inulina HPX dolazi do dodatnog slabljenja unutrašnje strukture, što potvrđuju manje vrednosti elastičnog modula. Najveće vrednosti elastičnog modula G' imao je gel pri pH 7 i 5, dok je najmanje

vrednosti imao sistem pri pH 4, naročito pri dodatku 10% inulina HPX (tabela 4.3.1. i slike 4.3.13. i 4.3.14.).



Slika 4.3.13. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 5% inulin HPX

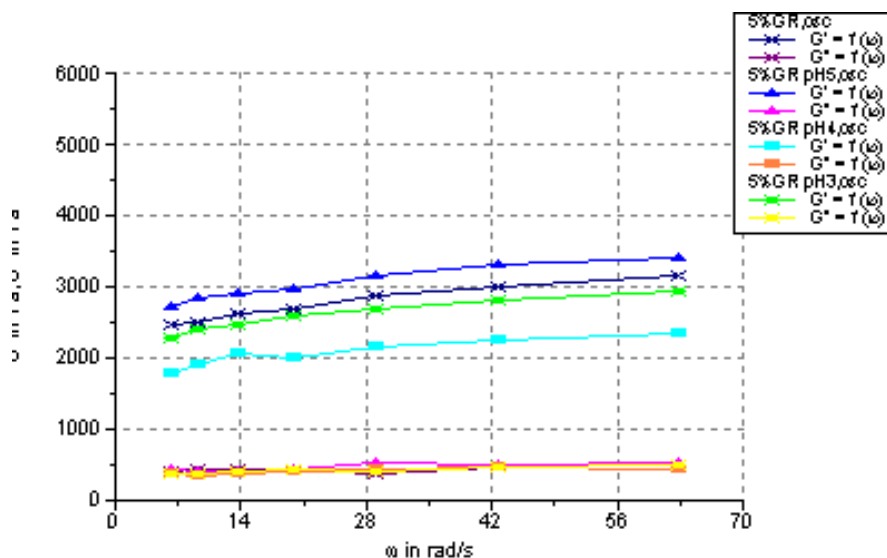


Slika 4.3.14. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 10% inulin HPX

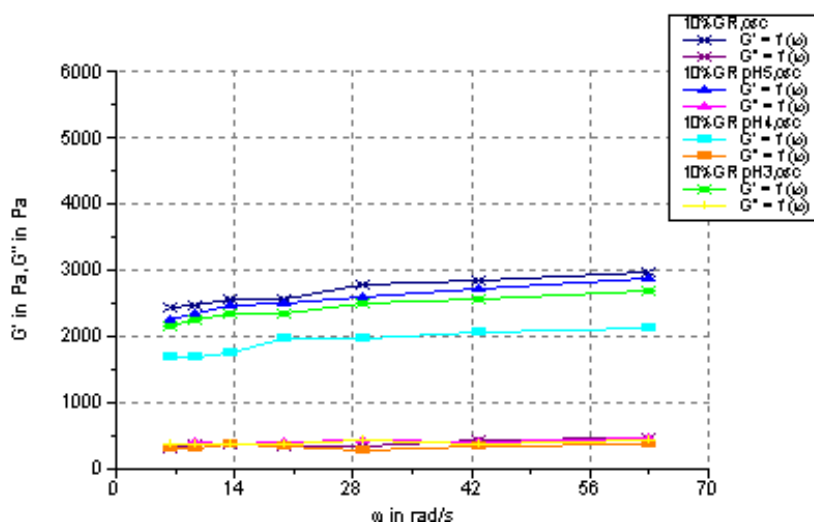
G'' moduli gela sa 10 % inulin HPX

G'' moduli gela sa 10 % inulin HPX

Dodatak 5 i 10% inulina GR (Slika 4.3.15. i 4.3.16.) ima sličan uticaj na viskoelastične osobine gelova kao i dodatak 5 i 10% inulina HPX. Primećeno je da najmanju vrednost elastičnog modula G' ima gel pri pH 4. Ovi rezultati ukazuju da je, najverovatnije, došlo do hidrolize skroba i interakcije amiloze i amilopektina sa molekulima inulina HPX i inulina GR, što ima za posledicu slabljenja gela.



Slika 4.3.15. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 5% inulina GR



Slika 4.3.16. Elastični G' i viskozni G'' moduli gela sa 10% inulina GR

Fizičko ponašanje sistema pokazuje i parametar $\tan \delta$, koji predstavlja odnos viskoznog G'' i elastičnog G' modula. Ukoliko je vrednost $\tan \delta$ bliža 0, sistem ima karakteristike jakog gela, a pri porastu vrednosti $\tan \delta$ dolazi do slabljenja jačine gela. Iz tabele 4.3.1. se vidi da geli sa dodatkom 5 i 10% inulina HPX i GR imaju veće vrednosti parametra $\tan \delta$ u odnosu na gel sa 0% vlakana pri svim pH vrednostima. Uočava se da pri pH 4, inulin HPX i inulin GR imaju najveću vrednost parametra $\tan \delta$, kao rezultat

slabljenja gela i najvećeg razrušavanja unutrašnje strukture (tabela 4.3.1. i slike 4.3.13. do 4.3.16.).

Tabela 4.3.1. Vrednosti $\tan \delta$ za sisteme sa različitim vlaknima

Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR	
	0 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
pH=7							
Elastičan moduo G'	3605,7	1602,7	2004,6	3037,4	2484,3	2757,6	2658,1
Viskozni moduo G''	470,0	285,9	191,7	460,3	387,4	436,8	376,4
$\tan \delta$	0,130	0,178	0,096	0,151	0,156	0,158	0,142
pH=5							
Elastičan moduo G'	3699,3	1028,8	2192,4	2834,4	2540,6	3048	2531
Viskozni moduo G''	540,7	134,4	298,8	416,8	407,2	457,1	406,5
$\tan \delta$	0,146	0,131	0,136	0,147	0,160	0,150	0,161
pH=4							
Elastičan moduo G'	3412,6	4109,8	4435,7	2190	1688,1	2077	1889,143
Viskozni moduo G''	501,2	330,8	987,0	373,3	343,8	395,5	334,1
$\tan \delta$	0,147	0,081	0,223	0,170	0,204	0,190	0,177
pH=3							
Elastičan moduo G'	3531,1	2612	4593,3	2497,7	2255,3	2593,7	2405,4
Viskozni moduo G''	525,4	267,1	1041,6	407,4	380,9	419,2	393,3
$\tan \delta$	0,149	0,102	0,227	0,163	0,168	0,162	0,164

Gel sa 5% Fibrexa pri pH 4, ima osobine jakog gela, što pokazuje najniža vrednost $\tan \delta$. Verovatno se na ovoj pH vrednosti molekuli Fibrexa dobro inkorporiraju u strukturu gela, što je u skladu i sa najvećim kapacitetom zadržavanja vode pri ovoj pH vrednosti, odnosno struktura ćelijskog zida Fibrexa pri ovim uslovima pH ima najbolje elastične osobine, kako da veže vodu tako, i da se inkorporira u strukturu gela. Na istom pH, gel sa 5 ili 10% inulina HPX ili inulina GR% ima najmanje vrednosti elastičnog modula i najveću vrednost $\tan \delta$, što ukazuje na gel razrušene (slabe) strukture.

4.3.2. INTERAKCIJE VLAKANA SA SASTOJCIMA HLEBNOG TESTA

4.3.2.1. Uticaj vlakana na reološke osobine testa

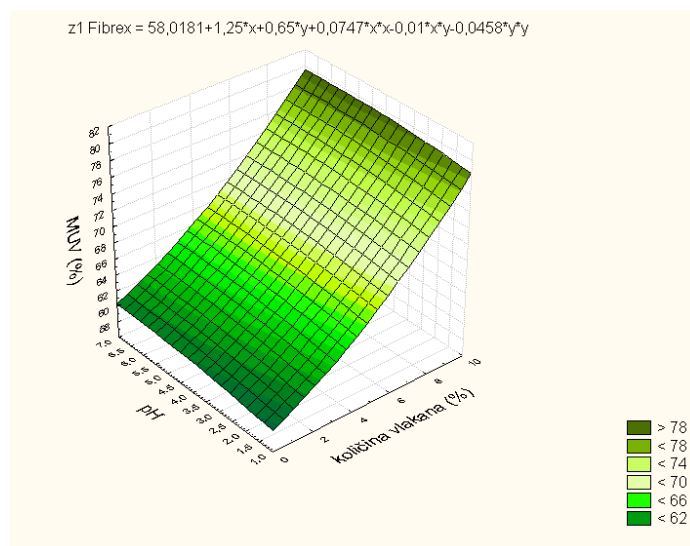
Na pH vrednost hlebnog testa utiču sirovinski sastav i tehnološki postupak proizvodnje, odnosno trajanja fermentacije (*Pylar, 1988*). Za pravilno vođenje tehnološkog postupka proizvodnje, kao i za ostvarivanje prinosa hleba, jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta brašna je moć upijanja vode. Iz tabele 4.3.2. vidi se da vrsta i količina vlakana ima značajnog uticaja na moć upijanja vode, iako pH vode za zames nema uticaja na hidrataciju niti brašna niti vlakana.

Dodatkom Fibrexa dolazi do povećanja moći upijanja vode za 13 do 33% u odnosu na testo sa 0% vlakana, što je posledica sposobnosti ove vrste vlakana da veže vodu. Sa povećanjem količine Fibrexa povećava se moć upijanja vode, dok pH vrednost vode nema uticaja na ovaj parametar (slika 4.3.17.), ako kapacitet vezivanja vode Fibrexa zavisi od pH (slika 4.3.1.) .

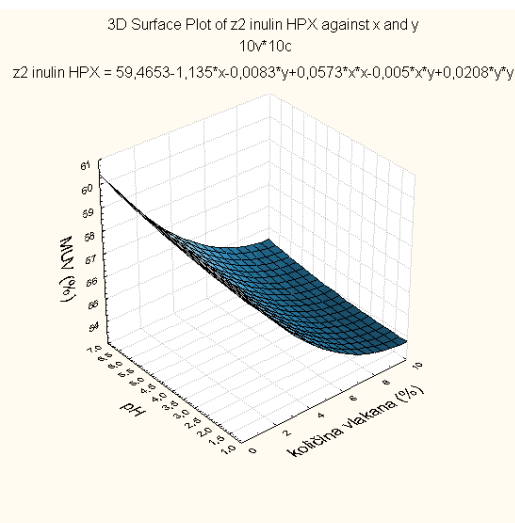
Moć upijanja vode se smanjuje sa povećanjem količine inulina HPX i GR, dok pH vrednost ne utiče na ovaj parametar (slika 4.3.18 i 4.3.19.). Inulin GR ima veće smanjenje moći upijanja vode nego inulin HPX i iznosi od 14 do 25%, u odnosu na testo sa 0 % vlakana, što je u skladu i sa činjenicom da inulin GR praktično nema sposobnost zadržavanja vode (tabela 4.3.2., slika 4.3.18. i 4.3.19.). Dodatak 5 do 10% inulina HPX u brašno smanjuje moć upijanja vode od 7 do 10% dok inulin HPX ima zanatno manji kapacitet zadržavanja vode u odnosu na fibrex (slika 4.3.17.).

Tabela 4.3.2. Uticaj vlakana i pH vode za zames na farinografske pokazatelje

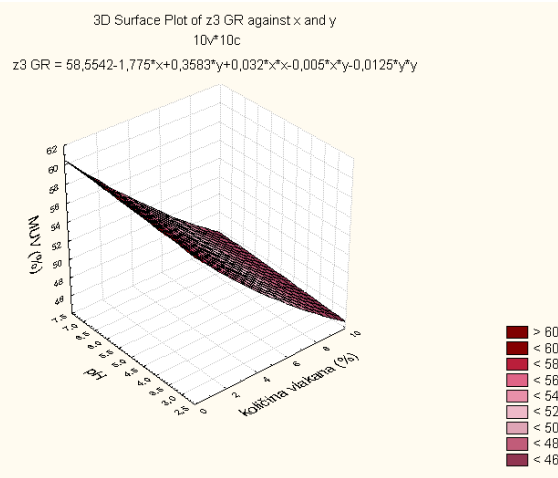
Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR	
		5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Količina vlakana (%)	0%	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
pH=7							
MUV (%)	60,4	68	79,6	56	54,5	52,3	45,5
Razvoj testa (min)	2	2,5	8	2	1,5	2	1,5
Stabilitet testa (min)	1	11	1	1	1	1	1
Elastičnost (Fj)	95	80	80	65	75	95	110
Stepen omekšanja (Fj)	50	10	85	30	20	30	70
Kvalitetni broj/ Kvalitetna klasa	65,9 B1	92,1 A1	70,7 A2	65,1B1	100 A1	64,9 B1	100 A1
pH=5							
MUV (%)	60	68,1	79,6	55,6	54	51,9	45,2
Razvoj testa (min)	2	2	7,5	2	4	1,5	1,5
Stabilitet testa (min)	1	11	1	1	2	1	1
Elastičnost (Fj)	100	70	65	80	70	110	110
Stepen omekšanja (Fj)	65	15	90	30	20	40	95
Kvalitetni broj/ Kvalitetna klasa	55,8 B2	90,3 A1	67,0 B1	55,4 B1	90,4 A1	55,2 B1	90,4 A1
pH=4							
MUV (%)	59,6	67,3	78,5	55,3	53,7	51,4	44,9
Razvoj testa (min)	1,5	2	7,5	1	1	1	1,5
Stabilitet testa (min)	1	9,5	1	1	1	1	1
Elastičnost (Fj)	100	80	65	85	80	100	100
Stepen omekšanja (Fj)	75	45	90	40	30	40	95
Kvalitetni broj/ Kvalitetna klasa	54,1 B2	85,9 A1	67,8 B1	53,3 B2	87,8A1	53,1 B2	87,9 A1
pH=3							
MUV (%)	59,6	67,5	79,2	55,3	53,9	51,2	44,9
Razvoj testa (min)	1,5	2	8,5	1	1	1	1
Stabilitet testa (min)	0,5	9,5	1	1,5	1	0,5	1
Elastičnost (Fj)	110	80	65	90	80	120	130
Stepen omekšanja (Fj)	80	35	105	60	35	30	100
Kvalitetni broj/ Kvalitetna klasa	54,4 B2	84,2 A2	60,4 B1	53,8 B2	88,2 A1	53,4 B2	88,2 A1



Slika 4.3.17. Uticaj Fabrexa i pH vode za zames na moć upijanja



Slika 4.3.18. Uticaj inulina HPX i pH vode za zames na moć upijanja



Slika 4.3.19. Uticaj inulina GR i pH vode za zames na moć upijanja

Razvoj i stabilitet testa kod inulina HPX i GR je praktično nepromenjen, odnosno razlike su u granicama ponovljivosti metode (*Filipović 1980*). Dodatak 10% Fibrexa utiče na povećanje razvoja testa i do 5 puta u odnosu na testo sa 0% vlakana, što ukazuje na naknadno stvrdnjavanje testa. Regstruje se i povećanje stabiliteta testa sa 5% Fibrexa, što je posledica očvršćavanja testa tokom mešenja ili naknadno stvrdnjavanja, odnosno posledica produžene hidratacije Fibrexa u testu. Dodatkom Fibrexa i inulina HPX odolazi do smanjena elastičnosti, nezavisno od količine vlakana i pH vrednosti vode za zames za 20 do 40 Fj, te se može očekivati

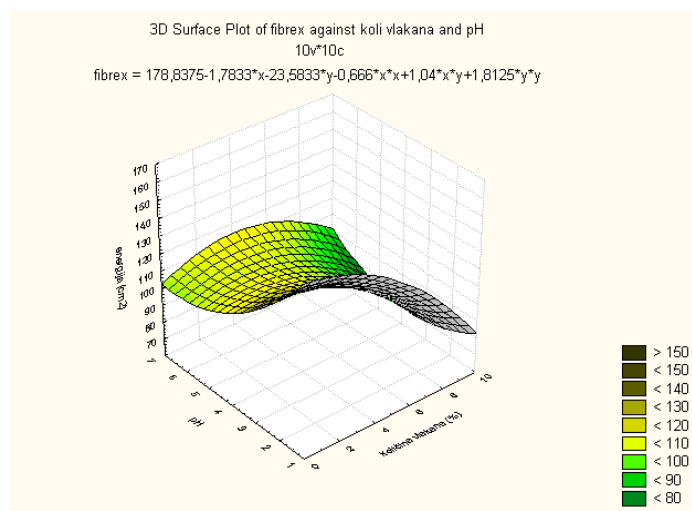
nešto lošija obradivost testa, dok inulin GR održava elastičnost testa na nivou vrednosti testa sa 0% vlakana. Zapaža se da pri dodatku 5% različitih vlakana (fibrex, inulin HPX i GR) dolazi do smanjenja stepena omekšanja za oko 30 do 40 Fj na svim pH vrednostima, a pri dodatku 10% različitih vlakana dolazi do očvršćavanja testa za 20 do 30 Fj, na svim pH vrednostima, što utiče na povećanje kvalitetnog broja i kvalitetne klase. Iz ovoga proističe da brašno sa dodatkom vlakana ima produženu sposobnost hidratacije, što povoljno deluje na ponašanje testa tokom tehnološkog procesa. Smanjenje stepena omekšanja ukazuje na testo boljih tehnoloških karakterisitika, koje podnosi intenzivnu mehaničku obradu u procesu proizvodnje. Iz ovog razmatranja sledi da pojedini farinografski pokazatelji zavise od vrste i količine vlakana, a pH vrednost vode na zames nema uticaja i na ove parametre. Blizina izoelektrične tačke, odnosno "nepokretljivost proteina" doprinosi pogoršanju reoloških osobina testa ali nije dovoljno izražen uticaj pH na nepokretljivost glutena, pošto je pri mešenju testo u stalnom kretanju.

Energija utrošena za rastezanje testa je pokazatelj kvaliteta brašna, odnosno kada je energija velika, može se očekivati veća zapremina hleba (*Kaluđerski i sar., 1986*). Pored velike energije, za proizvodnju hleba poželjno je da je odnos između rastezanja prema rastegljivosti od 1,5 do 2,5 (*Kaluđerski i Filipović, 1998*). Što je brašno jače, to su veće vrednosti energije i otpora, a manje vrednosti rastegljivosti (*Auerman 1988*).

Tabela 4.3.3. Uticaj vlakana i pH vode na ekstenzografske pokazatelje

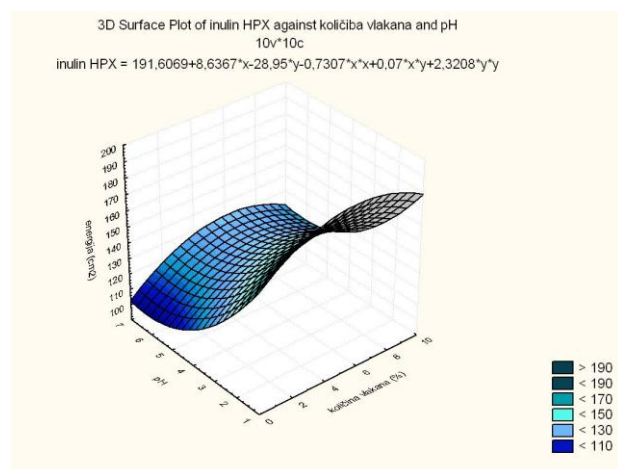
Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR	
		5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Količina vlakana (%)	0%	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
pH=7							
Energija (cm ²)	104,0	112,7	90,2	127,9	121,7	178,9	207,0
Otpor testa (Ej)	580	900	875	740	950	780	1150
Max otpor testa (Ej)	710	995	895	880	1000	1000	1200
Rastegljivost (mm)	120	100	89	111	88	97	97
O/R	4,8	9	9,8	6,7	10,8	8,04	11,8
pH=5							
Energija (cm ²)	104,7	105,4	76,6	130,9	122,5	184,3	214,6
Otpor testa (Ej)	520	780	780	680	890	780	1120
Max otpor testa (Ej)	650	875	780	820	950	1020	1180
Rastegljivost (mm)	132	101	88	122	102	132	117
O/R	3,9	7,7	8,9	5,6	8,7	5,9	9,5
pH=4							
Energija (cm ²)	112,5	125,7	66,1	126,0	139,5	194,6	228,4
Otpor testa (Ej)	550	940	700	660	970	780	1150
Max otpor testa (Ej)	695	1000	700	805	1015	970	1190
Rastegljivost (mm)	130	109	79	105	95	130	110
O/R	4,2	8,6	8,9	6,3	10,2	6	10,4
pH=3							
Energija (cm ²)	124,5	116,4	69,1	154,4	139,4	214,1	256,5
Otpor testa (Ej)	715	930	675	895	1000	780	1150
Max otpor testa (Ej)	805	1000	680	1000	1100	1030	1170
Rastegljivost (mm)	120	98	97	101	83	110	92
O/R	6,0	9,5	6,9	8,7	12	6,5	12,5

Iz tabele 4.3.3. se vidi da testo sa 0% vlakana u neutralnoj sredini ima veliku energiju (104 cm²), veliki otpor (580) Ej i prosečnu rastegljivost (120 mm). Vrednosti ovih parametara pokazuju da ispitano brašno ima veliku jačinu, i da je pogodno je za pekarsku proizvodnju, pri čemu se može očekivati hleb dobrih pecivnih osobina. Energija testa sa 0 % vlakana se povećava za 20% sa povećanjem kiselosti vode za zames (od pH 7 do pH 3).

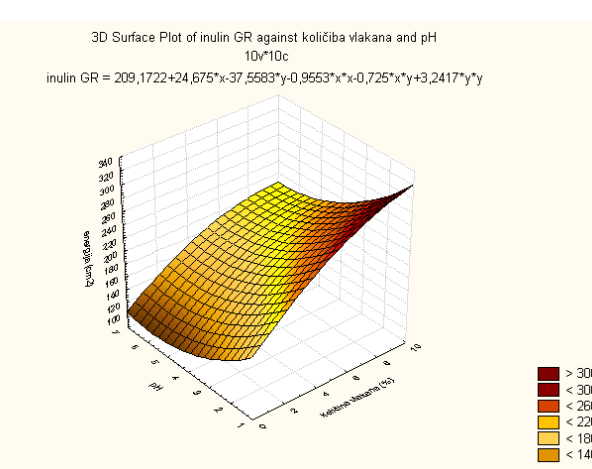


Slika 4.3.20. Uticaj Fabrexa i pH vode vode za zames na energiju testa

Iz tabele 4.3.3. i slika 4.3.20. do 4.3.22. vidi se da se pri dodatku Fibrexa i inulina HPX i GR menja izgled ekstenzografske krive u odnosu na testo sa 0% vlakana. Testo sa 10% Fibrexa ima značajno manju energiju za oko 30 % u odnosu na testo sa 0 % vlakana. Takođe se zapaža da se sa opadanjem pH vrednosti od 7 do 3, energija testa sa Fibrexom smanjuje, što ukazuje na činjenicu da na inkorporaciju vlakana Fibrexa u gluten utiče blizina izoelektrične tačke pšeničnih proteina. Odnosno, dodatkom inulina HPX i GR dolazi do znatnog povećanja energije i otpora na rastezanje i smanjenja rastegljivosti, u odnosu na testo sa 0% vlakana, što je verovatno posledica produžene hidratacije inulina u testu i u skladu je sa farinografskim podacima.



Slika 4.3.21. Uticaj inulina HPX i pH vode za zames na energiju testa



Slika 4.3.22. Uticaj inulina GR i pH vode za zames na energiju testa

Pored farinografskih i ekstenzografskih ispitivanja, za formiranje kompletne slike o uticaju vlakana i pH vode za zames na karakteristike kvasnog testa, vrlo su važni maturografski pokazatelji. Iz tabele 4.3.4. vidi se da testo sa 0% vlakana u neutralnoj sredini ima završnu fermentaciju od 65 min, veliki stabilitet fermentacije, veliki otpor testa (koji ukazuje na dobru sposobnost zadržavanja gasovitih produkata fermentacije) i veliku elastičnost (koja ukazuje na dobru obradivost testa). Iz tabele 4.3.4. vidi se da smanjenjem pH vrednosti vode za zames od pH 7 do pH 3 kod testa bez vlakana dolazi do produženja vremena završne fermentacije, skraćenja stabiliteta fermentacije (sem na pH 3), pri čemu elastičnosti testa varira u zavisnosti od pH vode za zames.

Dodatak 5% Fibrexa u testo utiče na neznatno skraćenje završne fermentacije od 1 do 2 min u odnosu na testo sa 0% vlakana, dok dodatak inulina GR utiče na značajno skraćenje završne fermentacije, ali ne i na obradivost testa (otpor i elastičnost) koja iznosi od 12 do 15 min. Zapaža se da se na pH 4 dodavanjem vlakana (Fibrexa, inulin HPX i GR) registruje najveće skraćenje vremena završne fermentacije, koje iznosi od 17 do 27% u odnosu na testo sa 0% vlakana, što je u skladu sa ekstenzografskim pokazateljima.

Fibrex i inulin HPX dovode do skraćenja stabiliteta fermentacije u odnosu na testo sa 0% vlakana, pri čemu je ovaj efekat naročito izražen pri dodatku 5% Fibrexa i 10% inulina HPX jer dovodi do duplog skraćenja stabiliteta fermentacije. Izuzetak je dodatak Fibrexa na pH 4 i 5% inulina HPX na pH 5, gde se održava stabilitet fermentacije na nivou testa sa 0% vlakana. Ovi podaci ukazuju da na stabilitet fermentacije testa sa Fibrexom i inulinom HPX utiče pH vrednost vode za zames, što nije slučaj i sa dodatkom 5% inulina GR koji se identično ponaša kao i testo sa 0% vlakna. Dodatak 10% inulina GR dovodi do smanjenja stabiliteta fermentacije, otpora i elastičnosti testa u odnosu na testo sa 0% vlakana.

Tabela 4.3.4. Uticaj vlakana i pH vode za zames na maturografske pokazatelje

Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR	
		5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Količina vlakana (%)	0%	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
pH=7							
vreme završne fermentacije (min)	65	64	50	64	56	52	50
stabilitet fermentacije (min)	11	2	6	5	5	11	7
otpor testa (Mj)	820	640	445	780	630	885	650
elastičnost testa (Mj)	260	220	485	290	200	300	220
pH=5							
vreme završne fermentacije (min)	70	68	53	60	54	56	51
stabilitet fermentacije (min)	8	4	1	8	5	8	3
otpor testa (Mj)	795	650	470	760	630	830	630
elastičnost testa (Mj)	360	270	180	320	190	430	290
pH=4							
vreme završne fermentacije (min)	70	58	61	55	53	56	51
stabilitet fermentacije (min)	2	2	2	1	1	2	1
otpor testa (Mj)	740	640	460	775	990	775	622
elastičnost testa (Mj)	260	240	200	230	130	290	220
pH=3							
vreme završne fermentacije (min)	82	81	71	63	63	65	60
stabilitet fermentacije (min)	12	4	10	8	4	12	8
otpor testa (Mj)	700	600	400	680	530	740	570
elastičnost testa (Mj)	300	260	190	240	130	330	270

Na svim pH vrednostima dodatak Fibrexa, inulina HPX i 10% inulina GR dovodi do smanjenja otpora testa i elastičnosti testa u odnosu na testo sa 0% vlakana. Do povećanja otpora i elastičnost testa u odnosu na testo sa 0% dolazi pri dodatku 5% inulina GR (tabela 4.3.4.). Zapaža se da na vrednosti pH 4 dolazi do povećanja otpora testa dodatkom 5 i 10 % inulina HPX i GR za 5% i 33% u odnosu na testo sa 0% vlakana. Ovakva promena otpora je u suprotnosti sa otporom kod ekstenzografskih merenja, gde je sa porastom udela inulina rastao i otpor testa, što je, verovatno, posledica različitog sirovinskog sastav testa i različite dužine odležavanja testa kod ove dve metode.

Elastičnost testa ne zavisi od pH vrednosti vode za zames, ali zavisi od količine i vrste vlakana (tabela 4.3.4). Pri dodatku Fibrexa i inulina HPX elastičnosti se smanjuje, pri čemu je ovaj efekat više izražen što je veća količina vlakana dodata u testo, te se može očekivati da će se ovo testo teže obrađivati. Dodatkom 5% inulina GR, elastičnost testa se povećava za 15%, a

dodatkom 10% istog inulina se smanjuje za 15% u odnosu na testo sa 0% vlakana. Elastičnost testa ukazuje na njegovu obradivost, te sledi da će testo sa dodatkom 5% inulina GR imati bolju obradivost od testa sa dodatkom Fibrexa i inulina HPX. Ovako loša obradivost testa pri dodatak 10% vlakana je, verovatno, posledica očvršćavanja testa, odnosno naknadne hidratacije vlakana, što je u skladu sa farinografskim podacima.

Viskozitet suspenzije uslovljen je osobinom skrobnih zrnaca da primaju vodu usled čega povećavaju svoju zapreminu i izazivaju promenu odnosa sastavnih delova suspenzije voda-brašno. Optimalne vrednosti maksimalnog viskoziteta za brašna namenjena proizvodnji hleba su u granicama od 450 do 650 Aj (*Kaluđerski i Filipović, 1998*).

Testo sa 0% vlakana ima izrazito visoku vrednost maksimalnog viskoziteta (tabela 4.3.5.). Sa povećanjem kiselosti vode dolazi do povećanja maksimalnog viskoziteta, što ukazuje na veoma malu aktivnost α amilaze, pa se može očekivati da će hleb od ovog brašna imati suhu i mrvljivu sredinu i svetlorumenu boju kore. Treba istaći da se pri pH 4 maksimalni viskozitet smanjuje za oko 11% u odnosu na neutralnu vodu. Temperatura početka i temperatura završetka želatinizacije odgovaraju temperaturi želatinizacije pšeničnog skroba. Stabilnost želatinizacije testa sa 0% vlakana je relativno mala i povećava se sa snižavanjem pH vrednosti vode. Viskozitet suspenzije testa sa 0% vlakana na 50 °C pri pH 7 je izuzetno visok a njegova vrednost povećava se sa snižavanjem pH vode, pa se može očekivati intenzivno starenje hleba.

Dodatkom inulina HPX i GR, i 10% Fibrexa dovodi do smanjenja maksimalnog viskoziteta, dok dodatak 5% Fibrexa utiče na povećanje maksimalnog viskoziteta od 15 do 30% u odnosu na suspenziju sa 0 % vlakana. Zapaža se veće smanjenje maksimalnog viskoziteta dodatkom 10% vlakna, što je verovatno posledica zamene dela brašna vlaknima, odnosno manje količine skroba u sistemu koji bubri. Najveće smanjenje viskoziteta suspenzije zapaža se kod pH 5, odnosno inulin HPX na ovoj pH vrednosti vezuje najveću količinu vode i dostupna količina vode skrobu je najmanja, pa zbog toga i viskozitet suspenzije ima najnižu vrednost. Dodatkom 5% inulina GR maksimalni viskozitet se smanjuje za 22% nezavisno od pH vrednosti. Sa povećanjem kiselosti, dodatak 10 +% inulina GR maksimalni viskozitet se smanjuje za 37 do 27% u odnosu na testo sa 0% vlakana.

Tabela 4.3.5. Uticaj vlakana i pH vode na viskografske pokazatelje

Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR	
		5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Količina vlakana (%)	0%	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
pH=7							
maksimalni viskozitet (Aj)	1340	1300	1250	1040	840	1080	840
stabilitet želatinizacije (min)	6	6	5,5	6,5	8	6	7
viskozitet nakon 30' na 95 °C (Aj)	800	980	820	720	600	640	560
viskozitet na 50 °C (Aj)	5900	5900	6040	4900	4200	4920	4100
pH=5							
maksimalni viskozitet (Aj)	1590	2080	1490	900	800	1040	880
stabilitet želatinizacije (min)	9	5	7	7,5	10	8	8
viskozitet nakon 30' na 95 °C (Aj)	1440	820	1260	640	620	720	640
viskozitet na 50 °C (Aj)	6400	5900	5820	4620	4080	4600	4000
pH=4							
maksimalni viskozitet (Aj)	1190	1390	1430	980	840	1080	940
stabilitet želatinizacije (min)	7	8	9	9	9,5	6	8
viskozitet nakon 30' na 95 °C (Aj)	820	1140	1020	760	680	760	740
viskozitet na 50 °C (Aj)	6600	7260	6280	5600	5080	5600	5160
pH=3							
maksimalni viskozitet (Aj)	1640	1850	1420	1000	900	1040	980
stabilitet želatinizacije (min)	8	7	5	7	8	6	6
viskozitet nakon 30' na 95 °C (Aj)	580	1480	1200	460	460	520	420
viskozitet na 50 °C (Aj)	7210	6280	6240	4920	4220	5000	4100

Kod svih uzoraka temperatura početka želatinizacije je 61°C,

Temperatura završetka želatinizacije je 95 °C

Temperatura početka retrogradacije je 90.5 °C

Vlakna takođe utiču na smanjenje stabilnosti želatinizacije, sem na pH 4 kada se dodatkom Fibrexa, inulina HPX i GR registruje produženje stabiliteta želatinizacije za 1 do 2 min.

Fibrex utiče na povećanje viskoziteta suspenzije nakon 30 min. na 95 °C. Sa smanjenjem pH vrednosti, viskozitet se povećava, što je, verovatno, posledica dobre hidratacije Fibrexa u kiseloj sredini, pri čemu je izuzetak smanjenje viskoziteta suspenzije na pH 5. Na povišenim temperaturama dolazi do odmotavanja strukture proteina (Lásztity 1996,) i slabljenja veze sa Fibrexom što doprinosi oslobađanju "zarobljenih" skrobnih zrnaca koja mogu da vezuju vodu, odnosno da bubre i klajsterizuju povećavajući viskozitet suspenzije. Dodatkom inulina HPX ili GR dolazi do smanjenja viskoziteta suspenzije, pri čemu je ovaj efekat više izražen pri većoj količini inulina, odnosno inulin HPX i GR ne bubre, a u sistemu koji bubri je u celosti manje skrobnih

zrnaca. Najmanji uticaj na smanjenje viskoziteta u odnosu na testo sa 0% vlakana ima dodatak inulina HPX i inulina GR na pH 4, dok dodatak inulina HPX najviše utiče na smanjenje viskoziteta suspenzije pri pH 5, a inulin GR na pH 7. Imajući u vidu da je temperatura početka retrogradacije ista kod svih uzoraka, sledi da dodatak inulina, ne ometa povezivanje molekulskih lanaca amiloze vodoničnim vezama, pa je promena viskoziteta nakon 30 minuta na 95 °C verovatno samo posledica različite sposobnosti bubrenja inulina na različitim pH vrednostima.

Zapaža se da Fibrex utiče na smanjenje viskoziteta ohlađenog gela na 50 °C u odnosu na testo sa 0% vlakana, dok ista količina dodatog inulina HPX i GR vrlo slično deluje na viskozitet suspenzije na 50 °C. Kod pH 7, pH 5 i pH 3 viskoziteti su veoma bliskih vrednosti i dodatak 5% inulina HPX i GR smanjuje viskozitet za 17 do 22%, a dodatak 10% inulina HPX i GR smanjuje pomenuti parametar za 29 do 30% u odnosu na testo sa 0% vlakana. Na pH 4 uočava se veoma malo smanjenje viskoziteta suspenzije sa inulinom HPX i GR u odnosu na testo sa 0% vlakana. Iz ovoga sledi da će hleb sa inulinom zamešen sa vodom čija je vrednost pH 4 najbrže da satre. Fibrex dovodi u većini slučajeva do smanjenja viskoziteta u odnosu na testo sa 0% vlakana, ali ovaj efekat je manji nego pri istoj pH vrednosti i istoj količini dodatog inulina HPX ili GR.

Zapaža se da inulin GR ima najveći uticaj na smanjenje viskoziteta suspenzije voda-brašno-vlakana, što je verovatno posledica načina bubrenja inulina GR, koji u vodenom rastvoru mlečne kiseline prelazi u gel i na taj način doprinosi viskozitetu suspenzije.

4.3.2.2. Uticaj vlakana na pecivne osobine testa

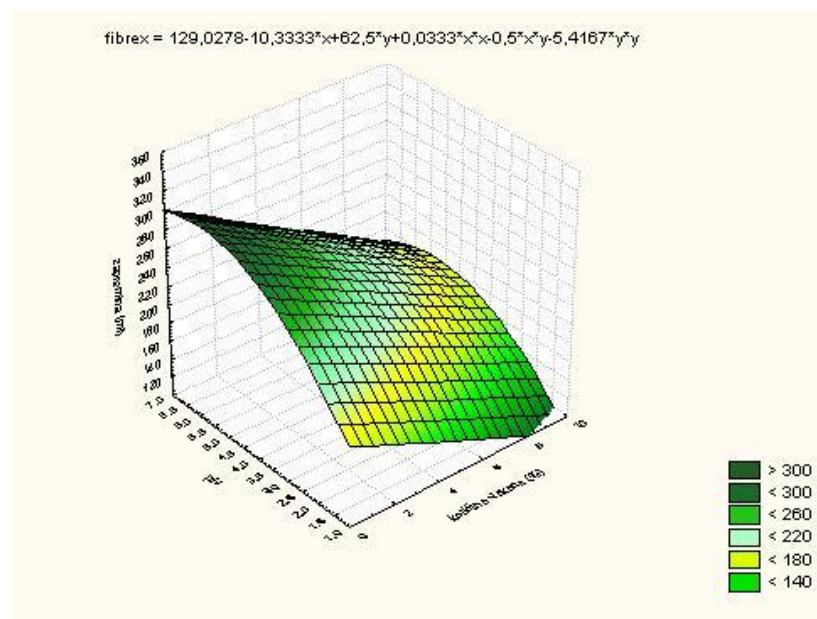
Iz tabele 4.3.6. se vidi da smanjenje pH vrednosti od 7 do 3 kod testa sa 0% vlakana utiče na poboljšanje kvaliteta hleba, sem na pH 5 kada se registruje pogoršanje kvaliteta hleba.

Tabela 4.3.6. Uticaj vlakana i pH vode za zames na pokazatelje kvaliteta hleba

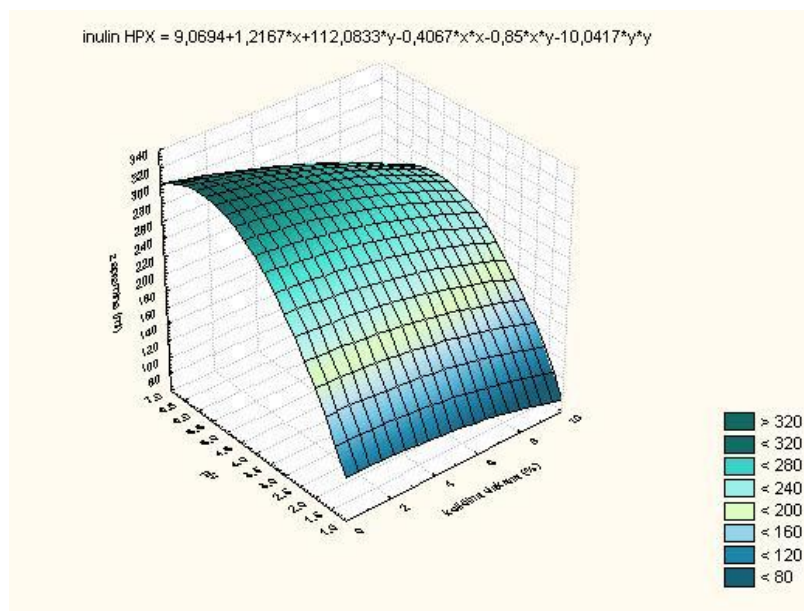
Vrsta vlakana	Bez vlakana	Fibrex		Inulin HPX		Inulin GR		
		Količina vlakana (%)	0%	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)
pH=7								
prinos testa (g)	158,3	165,7	172,1	154,3	153	151,2	145,3	
prinos hleba (g)	128,9	134,8	140,2	126,7	127,8	126,6	124,3	
zapremina (cm ³)	365	284,6	216,5	317,5	280	335	268	
prinos zapremine (cm ³ /100g)	385,2	314,5	248,6	326,6	258,6	337,7	259,1	
vbs	6,4	5,5	6,3	6,3	3,8	5,8	0,8	
pH=5								
prinos testa (g)	150	156,9	163,7	156,1	154,9	152,1	145,8	
prinos hleba (g)	128,6	134,4	140,4	130,9	132,8	128,8	125,2	
zapremina (cm ³)	402,1	290,7	210	320	272,5	335	265	
prinos zapremine (cm ³ /100g)	391,3	295,6	223,4	333	281,4	339,7	257,6	
vbs	5,9	6,5	4,1	5,9	3,8	5,5	0,8	
pH=4								
prinos testa (g)	157,6	164,9	172,4	155,5	153,8	151,8	146	
prinos hleba (g)	127,6	134,3	140,4	13,03	131	128,5	124,6	
zapremina (cm ³)	408	253,4	191,6	330	275	333	277,5	
prinos zapremine (cm ³ /100g)	429,3	279	220	342,1	281,9	336,5	270,1	
vbs	6,9	5,5	4,7	4,4	3,2	5,7	1,2	
pH=3								
prinos testa (g)	159,8	164,8	172,2	155,5	154,1	151,5	145,9	
prinos hleba (g)	130,1	134,3	140,3	132	130,4	127,2	125,4	
zapremina (cm ³)	315,5	272,2	191,8	315	270	327,5	270	
prinos zapremine (cm ³ /100g)	336,4	299,3	220,4	326,5	277,4	330,8	262,6	
vbs	7	6,6	5,5	6,2	3,8	5,9	1,2	

Na zapreminu hleba, kao jednog od parametara kvaliteta gotovog proizvoda, utiče vrsta i količina vlakana (tabela 4.3.6). Sa povećanjem količine vlakana u sirovinskom sastavu, dolazi do smanjenja zapremine hleba, a uticaj pH vrednosti vode za zames na posmatrani parametar je na nivou ponovljivosti metode. Dodatak Fibrexa utiče na veće smanjenje zapremine hleba u odnosu na dodatak inulina HPX ili GR pri istim uslovima (količina vlakana i pH vrednost) (slike 5.23 – 5.25).

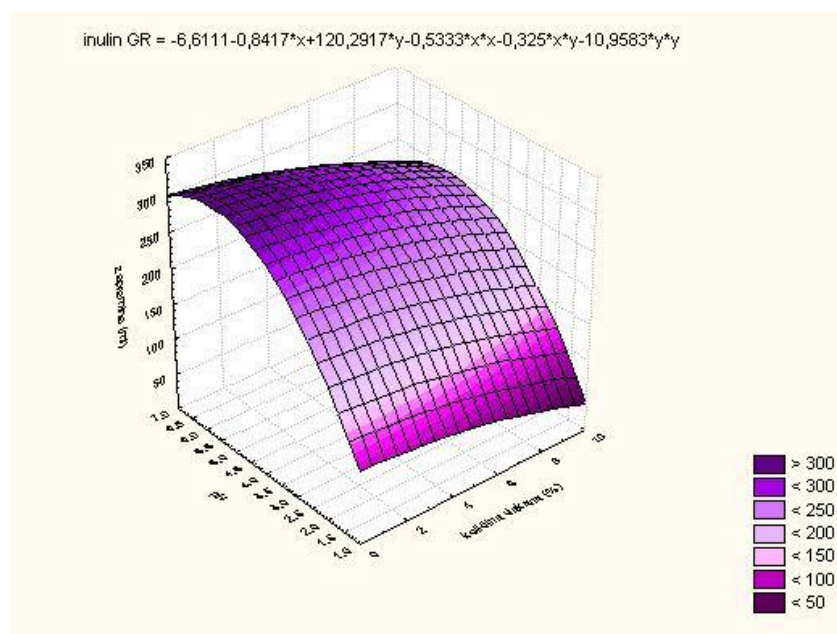
Takođe se može uočiti da se dodatkom 5% inulina GR dobija nešto veća zapremina u poređenju sa dodatkom iste količine inulina HPX (tabela 4.3.6, slike 4.3.23. i 4.3.25), i pri čemu hleb sa dodatkom 5% inulina HPX kod pH 4 odstupa od ovog trenda i njegova zapremina je na sličnom nivou kao zapremina hleba sa dodatkom 5% inulina GR (tabela 4.3.6.), što je u skladu sa maturografskim pokazateljima (tabela 4.3.4). Zapaža se da hlebovi sa 10% inulina i sa kratkim i dugim molekulskim lancima (slike 4.3.24. i 4.3.25.) imaju veoma bliske zapremine, što je u skladu sa tumačenjem maturografskih pokazatelja. Hleb sa 10% Fibrexa ima za oko 20% manju zapreminu od hlebova sa istom količinom (slika 4.3.23) inulina HPX ili GR, što ukazuje da Fibrex (slika 4.3.1) vezuje veliku količinu vode, koja se vezuje za amino-kiseline i razdvaja molekule proteina, odnosno narušava intra- i intermolekularne veze testa.



Slika 4.3.23. Uticaj Fibrexa i pH vode vode za zames na zapreminu hleba



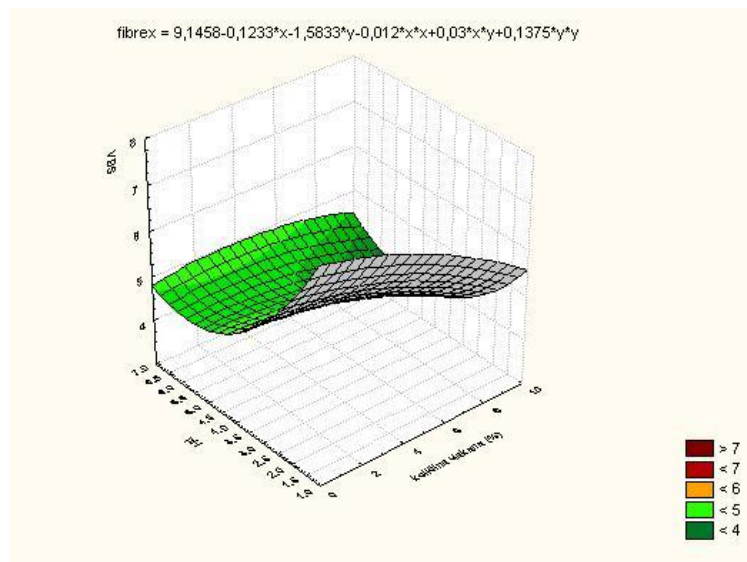
Slika 4.3.24. Uticaj inulina HPX i pH vode za zames na zapreminu hleba



Slika 4.3.25. Uticaj inulina GR i pH vode za zames na zapreminu hleba

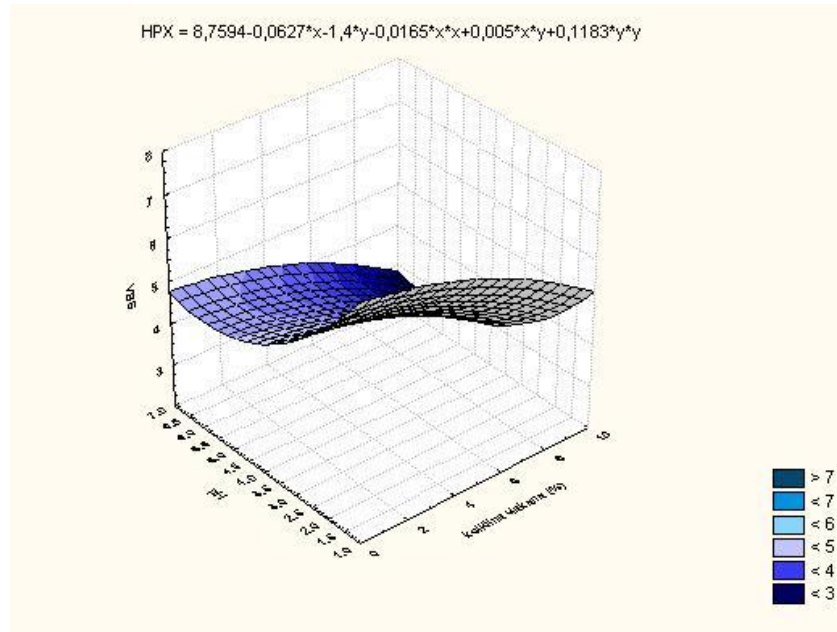
Iz tabele 4.3.6. i sa slike 4.3.26. vidi se da na kvalitet sredine hleba sa Fibrexom ima veći uticaj pH vrednost, u odnosu na količinu Fibrexa. U odnosu na hleb sa 0% vlakana, dodatak

Fibrexa utiče na smanjenje vrednosnog broja sredine, što je izraženije kada je veća količina Fibrexa prisutna u hlebu i kada su niže pH vrednosti.

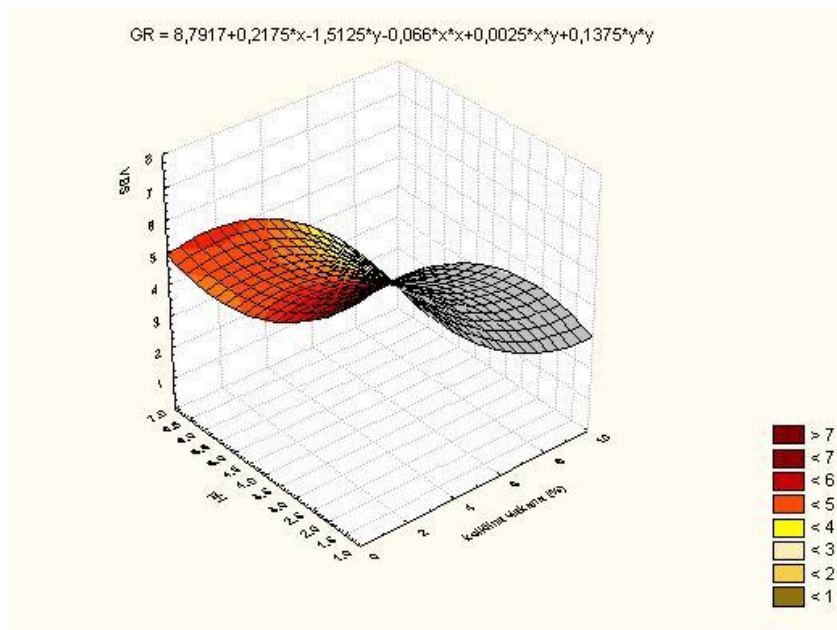


Slika 4.3.26. Uticaj Fabrex-a i pH vode za zames na kvalitet

Dodatkom 5% inulina HPX (tabela 4.3.6 slika 4.3.27.) vrednosni broj sredine hleba ostaje na nivou hleba sa 0% vlakana sem kod pH 4 gde se pomenuti pokazatelj smanjuje za 2 boda, dok 10% inulina HPX smanjuje kvalitet hleba za 3,2 boda. U odnosu na hleb sa 0% vlakana dodatak 5% inulina GR malo pogoršava kvalitet hleba, dok 10% inulina GR ima veliki negativan uticaj na finoću i strukturu pora. Iz tabele 4.3.6. i sa slika 4.3.26-4.3.28 vidi se da na pH 4, gde su proteini glutena u izoelektričnoj tački, dolazi do najvećeg pada kvaliteta gotovog proizvoda sa 5 i 10% vlakana (Fibrexa, inulina HPX i GR). Odnosno, na ovoj pH vrednosti, dolazi do ubrzane retrogradacije skroba, što je u skladu sa viskografskim podacima (tabela 4.3.5), pa se može očekivati da će doprinositi ubrzanom starenju gotovog proizvoda.



Slika 4.3.27 Uticaj inulina HPX i pH vode za zames na kvalitet hleba



Slika 4.3.28 Uticaj inulina GR i pH vode za zames na kvalitet hleba

4.3.3. MATEMATIČKA ANALIZA INTERAKCIJE VLAKANA I HLEBNOG TESTA PRI ZAMRZAVANJU

4.3.3.1. Matematička analiza uticaja vlakana na ponašanje zamrznutog testa na završnoj fermentaciji

Procesom proizvodnje hleba od zamrznutog testa značajno su poboljšani uslovi rada i smanjeni troškovi proizvodnje. Pored značajnih prednosti, postupak proizvodnje hleba od zamrznutog testa, ima i nedostatake, kao što su oštećenja glutenskih lanaca kristalima leda i uticaj na tok želatinizacije i retrogradacije skroba. Ove pojave imaju uticaja na pokazatelje kvaliteta proizvoda, kao što su zapremina i oblik, izgled sredine hleba i brzina procesa starenja. U cilju dobijanja pekarskih proizvoda od zamrznutog testa, sličnih osobina i proizvodima od svežeg testa mora se obratiti pažnja na dužinu zamrzavanja, sirovinski sastav testa i sposobnost testa da zadrži CO₂ (Ribotta i sar., 2003). Očekuje se da inkorporiranje vlakana u glutenski matriks u uslovima zamrzavanja može da doprinese očuvanju strukture testa i kvaliteta gotovog proizvoda.

Ponašanje testa na završnoj fermentaciji prikazano je dužinom završne fermentacije i stabilitetom fermentacije (tabela 4.3.7). Srednja vrednost i standardna devijacija pokazuju da dužina završne fermentacije zavisi od vrste vlakana i dužine skladištenja na niskim temperaturama.

Uticaj različitih vlakana na ponašanje testa na završnoj fermentaciji ocenjivan je multivarijantnim postupkom i diskriminativnom analizom (tabela 4.3.7. i 4.3.8) (Andersson 1984). MANOVA test razlike je pokazao da postoji značajna razlika u uticaju različitih vlakana pri zamrzavanju testa (0, 1, 30 i 60 dana) pošto je $p = 0,000$. Alternativna hipoteza da postoji značajna razlika u uticaju vrste vlakana na posmatrani parametar tokom zamrzavanja, potvrđena je i Roy testom jer je po njemu $p < 0,1$. Koeficijent diskriminacije pokazuje da je najveći uticaj vlakana na završnu fermentaciju i stabilitet testa (199,006 i 5,739) nakon prvog dana zamrzavanja (tabela 4.3.10), što je u skladu sa literaturnim podacima (Kulp, 1995; Ribotta i sar., 2003; Brennan & Tudorica, 2008; Rosell & Collar, 2009).

Tabela 4.3.7. Uticaj vlakana na osobine testa pri zamrzavanju

	Završna fermentacija (min)				Stabilitet fermentacije (min)			
	Srednja vrednost	Interval poverenja		p*	Srednja vrednost	Interval poverenja		p*
Period zamrzavanja	0% vlakana							
0 dan	84±2,83	81,03	86,97	0,996	9±2,1	6,80	11,20	0,988
1 dan	65,67±2,66	62,88	68,46	0,721	9,67±2,66	6,88	12,46	0,721
30 dan	109,67±24,64	83,8	135,53	0,936	6,67±2,73	3,80	9,53	1
60 dan	151,67±1,51	150,09	153,25	0,862	8,33±2,34	5,88	10,79	0,926
	5% Fibrexa							
0 dan	38,33±5,28	32,79	43,87	0,997	7,67±2,66	4,88	10,46	0,721
1 dan	88,67±2,07	86,5	90,83	0,681	8,33±4,27	3,85	12,82	0,973
30 dan	79,67±2,34	77,21	82,12	0,998	4,67±1,63	2,95	6,38	0,959
60 dan	74,67±3,27	71,24	78,1	0,999	4,67±2,07	2,5	6,84	0,681
	5% inulin-a HPX							
0 dan	78,33±1,51	76,75	79,91	0,833	17,67±5,85	11,52	23,81	,950
1 dan	70,33±2,94	67,24	73,42	1	20,33±6,86	13,13	27,53	,997
30 dan	119,67±3,2	116,3	123,03	0,959	9,00±2,10	6,8	11,2	,988
60 dan	111,67±4,63	106,8	116,53	0,924	10,33±4,97	5,12	15,55	,626
	5% inulin-a GR							
0 dan	95±3,29	91,55	98,45	0,978	7,00±2,1	4,8	9,20	,988
1 dan	69,33±10,17	58,66	80,01	0,969	4,33±3,88	0,26	8,41	,781
30 dan	171±10,64	159,83	182,17	0,928	8,33±4,27	3,85	12,82	,958
60 dan	210,33±27,02	181,97	238,7	1	8,33±2,34	5,88	10,79	,926

p* - test rizika zaključivanja

Tabela 4.3.8. Statistička analiza uticaja vlakana na maturografske pokazatelje testa pri zamrzavanju

	Završna fermentacija (min)			Stabilitet fermentacije (min)		
	n	F	p	n	F	p
Manova	4	67,435	0,000	4	6,619	0,000
Roy test	0 dan	299,487	0,000	0 dan	11,773	0,000
	1 dan	20,655	0,000	1 dan	12,805	0,000
	30 dan	47,116	0,000	30 dan	2,737	0,071
	60 dan	105,877	0,000	60 dan	3,361	0,039

n- broj promenljivih (broj dana)

F- Fisherov test

p- test rizika zaključivanja

Tabela 4.3.9. Diskriminativna analiza uticaja vlakana na maturografske pokazatelje testa pri zamrzavanju

	Završna fermentacija (min)			Stabilitet fermentacije (min)		
	n	F	p	n	F	p
Diskriminativna analiza	4	316,849	0,000	4	10,410	0,000

n- broj promjenljivih (broj dana)

F- Fisherov test

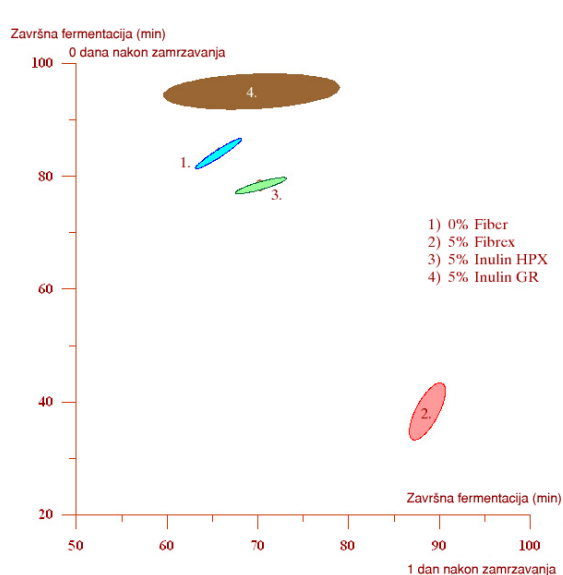
p- test rizika zaključivanja

Vreme završne fermentacije kod testa sa Fibrexom se produžava i značajno je veće od vremena završne fermentacije kod testa bez vlakana ili kod testa sa inulinom HPX i GR, gde se vreme završne fermentacije smanjuje (tabela 4.3.7).

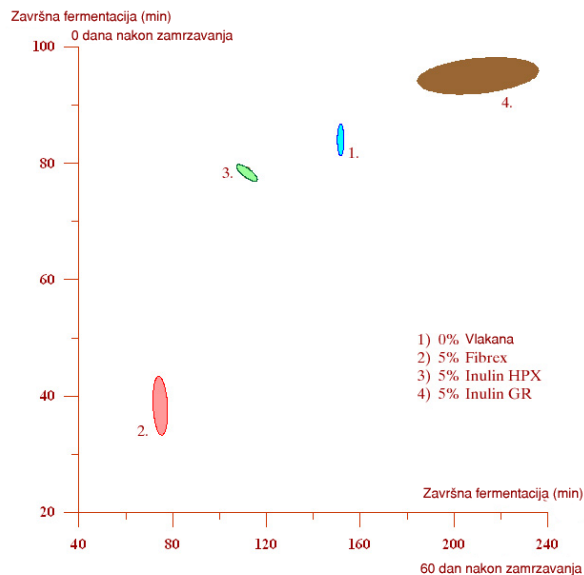
Tabela 4.3.10. Uticaj vlakana na koeficijent diskriminacije testa tokom zamrzavanja

	Završna fermentacija (min)	Stabilitet fermentacije (min)
	Koeficijent diskriminacije	Koeficijent diskriminacije
0 dan	157,058	4,805
1 dan	199,006	5,739
30 dan	31,907	0,368
60 dan	175,854	0,338

U kratkom periodu zamrzavanja nije izražen zaštitni uticaj vlakana na aktivnost pekarskog kvasca već dominira uticaj visokog sadržaja vode u testu i uticaj formiranih kristala leda, što je u skladu sa tvrdjenjem Kulpa (1995). Pri dužem čuvanju testa u zamrznutom stanju (30 i 60 dana) vreme završene fermentacije se produžava kod svih uzoraka, pri čemu testo sa inulinom GR ima najveće vrednosti i po statističkim podacima se značajno razlikuje od ostalih analiziranih uzoraka, dok testo sa Fibrexom ima najmanje vrednosti. Vreme završne fermentacije testa sa inulinom GR je 2 do 3 puta duže nego kod testa sa Fibrexom (tabela 4.3.11, slike 4.3.29. i 4.3.30).



Slika 4.3.29. Interval poverenja završne ferm. testa sa vlaknima koje je zamrzavano 1 i 0 dana



Slika 4.3.30. Interval poverenja završne ferm. testa sa vlaknima koje je zamrzavano 60 i 0 dana

Diskriminativna analiza pokazuje da vlakna najviše utiču na završnu fermentaciju i stabilitet fermentacije na samom početku zamrzavanja (tabela 4.3.10). Permanentnost uticaja vlakana na posmatrane parametre potvrđuje podatak o homogenosti ovih vlakana koja iznosi 100% (tabela 4.3.11), a kod testa bez vlakana izražen je samo uticaj dužine zamrzavanja.

Statistička analiza (tabela 4.3.7) pokazuje da na stabilitet fermentacije utiče vrsta vlakna i dužina zamrzavanja, pri čemu testo sa inulinom HPX ima najduži stabilitet fermentacije koji se značajno razlikuje u odnosu na druga dva vlakna (slika 4.3.31. i 4.3.32) i testo bez vlakana (tabela 4.3.11). Pri dužem periodu zamrzavanja testa (30 i 60 dana) stabilitet fermentacije testa sa Fibrexom i inulinom HPX skoro 2 puta je kraći od testa koje nije, ili je bilo zamrzavano jedan dan. Dodatak inulina GR utiče na produženje završne fermentacije.

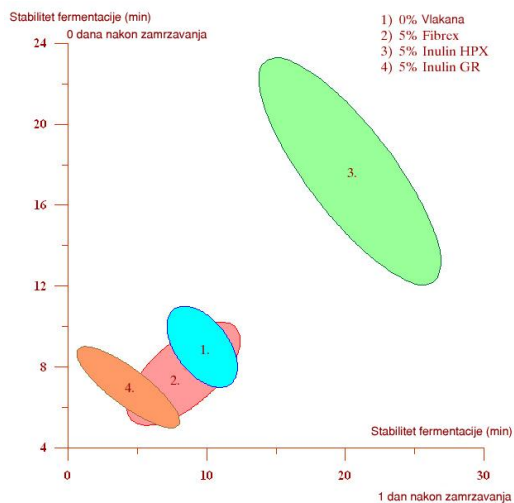
Tabela 4.3.11 Karakteristike i doprinos obeležja karakteristika vlakana maturografskim pokazateljima pri zamrzavanju testa

	Završna fermentacija (min)				
	0% vlakana	5 % Fibrexa	5% inulin-a HPX	5% inulin-a GR	doprinos (%)
0 dan	veće* ²	najmnje	manje* ¹	najveće* ³	27,86
1 dan	najmnje	najveće* ³	veće* ¹	manje	35,30
30 dan	manje* ¹	najmnje	veće* ¹	najveće* ³	5,66
60 dan	veće* ²	najmnje	manje* ¹	najveće* ³	31,19
Homogenost (%)	66,67	100,00	100,00	100,00	
	Stabilitet fermentacije (min)				
	0% vlakana	5 % Fibrexa	5% inulin-a HPX	5% inulin-a GR	doprinos (%)
0 dan	veće	manje	najveće* ³	najmnje	42,711
1 dan	veće* ¹	manje	najveće* ³	najmnje	51,013
30 dan	manje	najmnje	najveće* ¹	veće* ¹	3,004
60 dan	veće* ¹	najmnje	najveće* ¹	manje* ¹	3,271
Homogenost (%)	66,67	100,00	100,00	100,00	

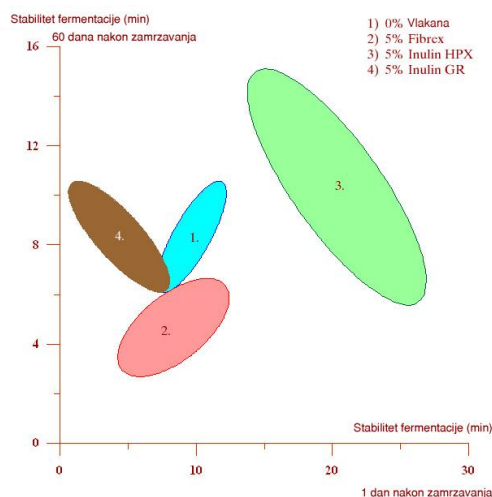
* - označava postojanost značajne razlike,

1,2 ili 3 – označava broj uzoraka od kojih se razlikuje

Najveći uticaj vlakana na stabilitet fermentacije je posle prvog dana zamrzavanja (tabela 4.3.10), što je više vezano za interakciju vlakana sa glutenskom strukturom, a ne na aktivnost kvasca (*Ribotta i sar., 2003; Gugerli i sar., 2004; Brennan & Tudorica, 2008; Rosell & Collar, 2009*). Iz tabela 4.3.7. i 4.3.11. se vidi da najveće vrednosti stabiliteta fermentacije ima testo sa inulinom HPX, a najmanje testo sa inulinom GR.



Slika 4.3.31. Interval poverenja stabiliteta fermentacije testa sa vlaknima koje je zamrzavano 1 i 0 dana



Slika 4.3.32. Interval poverenja stabiliteta fermentacije testa sa vlaknima koje je zamrzavano 1 i 60 dana

4.3.3.2. Matematička analiza uticaja vlakana na kvalitet hleba od zamrznutog testa

Uticaj dužine zamrzavanja na pecivne osobine hleba prikazano je zapreminom hleba i kvalitetom gotovog proizvoda, (tabela 4.3.12). Srednja vrednost i standardna devijacija pokazuju da zapremina hleba zavisi od vrste uzorka, odnosno od vrste vlakana i dužine skladištenja na niskim temperaturama.

Tabela 4.3.12. Uticaj vlakana na pecivne osobine hleba pri zamrzavanju

	Zapremina hleba (cm ³)				Vrednosni broj sredine*		
	Srednja vrednost	Interval poverenja		p*	Srednja vrednost	Interval poverenja	
Period zamrzavanja	0% vlakana						
0 dan	337,50±28,97	307,10	367,90	0,996	6,35±0,37	5,85	6,65
1 dan	292,50±19,47	272,06	312,94	0,996	5,15±0,94	3,9	6,4
30 dan	400,50±18,53	381,05	419,95	0,996	5,28±1,07	3,82	6,72
60 dan	336,17±52,93	280,61	391,72	0,993	5,28±1,08	3,82	6,74
	5% Fibrexa						
0 dan	291,62±19,12	271,55	311,68	0,999	5,25±1,07	3,75	6,75
1 dan	295,67±8,58	286,66	304,67	0,973	5,95±0,71	4,91	6,99
30 dan	282,33±22,92	258,27	306,40	0,997	5,28±0,7	4,28	6,25
60 dan	300,47±22,59	276,76	324,17	0,993	5,28±0,61	4,38	6,18
	5% inulin-a HPX						
0 dan	379,27±13,67	364,92	393,61	0,765	5,9±0,4	5,3	6,5
1 dan	343,07±21,76	320,22	365,91	0,996	4,7±0,85	3,5	5,9
30 dan	451,37±29,59	420,31	482,42	0,803	4,7±0,39	4,2	5,2
60 dan	392,70±21,01	370,65	414,75	0,998	6,7±0,38	6	7
	5% inulin-a GR						
0 dan	286,52±31,84	253,10	319,94	1,000	6,25±0,41	5,8	6,8
1 dan	227,12±29,73	195,91	258,33	0,907	5,2±0,44	4,5	5,8
30 dan	364,93±19,71	344,24	385,63	0,875	2,28±0,4	1,8	2,9
60 dan	325,80±32,89	291,27	360,33	1,000	3,1±0,52	2,5	3,8

*Vrednosni broj sredine, maximum 7, minimum 0

p* - test rizika zaključivanja

Uticaj različitih vlakana na pecivne osobine hleba pri zamrzavanju ocenjivan je multivarijantnim postupkom i diskriminativnom analizom (tabela 4.3.13. i 4.3.14) (Andersson 1984). Postupkom MANOVE-a ispitano je da li postoji razlika u uticaju vlakana na ponašanje testa pri zamrzavanju (0, 1, 30 i 60 dana). Test je pokazao da postoji značajna razlika između vlakana pošto je $p = 0,000$, pri čemu je testirana i alternativna hipoteza da postoji značajna razlika u uticaju vrste vlakana na posmatrani parametar tokom zamrzavanja, koja je potvrđena Roy testom jer je $p < ,1$. Koeficijent diskriminacije pokazuje da je najveći uticaj vlakana na zapreminu hleba i kvalitet hleba u dužem periodu zamrzavanja (30 i 60 dana) (tabela 4.3.14).

Tabela 4.3.13. Statistička analiza uticaja vlakana na osobine hleba od zamrznutog testa

	Zapremina hleba (cm ³)			Vrednosni broj sredine hleba		
	n	F	p*	n	F	p*
Manova	4	17,310	,000	4	3,370	,001
Anova	0 dan	18,928	,000	0 dan	2,625	,077
	1 dan	30,084	,000	1 dan	1,147	,353
	30 dan	56,895	,000	30 dan	5,459	,006
	60 dan	7,530	,001	60 dan	8,312	,001

n- broj promenljivih (broj dana)

F- Fisherov test

*p- test rizika zaključivanja

Tabela 4.3.14 Diskriminativna analiza uticaja vlakana na pecivne osobine hleba pri zamrzavanju testa

	Zapremina hleba (cm ³)			Vrednosni broj sredine hleba		
	n	F	p	n	F	P
Manova	4	21,013	,000	4	21,013	,000

n- broj promenljivih (broj dana)

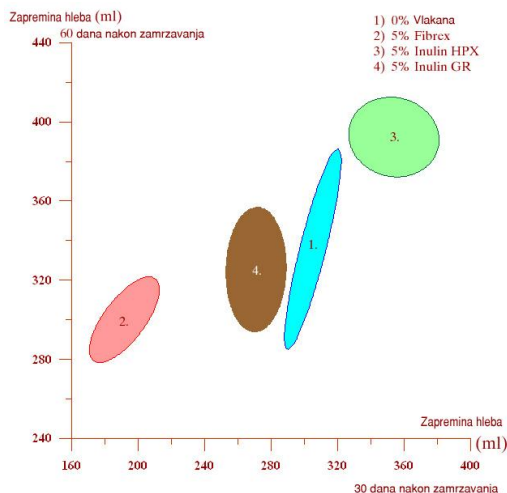
F- Fisherov test

p- test rizika zaključivanja

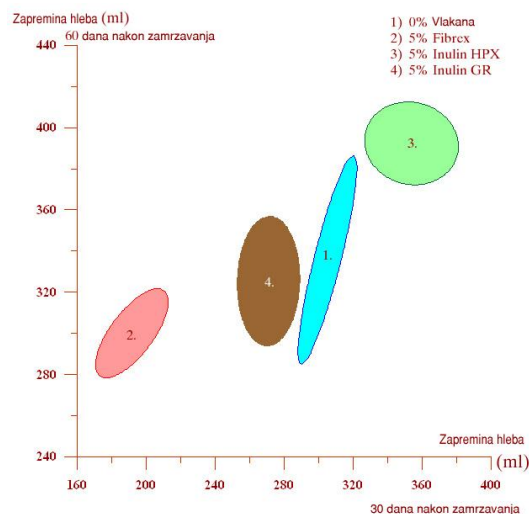
Tabela 4.3.15 Uticaj vlakana na koeficijent diskriminacije zapremine hleba i vrednosni broj sredine hleba

	Zapremina hleba (cm ³)	Vrednosni broj sredine hleba
	Koeficijent diskriminacije	Koeficijent diskriminacije
0 dan	1,085	0,478
1 dan	7,223	0,386
30 dan	9,416	0,394
60 dan	2,64	0,841

Najveći uticaj vlakana na zapreminu hleba je kod testa koje je zamrzavano 30 dana, jer je koeficijent diskriminacije (9,416), odnosno uzorak sa inulinom HPX ima najveću zapreminu i značajno se razlikuje od ostalih uzoraka (tabela 4.3.12. i 4.3.15). Iz tabela 4.3.12 – 4.3.16. se vidi da testo sa inulinom HPX ima značajno veću zapreminu od ostalih uzoraka bez obzira na dužinu zamrzavanja, što potvrđuju i slike 4.3.33. i 4.3.34. Ovo ukazuje na pozitivno delovanje vlakana HPX koje umanjuje negativne efekte zamrzavanja. Odnosno inulin HPX se najbolje inkorporira u glutenski matriks, tako da se dobija hleb sa najvećom zapreminom. Zapremina hleba sa drugim vlaknima zavisi od dužine čuvanja testa u zamrznutom stanju, odnosno kristali leda narušavaju glutensku strukturu što ima za posledicu smanjenje zapremine hleba. Na osnovu procene homogenosti (tabela 4.3.16) jedino kod testa bez vlakana zapremina varira, a ukazuje da hleb bez vlakana ima karakteristike koje su slične nekim posmatranim vlaknima, na čega još ukazuju i najšira elipsa (slika 4.3.33. i 4.3.34) i manja homogenost (tabela 4.3.16).



Slika 4.3.33. Interval poverenja zapremine hleba sa vlaknima nakon 30 i 60 dana zamrzavanja



Slika 4.3.34. Interval poverenja zapremine hleba sa vlaknima nakon 1 i 60 dana zamrzavanja

Na kvalitet hleba (tabela 4.3.12-4.3.16) utiču dužina zamrzavanja i vrsta vlakana, odnosno kvalitet hleba od zamrznutog testa bez vlakana je manji za oko jednu ocenu tokom posmatranog perioda zamrzavanja od 1, 30 i 60 dana. Hleb sa Fibrexom je nešto lošijeg kvaliteta u odnosu na uzorke bez vlakana ali tokom zamrzavanja od 1, 30 i 60 dana kvalitet hleba sa fibrexom je ujednačen, što potvrđuje i homogenost (tabela 4.3.16). Na osnovu ocena o kvalitetu hleba tokom zamrzavanja, koeficijent diskriminacije (tabela 4.3.15) pokazuje najveća variranja u kvalitetu hleba pri zamrzavanju od 60 dana, jer tada je uticaj vlakana na kvalitet hleba najveći. Iz tabele 4.3.16. se vidi da se pri zamrzavanju od 60 dana kvalitet hleba sa inulinom HPX značajno razlikuje u odnosu na ostale uzorke što potvrđuje i vrednosni broj sredine hleba (tabela 4.3.12) koji je na nivou hleba od nezamrznutog testa. Zamrznuto testo sa inulinom GR ima najlošiji kvalitet hleba i kod ovog vlakna ima najviše zastupljenih loših ocena (tabela 4.3.16). Kvalitet hleba sa inulinom GR, bez obzira da li se testo zamrzava ili se menja pH vode za zames (tabela 4.3.6) je najlošiji, što je posledica osobine samih vlakana i njihove interakcije sa glutenskim matriksom.

Tabela 4.3.16. Karakteristike i doprinos obeležja karakteristika vlakana pecivnim osobinama hleba pri zamrzavanju

	Zapremina hleba (cm ³)				
	0% vlakana	5% Fibrexa	5% inulin-a HPX	5% inulin-a GR	doprinos (%)
0 dan	veće* ²	manje	najveće* ³	najmanje	5,33
1 dan	manje* ¹	veće* ¹	najveće* ³	najmanje	35,51
30 dan	manje* ¹	veće* ¹	najveće* ³	najmanje	35,51
60 dan	veće	najmanje	najveće* ³	manje	12,85
Homogenost (%)	50,00	100,00	100,00	100,00	
	Vrednosni broj sredine hleba				
0 dan	-	dobro	-	-	22,77
1 dan	dobro	dobro	loše	-	18,39
30 dan	odlično*	odlično	dobro	loše, dobro	18,77
60 dan	-	-	odlično*	dobro*	40,07
Homogenost (%)	83,33	33,33	66,67	100,00	

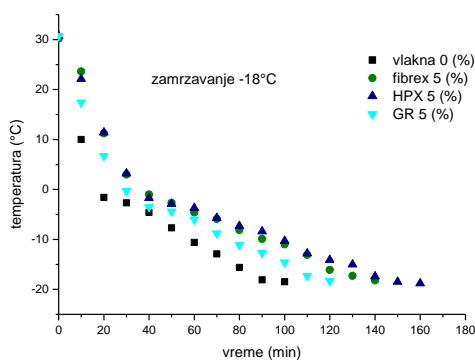
* - označava postojanost značajne razlike,
1,2 ili 3 – označava broj uzoraka od kojih se razlikuje

4.3.4. TERMODINAMIČKA MERENJA TESTA SA VLAKNIMA

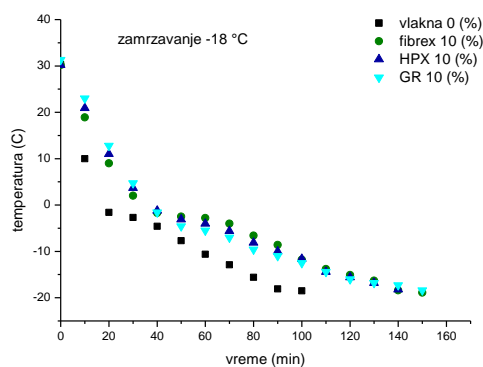
4.3.4.1. Kinetika zamrzavanja testa sa vlaknima

U ovoj fazi istraživanja ispitan je uticaj različite vrste i količine vlakana na kinetiku zamrzavanja testa na temperaturama $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Proces zamrzavanja testa prolazi kroz tri faze: hlađenje proizvoda do zone zamrzavanja proizvoda, hlađenje u zoni zamrzavanja proizvoda i hlađenje zamrznutog proizvoda. Kao što se vidi sa slika 4.3.35 – 4.3.38, proces hlađenja je na početku brz, a zatim se usporava tokom zone zamrzavanja. Parametar koji utiče na brzinu hlađenja (do zone zamrzavanja) je termička provodljivost testa, koja zavisi od sastava, strukture i veličine testa. Tokom hlađenja, uklanja se samo osetna toplota. Kada proizvod dostigne zonu zamrzavanja, pored osetne toplote, mora da se ukloni i latentna toplota koja je neophodna za fazni prelaz, tj. formiranje leda. Ova promena usporava brzinu hlađenja i formira zaravnjenje na krivi oko tačke mržnjenja (slika 4.3.35 – 4.3.38). Dužina ovog zaravnjenja je skraćena kada je razlika između temperature proizvoda i temperature zamrzivača veća (slika 4.3.37. i 4.3.39), odnosno korišćenjem nižih temperatura zamrzavanja, što je u skladu sa tvrđenjima *Kulpa, (1995); Cengela (1997); Phimolsirilpoli i sar. (2008a, 2008b)*.

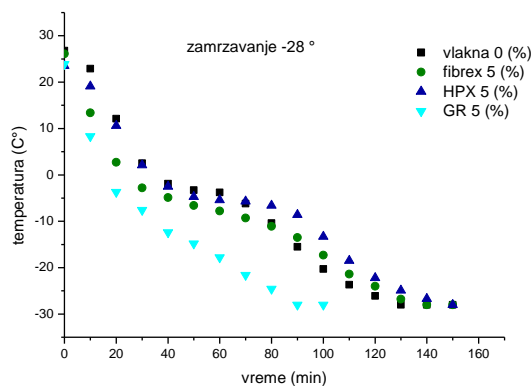


Slika 4.3.35. Kinetika zamrzavanja testa sa 5% vlakana na temperaturi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

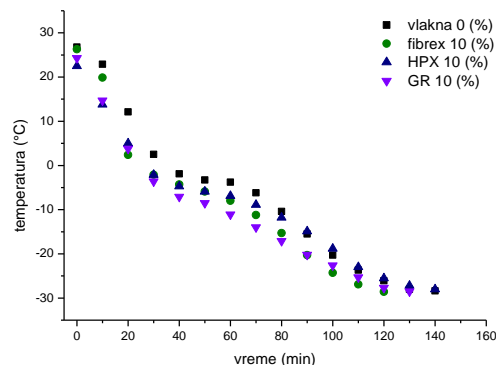


Slika 4.3.36. Kinetika zamrzavanja testa sa 10% vlakana na temperaturi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sa slika 4.3.35. i 4.3.36. se vidi da inulin GR dovodi do bržeg zamrzavanja testa u odnosu na testo sa inulinom HPX i Fibrexa. Ovaj efekat je naročito izražen kod testa sa 5% inulina GR, gde testo temperaturu od oko $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ dostigne brže za 30 min. u odnosu na testo sa Fibrexom ili inulinom HPX. Testo sa 5 i 10% Fibrexa se najsporije zamrzava, što se može dovesti u vezu sa velikom sposobnosti vezivanja vode Fibrexa, dok inulin GR ima malu moć upijanja vode, tj oduzima vodu od testa. U testo sa Fibrexom dodata je veća količina vode i potrebno je duže vreme za zamrzavanje od testa sa inulinom GR.



Slika 4.3.37. Kinetika zamrzavanja testa sa 5% vlakana na temperaturi $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$



Slika 4.3.38. Kinetika zamrzavanja testa sa 10% vlakana na temperaturi $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sa slika 4.3.37. i 4.3.38. se vidi da brzina zamrzavanja testa ima najveću vrednost u početku procesa zamrzavanja, a smanjuje se pomeranjem granice podele unutar proizvoda (Kremić, 1989). Kada granica podele dospe do centra testa, u testu počinje obrazovanje leda, što se na krivama zamrzavanja vidi na osnovu prevojne tačke. Zamrzavanje testa počelo je na oko -4 °C. U ovim tačkama tečna faza bi trebalo da je u potpunosti čvrsta ali kod testa prisustvo određenih supstanci, u ovom slučaju vlakana, sprečava stvaranje čvrste faze u potpunosti, što je u skladu sa tvrđenjima Kulpa (1995) i Deepa, i sar. (2008). Inulin GR u količini od 5% dovodi do najbržeg smrzavanja testa, dok testo bez vlakana i testo sa Fibrexom i inulinom HPX imaju približno isto vreme zamrzavanja koje je za 60 min. duže od testa sa inulinom GR. Testo sa 5 i 10% inulina GR se brže zamrzne nego testo u kome nema vlakana, pa se ova vrsta vlakana može primeniti u praksi kada se želi skratiti period zamrzavanja ili povećati kapacitet komore za zamrzavanje.

Tokom procesa zamrzavanja/odmrzavanja potrebno je za određeno vreme odvesti ili dovesti određenu količinu toplote da bi se izvršila fazna transformacija (Singh, 1995). Za matematičku interpretaciju procesa zamrzavanja/odmrzavanja testa sa vlaknima korišćena je Fureijeova jednačina za nestacionarni prenos toplote:

$$\partial T / \partial t = \alpha \partial^2 T / \partial x^2$$

gde je T - temperatura (C), t - vreme (s), x - koordinata prostora (m) i α - je termička difuzivnost (m^2/s). Za rešavanje ove parcijalne diferencijalne jednačine postoje mnoga rešanja, a u ovom radu su usvojene sledeće aproksimacije po Cengelu (1998):

- *uniformni temperaturni profil:*

$$\text{za zamrzavanje } \ln(T_c - T_{cr} / T_i - T_{cr}) = -b_0 * t,$$

$$\text{za odmrzavanje } \ln(T_{cr} - T_c / T_i - T_{cr}) = -b_0 * (t_0 + t_k)$$

- *neuniformni temperaturni profil:*

$$\text{za zamrzavanje } \ln(T_c - T_{cr} / T_i - T_{cr}) = b_0 - b_1 * t,$$

$$\text{za odmrzavanje } \ln(T_c - T_{cr} / T_i - T_{cr}) = b_0 - b_1 * t$$

- *neuniformni temperaturni profil sa kvadratnim članom* koji je dodat zbog fazne transformacije usled koje dolazi pri zamrzavanju/odmrzavanju, što potvrđuju i slike 4.3.34-4.3.41:

$$\text{za zamrzavanje } \ln(T_c - T_{cr} / T_i - T_{cr}) = b_0 - b_1 * t + b_2 * t^2,$$

$$\text{za odmrzavanje } \ln(T_c - T_{cr} / T_i - T_{cr}) = b_0 - b_1 * t + b_2 * t^2,$$

gde je: t - vreme (min), t_k - vreme u kome je poslednji put izmerena temperatura (min), T_i - inicijalna temperatura testa (°C), T_{cr} - temperatura u centru komada testa koja je najbliža, ali i manja od procenjene (°C), T_c - temperatura u centru komad testa (°C), b_0, b_1, b_2 - nepoznati parametri.

Na osnovu koeficijenta determinacije (R^2) usvojena je matematičaka aproksimacija koja najbolje opisuje kinetiku zamrzavanja/odmrzavanja.

U tabeli 4.3.17. i 4.3.18. prikazane su vrednosti koeficijenta determinacije uniformnog i neuniformnog temperaturnog profila zamrzavanja testa na -18 i -28 °C sa različitom količinom i vrstom vlakana. Kinetika zamrzavanja testa sa vlaknima na -18 i -28 °C, (tabele 4.3.17. i 4.3.18) najbolje odgovara neuniformnom temperaturnom profilu sa kvadratnim članom (t^2) jer je koeficijent determinacije $R^2 > 0.939$ i $R^2 > 0.928$, za razliku od uniformnog toka temperaturnog profila kada je duplo manji koeficijent determinacije. Zapaža se da testo zamrzavano na -18 i -28 °C sa 10 % inulina GR ima najveće vrednosti koeficijenta determinacije (0.966 i 0.970), dok testo sa fibrexom najmanje vrednosti (0.939 i 0.928). Linearane jednačine zamrzavanja testa na -18 i -28 °C za testa sa 5 i 10% vlakana ne odgovaraju uniformnom temperaturnom profilu, jer daje niske vrednosti koeficijenta determinacije (tabela 4.3.17. i 4.3.18).

Tabela 4.3.17. Koeficijenti determinacije regresionih zavisnosti fitovanja u opsegu Ti-Tcr predloženim jednačinama za testo sa vlaknima pri zamrzavnju – 18 °C

Transformisana promenljiva		Regresiona funkcija	Količina vlakana		
			0 (%)	5 (%)	10 (%)
Fibrex					
$Y = \ln(T_c - T_{cr}) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = -0,178$ $R^2 = 0,473$	$b_0 = -0,109$ $R^2 = 0,383$	$b_0 = -0,109$ $R^2 = 0,448$
		$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = 14,5812$ $b_1 = -0,386$ $R^2 = 0,798$	$b_0 = 18,165$ $b_1 = -0,297$ $R^2 = 0,852$	$b_0 = 16,1309$ $b_1 = -0,265$ $R^2 = 0,856$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = 22,501$ $b_1 = -0,914$ $b_2 = 0,005$ $R^2 = 0,915$	$b_0 = 26,285$ $b_1 = -0,672$ $b_2 = 0,003$ $R^2 = 0,954$	$b_0 = 23,157$ $b_1 = -0,566$ $b_2 = 0,002$ $R^2 = 0,939$
Inulin HPX					
$Y = \ln(T_c - T_{cr}) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = -0,178$ $R^2 = 0,473$	$b_0 = -0,106$ $R^2 = 0,447$	$b_0 = -0,112$ $R^2 = 0,477$
		$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = 14,5812$ $b_1 = -0,386$ $R^2 = 0,798$	$b_0 = 16,306$ $b_1 = -0,255$ $R^2 = 0,837$	$b_0 = 15,924$ $b_1 = -0,257$ $R^2 = 0,844$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = 22,501$ $b_1 = -0,914$ $b_2 = 0,005$ $R^2 = 0,915$	$b_0 = 24,683$ $b_1 = -0,560$ $b_2 = 0,002$ $R^2 = 0,944$	$b_0 = 24,748$ $b_1 = -0,610$ $b_2 = 0,002$ $R^2 = 0,962$
Inulin GR					
$Y = \ln(T_c - T_{cr}) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = -0,178$ $R^2 = 0,473$	$b_0 = -0,133$ $R^2 = 0,415$	$b_0 = -0,116$ $R^2 = 0,430$
		$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = 14,5812$ $b_1 = -0,386$ $R^2 = 0,798$	$b_0 = 16,847$ $b_1 = -0,335$ $R^2 = 0,840$	$b_0 = 17,35$ $b_1 = -0,284$ $R^2 = 0,829$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = 22,501$ $b_1 = -0,914$ $b_2 = 0,005$ $R^2 = 0,915$	$b_0 = 24,811$ $b_1 = -0,769$ $b_2 = 0,003$ $R^2 = 0,948$	$b_0 = 27,210$ $b_1 = -0,706$ $b_2 = 0,003$ $R^2 = 0,966$

t- vreme (min)

t_k- vreme u kome je poslednji put izmerena temperatura (min)

T_i- inicijalna temperatura testa (°C)

T_{cr}- temperatura u centru komada testa koja je najbliža, ali i manja od procenjene (°C)

T_c- temperatura u centru komada testa (°C)

Tabela 4.3.18. Koeficijenti determinacije regresionih zavisnosti fitovanja u opseg Ti-Tcr predloženim jednačinama za testo sa vlaknima pri zamrzavanju – 28 °C

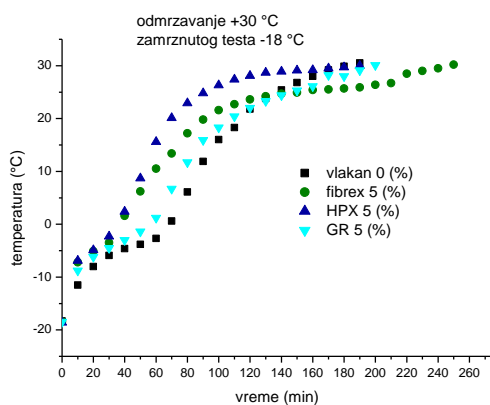
Transformisana promenjiva		Regresiona funkcija	Količina vlakana		
			0 (%)	5 (%)	10 (%)
Fibrex					
Y=ln (Tc-Tcr)/Ti-Tcr	X= -t	Y= b ₀ *X	b ₀ =-0,172 R ² =0,543	b ₀ =-0,174 R ² =0,622	b ₀ =-0,204 R ² =0,609
		Y= b ₀ +b ₁ *X	b ₀ =20,162 b ₁ =-0,392 R ² =0,947	b ₀ =12,582 b ₁ =-0,311 R ² =0,900	b ₀ =16,475 b ₁ =-0,406 R ² =0,917
		Y= b ₀ +b ₁ *X +b ₂ *X ²	b ₀ =24,944 b ₁ =-0,613 b ₂ =0,002 R ² =0,969	b ₀ =17,038 b ₁ =-0,517 b ₂ =0,002 R ² =0,928	b ₀ =21,646 b ₁ =-0,676 b ₂ =0,002 R ² =0,946
Inulin HPX					
Y=ln (Tc-Tcr)/Ti-Tcr	X= -t	Y= b ₀ *X	b ₀ =-0,172 R ² =0,543	b ₀ =-0,153 R ² =0,604	b ₀ =-0,180 R ² =0,687
		Y= b ₀ +b ₁ *X	b ₀ =20,162 b ₁ =-0,392 R ² =0,947	b ₀ =16,322 b ₁ =-0,313 R ² =0,939	b ₀ =13,2601 b ₁ =-0,325 R ² =0,940
		Y= b ₀ +b ₁ *X +b ₂ *X ²	b ₀ =24,944 b ₁ =-0,613 b ₂ =0,002 R ² =0,969	b ₀ =19,706 b ₁ =-0,453 b ₂ =0,001 R ² =0,952	b ₀ =16,956 b ₁ =-0,496 b ₂ =0,001 R ² =0,959
Inulin GR					
Y=ln (Tc-Tcr)/Ti-Tcr	X= -t	Y= b ₀ *X	b ₀ =-0,172 R ² =0,543	b ₀ =-0,298 R ² =0,729	b ₀ =-0,213 R ² =0,699
		Y= b ₀ +b ₁ *X	b ₀ =20,162 b ₁ =-0,392 R ² =0,947	b ₀ =10,869 b ₁ =-0,474 R ² =0,899	b ₀ =12,961 b ₁ =-0,365 R ² =0,916
		Y= b ₀ +b ₁ *X +b ₂ *X ²	b ₀ =24,944 b ₁ =-0,613 b ₂ =0,002 R ² =0,969	b ₀ =17,738 b ₁ =-0,959 b ₂ =0,005 R ² =0,969	b ₀ =19,605 b ₁ =-0,697 b ₂ =0,003 R ² =0,97

t- vreme (min)

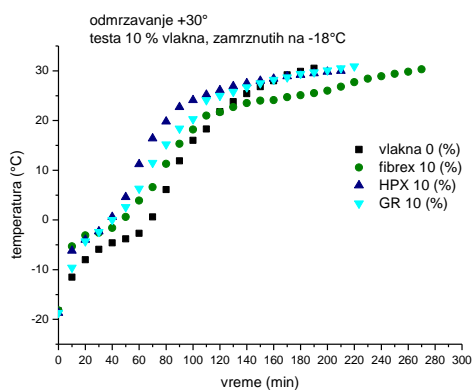
t_k- vreme u kome je poslednji put izmerena temperatura (min)T_i- inicijalna temperatura testa (°C)T_{c-r}- temperatura u centru komada testa koja je najbliža, ali i manja od procenjene (°C)T_c- temperatura u centru komada testa (°C)

4.3.4.2. Kinetika odmrzavanja testa sa vlaknima

Odmrzavanje testa treba da se izvodi sporo u optimalnom vremenu i na optimalnoj temperaturi. Funkcionalni efekti odmrzavanja obuhvataju rehidraciju sistema, uglavnom glutenskog matriksa i ćelija kvasca. Prilikom odmrzavanja, zamrznuti gluten bi trebalo da zadrži svoje fiziko-hemijske osobine, odnosno viskoelastična svojstva, kako bi prilikom dalje obrade testo imalo sposobnost da zadržava CO₂ (Kulp, 1995; Singh, 1995; Ribotta i sar., 2003; Brennan & Tudorica, 2008). Povećana toplotna provodljivost zamrznutih proizvoda je bitna prilikom odmrzavanja. Sa termodinamičkog stanovišta, odmrzavanje nije obrnuta reakcija zamrzavanja. U toplijem medijumu, tokom odmrzavanja, proizvod se brže zagreva i unutrašnji temperaturni gradijenti su mnogo manji nego pri zamrzavanju. Sloj vode koji se formira na površini usporava odmrzavanje i doprinosi razgradnji proizvoda. Stoga, kolebanje temperature iznad zone zamrzavanja proizvoda, smanjuje njegovu stabilnost i kvalitet. Ovo stanje treba izbegavati tokom transporta, rukovanja i skladištenja zamrznutog testa. (Kulp, 1995; Phimolsirilpoli i sar., 2008 a, b; Deep i sar., 2008).

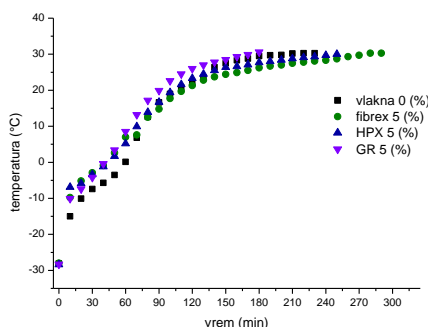


Slika 4.3.39. Kinetika odmrzavanja testa sa 5% vlakana na temperaturi +30 °C zamrznutog na – 18 °C

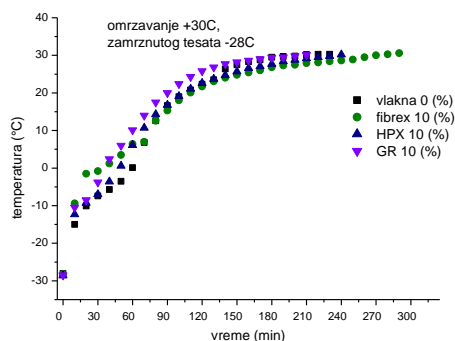


Slika 4.3.40. Kinetika odmrzavanja testa sa 10% vlakana na temperaturi +30 °C zamrznutog na – 18 °C

Sa slike 4.3.39. i 4.3.41. se vidi da zamrznuto testo sa inulinom GR u količini od 5 % na -18 i -28 °C ima najkraće vreme odmrzavanja koje iznosi 200 i 180 min, što je u direktnoj vezi sa vremenom zamrzavanja testa sa ovom vrstom inulina koje je bilo kraće od 120 i 90 min u poređenju sa testom sa inkorporiranim drugim vlaknima (slika 4.3.35. i 4.3.37). Sa slika 4.3.39-4.3.42. se vidi da 5 i 10% inulina HPX i GR u testu pozitivno utiče na odmrzavanja testa. Fibrex ima negativan uticaj na tok odmrzavanja, tj. testo sa Fibrexom se najsporije odmrzava, što je, verovatno, posledica najveće dodate količine vode u testo, odnosno najveće količine formiranog leda prilikom zamrzavanja (Berglund, 1988; Berglund i Shelton, 1993). Podaci su u skladu sa tvrdjenjem Kulpa (1995), koji navodi da se mora ukloniti, latentna toplota oko 335 J (80 cal) po gramu vode, da bi se stvorio led, odnosno dovesti ovu količinu toplote da bi se led otopio.



Slika 4.3.41. Kinetika odmrzavanja testa
5% vlakana na temperaturi +30 °C
zamrznutog na -28 °C sa



Slika 4.3.42. Kinetika odmrzavanja testa
10% vlakana na temperaturi +30 °C
zamrznutog na -28 °C sa

Prilikom fitovanja eksperimentalnih podataka dobijenih pri odmrzavanju testa sa vlaknima na različitim temperaturama (tabela 4.3.19. i 4.3.20) i usvajanjem aproksimacija koje opisuju temperaturni profil odmrzavanja, takođe se zapaža da najveće vrednosti koeficijenta determinacije imaju fitovani podaci polinoma drugog reda. Testo sa inulinom GR ili HPX ima visoke vrednosti koeficijenta determinacije prilikom fitovanja kvadratnog i linearnog polinoma, odnosno za karakterisanje procesa može se usvojiti neuniformni temperaturni profil sa kvadratnim članom (tabela 4.3.19. i 4.3.20).

Tabela 4.3.19. Koeficijenti determinacije regresionih parametara fitovanja u opsegu $T_{cr}-T_k$ predloženim jednačinama za testo sa vlaknima zamrznuto na $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri odmrzavanju na $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Transformisana promenjivea		Regresiona funkcija	Količina vlakana		
			0 (%)	5 (%)	10 (%)
Fibrex					
$Y = \ln(T_{cr}-T_c)/T_i-T_{cr}$	$X = -t+t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0=0,154$ $R^2=0,726$	$b_0=0,143$ $R^2=0,787$	$b_0=0,130$ $R^2=0,830$
	$X = -t$	$Y = b_0+b_1 * X$	$b_0=-14,826$ $b_1=0,268$ $R^2=0,965$	$b_0=-2,327$ $b_1=0,157$ $R^2=0,795$	$b_0=-3,855$ $b_1=0,151$ $R^2=0,852$
		$Y = b_0+b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0=-17,984$ $b_1=0,374$ $b_2=-0,0005$ $R^2=0,976$	$b_0=-13,232$ $b_1=0,429$ $b_2=-0,0011$ $R^2=0,967$	$b_0=-13,079$ $b_1=0,364$ $b_2=-0,0008$ $R^2=0,972$
Inulin HPX					
$Y = \ln(T_{cr}-T_c)/T_i-T_{cr}$	$X = -t+t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0=0,154$ $R^2=0,726$	$b_0=0,197$ $R^2=0,781$	$b_0=0,175$ $R^2=0,800$
	$X = -t$	$Y = b_0+b_1 * X$	$b_0=-14,826$ $b_1=0,268$ $R^2=0,965$	$b_0=-4,66$ $b_1=0,232$ $R^2=0,807$	$b_0=-4,496$ $b_1=0,206$ $R^2=0,826$
		$Y = b_0+b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0=-17,984$ $b_1=0,374$ $b_2=-0,0005$ $R^2=0,976$	$b_0=-16,717$ $b_1=0,634$ $b_2=-0,0021$ $R^2=0,984$	$b_0=-15,566$ $b_1=0,538$ $b_2=-0,0015$ $R^2=0,982$
Inulin GR					
$Y = \ln(T_{cr}-T_c)/T_i-T_{cr}$	$X = -t+t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0=0,154$ $R^2=0,726$	$b_0=0,156$ $R^2=0,794$	$b_0=0,164$ $R^2=0,825$
	$X = -t$	$Y = b_0+b_1 * X$	$b_0=-14,826$ $b_1=0,268$ $R^2=0,965$	$b_0=-10,670$ $b_1=0,234$ $R^2=0,936$	$b_0=-6,514$ $b_1=0,208$ $R^2=0,877$
		$Y = b_0+b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0=-17,984$ $b_1=0,374$ $b_2=-0,0005$ $R^2=0,976$	$b_0=-16,873$ $b_1=0,430$ $b_2=-0,001$ $R^2=0,983$	$b_0=-16,260$ $b_1=0,486$ $b_2=-0,0012$ $R^2=0,991$

t- vreme (min)

t_k - vreme u kome je poslednji put izmerena temperatura (min)

T_i - inicijalna temperatura testa ($^{\circ}\text{C}$)

T_{cr} - temperatura u centru komada testa koja je najbliža, ali i manja od procenjene ($^{\circ}\text{C}$)

T_c - temperatura u centru komada testa ($^{\circ}\text{C}$)

T_k - poslednja izmerena temperatura u centru komada testa ($^{\circ}\text{C}$)

Tabela 4.3.20. Koeficijenti determinacije regresionih parametra fitovanja u opsegu T_{cr} - T_k predloženim jednačinama za testo sa vlaknima zamrznuto na $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri odmrzavanju $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Transformisana promenjiva		Regresiona jednačina	Količina vlakana		
			0 (%)	5 (%)	10 (%)
Fibrex					
$Y = \ln(T_{cr} - T_c) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = 0,153$ $R^2 = 0,730$	$b_0 = 0,126$ $R^2 = 0,766$	$b_0 = 0,128$ $R^2 = 0,767$
	$X = -t$	$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = -12,371$ $b_1 = 0,232$ $R^2 = 0,868$	$b_0 = -4,172$ $b_1 = 0,148$ $R^2 = 0,788$	$b_0 = -3,209$ $b_1 = 0,145$ $R^2 = 0,781$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = -24,123$ $b_1 = 0,552$ $b_2 = -0,0013$ $R^2 = 0,987$	$b_0 = -16,298$ $b_1 = 0,408$ $b_2 = -0,0009$ $R^2 = 0,961$	$b_0 = -15,058$ $b_1 = 0,398$ $b_2 = -0,0009$ $R^2 = 0,951$
Inulin HPX					
$Y = \ln(T_{cr} - T_c) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = 0,153$ $R^2 = 0,730$	$b_0 = 0,144$ $R^2 = 0,763$	$b_0 = 0,147$ $R^2 = 0,746$
	$X = -t$	$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = -12,371$ $b_1 = 0,232$ $R^2 = 0,868$	$b_0 = -6,214$ $b_1 = 0,1811$ $R^2 = 0,808$	$b_0 = -9,071$ $b_1 = 0,203$ $R^2 = 0,830$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = -24,123$ $b_1 = 0,552$ $b_2 = -0,0013$ $R^2 = 0,987$	$b_0 = -18,214$ $b_1 = 0,481$ $b_2 = -0,0012$ $R^2 = 0,966$	$b_0 = -21,447$ $b_1 = 0,526$ $b_2 = -0,0013$ $R^2 = 0,982$
Inulin GR					
$Y = \ln(T_{cr} - T_c) / (T_i - T_{cr})$	$X = -t + t_k$	$Y = b_0 * X$	$b_0 = 0,153$ $R^2 = 0,730$	$b_0 = 0,187$ $R^2 = 0,741$	$b_0 = 0,172$ $R^2 = 0,747$
	$X = -t$	$Y = b_0 + b_1 * X$	$b_0 = -12,371$ $b_1 = 0,232$ $R^2 = 0,868$	$b_0 = -11,986$ $b_1 = 0,284$ $R^2 = 0,882$	$b_0 = -8,144$ $b_1 = 0,229$ $R^2 = 0,816$
		$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$	$b_0 = -24,123$ $b_1 = 0,552$ $b_2 = -0,0013$ $R^2 = 0,987$	$b_0 = -22,009$ $b_1 = 0,638$ $b_2 = -0,0019$ $R^2 = 0,983$	$b_0 = -20,922$ $b_1 = 0,6125$ $b_2 = -0,0018$ $R^2 = 0,981$

t- vreme (min)

t_k - vreme u kome je poslednji put izmerena temperatura (min)

T_i - inicijalna temperatura testa ($^{\circ}\text{C}$)

T_{cr} - temperatura u centru komada testa koja je najbliža, ali i manja od procenjene ($^{\circ}\text{C}$)

T_c - temperatura u centru komada testa ($^{\circ}\text{C}$)

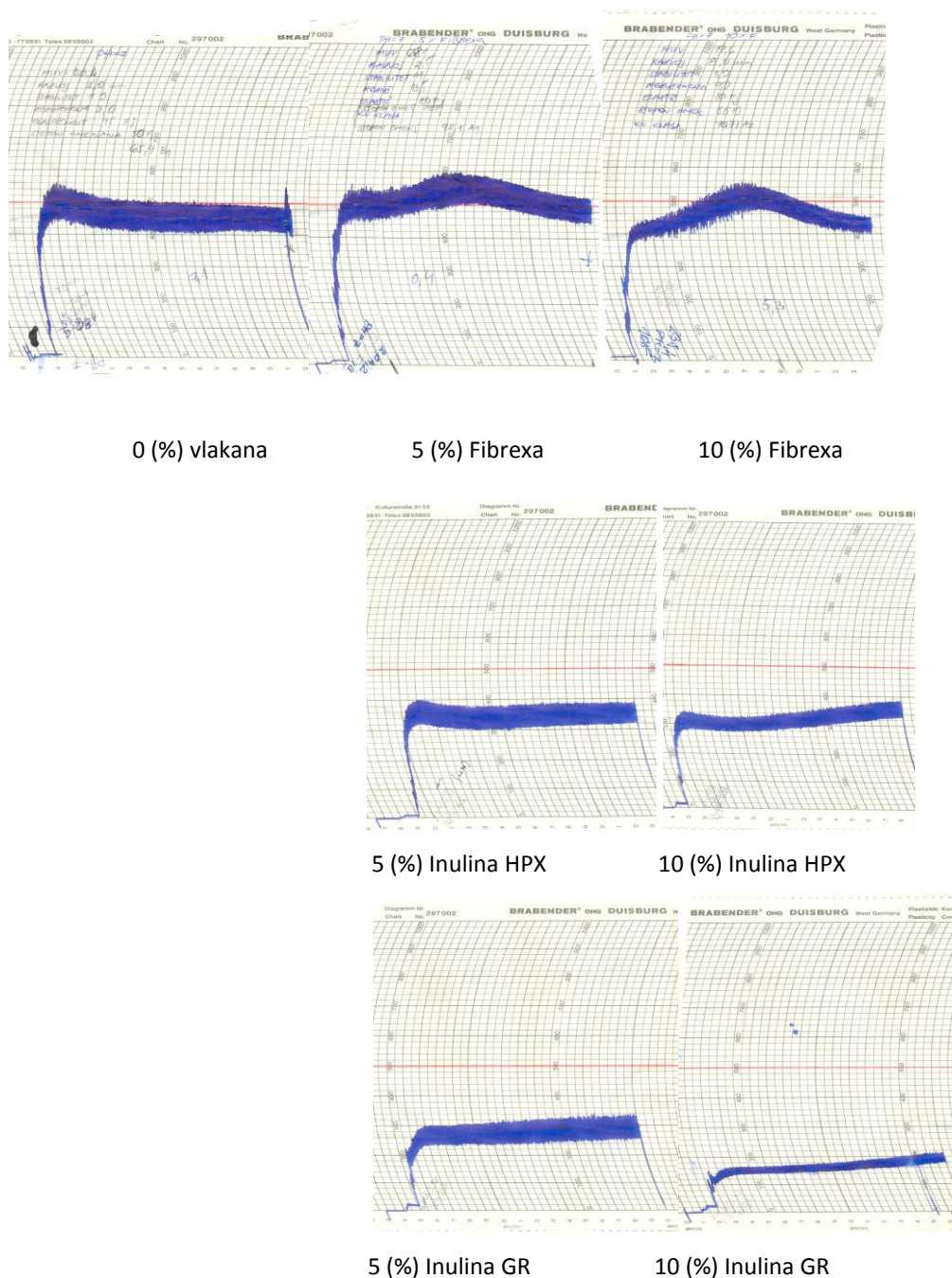
T_k - poslednja izmerena temperatura u centru komada testa ($^{\circ}\text{C}$)

Podaci koji su fitovani predloženim jednačinama odnose se prvenstveno na eksperimentalne uslove, ali visoki koeficijenti determinacije ukazuju da se neuniformnim temperaturnim profilom sa kvadratnim članom može definisati proces zamrzavanja/odmrzavanja. Visoke vrednosti koeficijenata determinacije u predloženim jednačinama za zamrzavanje/odmrzavanje potvrđuju da matematički modeli adekvatno prate proces zamrzavanja, odnosno odmrzavanja i da se mogu primeniti u realnim pogonskim uslovima.

4.3.5. UTICAJ VLAKANA NA KVALITET HLEBA KAO FUNKCIONALANE HRANE

4.3.5.1. Uticaj vlakana na reološke osobine testa

Vlakna (Fibrex i inulin HPX i inulin GR) bitno menjaju reološka svojstva testa, ona se ugrađuju u trodimenzionalnu glutensku strukturu i što je veći njihov udeo, više narušavaju inter- i intramolekulske veze glutenskih lanaca.



Slika 4.3.43. Farinografski pokazatelji kvaliteta brašna sa dodatkom vlakana

Fibrex u testu oduzima vodu već hidratisanom glutenu koji se razvio tokom zamesa i bitno mu menja reološke osobine. Nepovezani delovi farinografske krive pokazuju koliko fibrex narušava glutensku strukturu i povećava MUV, dok dodatak inulina HPX i GR bitno smanjuju MUV, ali i pokazuju produženu sposobnost vezivanja vode, što se na farinogramu prepoznaje kao naknadno stvrđnjavanje (slika 4.3.43, tabela 4.3.21)

Tabela 4.3. 21. Uticaj vlakana na reološke i fizičke osobine testa

Vrsta vlakana	Bez vlakana	fibrex		inulin HPX		inulin GR	
	0(%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Farinografski pokazatelji							
MUV (%)	55,4	63,2	72	51	49,5	47,3	40,5
razvoj testa (min)	2	2,5	8	2	1,5	2	1,5
stabilitet testa (min)	0,5	5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
elastičnost (Fj)	130	115	115	100	110	130	145
stepen omekšanja (Fj)	60	20	95	40	30	40	80
kvalitetni broj/ kvalitetna klasa	57,9 B1	80,9 A2	75,8A2	57,2 B1	87,9 A1	57,0 B1	87,9 A1
Fizičke osobine testa po Kiefferu							
otpor testa (g)	31,09± 3,0	41,68± 3,9	31,74±,7	67,26± 3,3	64,67± 20,7	66,834± 14,0	22,334± 6,1
rastegljivost testa (mm)	23,56± 2,4	17,97± 2	14,86± 1,6	23,03± 2,1	27,374± 2,1	26,07± 12,0	28,533± 20,3
otpor/rastegljivosti	1	2,3	2,1	2,9	2,4	2,5	0,8
Maturografski pokazatelji							
vreme završne fermentacije (min)	62	54	38	60	48	62	82
stabilitet fermentacije (min)	4	8	2	18	6	6	14
otpor testa (Mj)	640	610	380	560	340	580	260
elastičnost testa (Mj)	240	290	200	180	140	230	80

Rezultati fizičkih karakteristika testa određenih metodom po Kiefferu odnose se na osobine testa koje se odmaralo 45 minuta (tabela 4.3.21) i pokazuju da vrednost otpora i rastegljivosti zavisi od vrste i količine vlakana. Vlakana u količini od 5% (Fibrex, inulin HPX i inulin GR) utiču na povećanje otpora testa, a u količini od 10% inulin GR dovodi do smanjenja otpora testa za 30% u odnosu na testo sa 0% vlakana, što je u skladu sa uticajem ove vrste vlakana na konzistenciju testa na farinogramu. U odnosu na testo sa 0% vlakana, rastegljivost

testa sa dodatkom Fibrexa se smanjuje i ovo smanjene je veće što je veća količina Fibrexa dodata u testo, a nastao je kao posledica naknadnog stvrdnjavanja, koje je vidljivo sa farinograma (slika 4.3.43). Dodatak inulina HPX i GR utiče na povećanje rastegljivosti, pri čemu je ovo povećanje 17% pri dodatku 10% inulina HPX, a 22% kod 10% inulina GR. Odnos otpora prema rastezanju testa sa dodatkom vlakana kreće se oko 2.5 jedinice, izuzev kod testa sa 10% inulina GR kada je manji od 1.

Podaci dobijeni analizom maturograma ukazuju na ponašanje fermentisanog testa, odnosno na sposobnost glutena da zadrži gasove stvorene tokom fermentacije i obrazuje sunderastu strukturu. Dodatkom vlakana (Fibrexa i inulin HPX), usled narušene glutenske strukture, vreme završne fermentacije se smanjuje, jer se vlakna ponašaju kao inkluzioni elementi i smanjuju sposobnost zadržavanja gasova u testu (*Nelson, 2001*). Promena dužine završne fermentacije testa sa 10% inulina GR je posledica slabe i nedovoljne interakcije proteinskih makromolekula i molekula inulina GR. U odnosu na testo sa 0% vlakana, stabilitet fermentacije se produžava od 2 do 14 min. u zavisnosti od vrste i količine vlakana. Jedino kod testa sa 10% Fibrexa stabilitet fermentacije je 2 puta kraći. Otpor i elasticitet kvasnog testa sa vlaknima se smanjuje, pri čemu veća količina vlakana doprinosi većem smanjenju otpora i elasticiteta testa u odnosu na testo sa 0% vlakana.

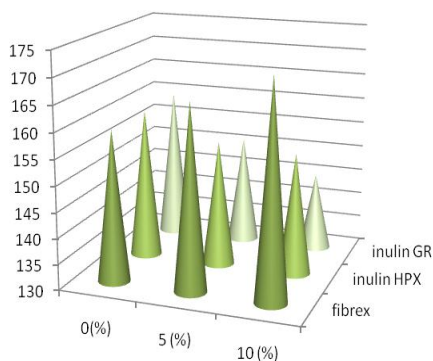
4.3.5.2. Uticaj vlakana na kvalitet i teksturu hleba

Podaci iz tabele 4.3.22. pokazuju da je kod uzoraka sa 5% različitih vlakana (fibrex, inulin HPX i GR) došlo do smanjenja zapremine hleba u odnosu na hleb sa 0% vlakana, u proseku za oko 100 cm³. Ovakvi rezultati su očekivani, s obzirom na reološke podatke prikazane u tabeli 4.3.21, koji još jednom potvrđuju da se vlakna ponašaju kao inkluzioni elementi (*Nelson, 2001*). Tokom zamesa, čestice vlakana slabo hidratišu i postavljaju se kao međusloj koji narušava kontinuitet glutenskog matriksa i tako narušavaju njegovu strukturu. Ovo rezultira smanjenom zapreminom, prinos zapremine u proseku je manji za 105 cm³ kao i grubljom teksturom sredine.

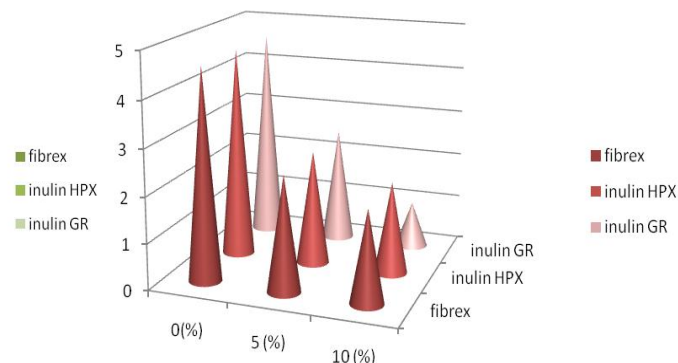
Iz tabele 4.3.22. uočava se porast prinosa testa i prinosa hleba dodatkom 5 % Fibrexa, a smanjuje se dodatkom 5% inulina HPX i GR (slika 4.3.44), što je direktno u vezi sa farinografskom moći upijanja vode (tabela 4.3.21).

Dodatak vlakana, bez obzira na vrstu, utiče na smanjenje elastičnosti sredine i negativno utiče na finoću strukture pora, što se manifestuje padom vrednosnog broja sredine sa 4,6 kod hleba sa 0% vlakana, na 2,5 kod hleba sa 5% vlakana (Fibrex, inulin HPX i inulin GR) (slika 4.3.45).

Uticao povećanja količine različitih vlakana (10%) na pokazatelje kvaliteta hleba identičan je kao i kod hleba sa 5% vlakana. Međutim, treba napomenuti da je efekat dodatnih vlakana intenziviran porastom unete količine (tabela 4.3.22), pri čemu se u odnosu na hleb sa 0% vlakana (slika 4.3.44) može uočiti porast prinosa testa i hleba kod uzoraka sa Fibrexom, i smanjenje ovih pokazatelja sa dodatkom inulina HPX i GR. Ove razlike su veće nego u slučaju odgovarajućih hlebova sa 5% vlakana, što je očekivano, jer Fibrex ima izražena hidrofilna svojstva koja uslovljavaju porast navedenih pokazatelja, nasuprot inulinu HPX i inulinu GR koji imaju mali afinitet prema vodi, te uslovljavaju smanjenje navedenih pokazatelja. Zapremina hleba sa 10% Fibrexa se smanjuje za 55cm³ do 230 cm³ u odnosu na hleb sa 0% vlakana, jer Fibrex i inulini HPX ili GR onemogućavaju pravilno formiranje trodimenzionalne glutenske strukture. Prinos zapremine hleba sa vlaknima (fibrex i inulini HPX i GR) je smanjen u odnosu na hleb sa 0% vlakana u proseku za oko 30%, što je izraženije nego kod odgovarajućih hlebova sa 5% vlakana (tabela 4.3.22).



Slika 4.3.44. Uticaj vlakana na prinos testa



Slika 4.3.45. Uticaj vlakana na kvalitet hleba

Elastičnost sredine i finoća strukture pora okarakterisne kroz vrednosni broj sredine za hleb koji sadrži 10% Fibrexa i inulina HPX iznosi 2, a dodatak 10% inulina GR uslovljava još veće pogoršanje kvaliteta, pri čemu vrednosni broj sredine iznosi svega 1 (slika 4.3.44).

Tabela 4.3.22. Uticaj vlakana na kvalitet i teksturu hleba

Vrsta vlakana	Bez vlakana	fibrex		inulin HPX		inulin GR	
		5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Količina vlakana (%)	0(%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Kvalitet hleba							
Prinos testa (g)	159,5	166	172	154,5	153,7	151,2	145,2
Prinos hleba (g)	140	149,5	154,7	138,5	137,4	135,6	122,6
Zapremina (cm ³)	385	287,5	230	252,5	280	300	295
Prinos zapremine (cm ³)	409,4	316,2	263,7	260,1	286,9	337,2	345,8
VBS	4,6	2,5	2	2,5	2	2,5	1
Tekstura hleba							
Čvrstoća (N)	1844,7±	3831,8±	3941,0±	4427,0±	4374,2±	3982,1±	4881,2±
	348,8	772,5	742,2	155,4	179,4	1134,8	372,4
Sila zagriža (N)	0,744±	0,695±	0,728±	0,622±	0,721±	0,685±	0,734±
	0,01	0,009	0,039	0,016	0,029	0,103	0,024
Elastičnost (N)	1,748±	0,965±	0,937±	0,925±	0,957±	0,946±	0,929±
	0,984	0,042	0,009	0,005	0,058	0,0	0,016

VBS – vrednosni broj sredine, minimum 0, maksimum 7

Senzorne ocene kvaliteta sredine su upoređene i objektivnim merenjem čvrstoće, sile zagriža i elastičnosti. Rezultati u tabeli 4.3.22. pokazuju promenu čvrstoće hleba pod uticajem vlakana. Čvrstoća, odnosno sila sabijanja sredine se postepeno povećava sa povećanjem količine dodatih vlakana u hlebu. Parametar čvrstoće hleba se može dovesti u vezu sa senzornom ocenom kvaliteta sredine, odnosno sa opadanjem vrednosnog broja sredine registruje se povećanje čvrstoće. Zapaža se da hleb sa 0% vlakana ima najveći vrednosni broj sredine i najmanju vrednost čvrstoće. Sa dodatkom 5 i 10% vlakana kvalitet hleba se smanjuje za 2,1 do 2,6 jedinice, dok se čvrstoća hleba sa vlaknima poveća od 2 do 2,6 puta. Ovo povećanje čvrstine hleba sa dodatkom vlakana je uslovljeno strukturom pora sredine hleba, jer molekuli vlakana (Fibrexa i inulini HPX i GR) dovode do raskidanja disulfidnih mostova i sprečavaju istežanje glutena pod pritiskom gasovitih produkata fermentacije, što ima za posledicu slabljenje glutenskog matriksa i obrazovanje pora debelih zidova.

Parametar sile zagriža je veoma bitna karakteristika i zavisi od kombinacije dve sile adhezivne i kohezivne, i drugih faktora, kao što su viskozitet i elastičnost. Generalno, sila zagriža se primetno smanjuje sa dodatkom 5% vlakana Fibrexa i inulina HPX i GR, dok je ovo smanjenje pri dodatku 10% vlakana manje u odnosu na hleb sa 0% vlakana. Ovakvi podaci su

verovatno, rezultat usporavanja procesa gubljenja slobodne vode, koji doprinosi sporijem starenju hleba (*Adhikari et al., 2001; Tian et al., 2009*).

Elastičnost je važan parametar za određivanje teksture sredine i starenje hleba. Elastičnost, određena teksturometrom, predstavlja meru koliko inicijalna sila aparata narušava strukturu delimično želatiniziranog skroba. Dodavanjem veće količine vlakana, elastičnost hleba se smanjuje u odnosu na hleb sa 0% vlakana. Generalno se smatra da se visoke vrednosti elastičnosti javljaju kada je gel struktura razrušena u nekoliko velikih delova za vreme prve kompresije, dok je niska elastičnost rezultat razrušavanja gel strukture u malim delovima (*Huang et al., 2007; Tian et al., 2009*). Rezultati potvrđuju da vlakna narušavaju gel strukturu sredine u manje aglomerate, a stepen oštećenja zavisi od karakteristika vlakana, što je u skladu sa vrednostima $\tan\delta$ iz tabele 4.3.1. u kojoj je prikazan doprinos vlakana jačini skrobnog gela, odnosno uticaj vlakana na obrazovanje uređene strukture želatiniziranog skroba. Elastičnost hleba sa vlaknima, bez obzira na vrstu i količinu, manja je u odnosu na uzorak bez vlakana (tabela 4.3.22), što pokazuje da vlakna sprečavaju agregaciju amiloznih frakcija hleba (*Tian et al., 2009*).

4.3.5.3. Nutritivna vrednost i boja hleba obogaćenog vlaknima

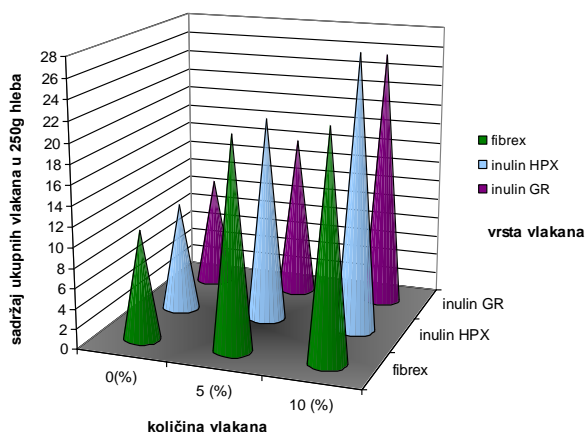
Zamenom dela brašna sa vlaknima dolazi do smanjivanja sadržaja proteina i skroba u hlebu u odnosu na hleb sa 0% vlakana, a sadržaj rezistentnog skroba u hlebu zavisi od vrste vlakana, odnosno, dodatak vlakana utiče na njegovo smanjenje (tabela 4.3.23). Sadržaj proteina u hlebu sa 5 i 10% vlakana se smanjuje za 6% odnosno 15% zavisno od količine dodatog vlakna. Zapaža se da je metodom po Ewersu u hlebu sa dodatkom Fibrexa registrovano najmanje smanjene sadržaja skroba, pri čemu sadržaj skroba u hlebu sa 5% inulina GR ima približno istu vrednost kao i hleb sa 10% Fibrexa. Dodatkom 10 % inulina HPX u hleb smanjen je sadržaj skroba za 15% u odnosu na hleb sa 0 % vlakana, a sadržaj rezistentnog skroba jenešto povećan. Dotatkom 5 i 10% inulina HPX dobija se hleb sa smanjenim sadržajem skroba i povećanim udelom rezistentnog skroba, pa proizvod ima najveći udeo nesvarljivih ugljenih hidrata (slika 4.3.56) i najveće smanjene energije (slika 4.3.57. i tabela 4.3.23).

Tabela 4.3.23. Uticaj vlakana na nutritivnu vrednost hleba obogaćenog vlaknima

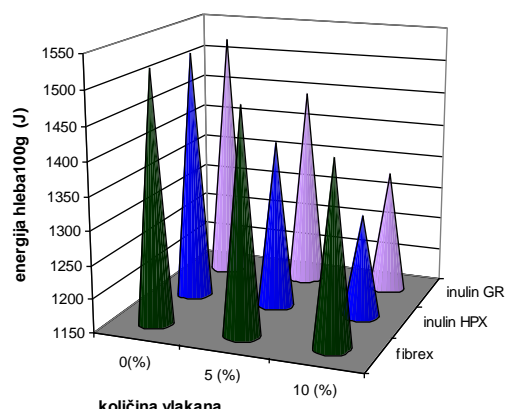
Vrsta vlakana	Bez vlakana	fibrex		inulin HPX		inulin GR	
količina vlakana (%)	0(%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)	5 (%)	10 (%)
Hemijski sastav							
sadržaj proteina (%s.m)	11,2	10,5	10,4	10,9	9,9	10,7	9,8
sadržaj skroba (% s.m) po Ewersu	78,1	76,3	73,4	70,9	66,2	73,9	67,8
sadržaj ukupnih vlakana (% s.m)	0,2	3,2	5,8	3,4	6,6	3,5	7,4
sadržaj rezistentnog skroba(%)	4,2	5,3	3,2	4,8	4,4	3	2,9
sadržaj lipida (%)	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9
Nutritivna vrednost							
povećanje sadržaja vlakana u odnosu na kontrolni uzorak (%)	-	93	104	86	152	48	134
sadržaj ukupnih vlakana u 250g hleba	11,0	21,0	22,5	20,5	27,5	16,2	25,8
energija 100g hleba (J)	1525	1483	1422	1400	1304	1447	1333
smanjenje energije u hlebu sa vlaknima (%)	-	2,8	6,8	8,2	14,5	5,1	12,6

Hleb je pogodna namirnica za korigovanje ishrane jer se svakodnevno konzumira u svim režimima ishrane (*Filipović i sar., 2000a*). Iz tabele 4.3.23. se vidi da se dodatkom vlakana značajno povećava sadržaj nesvarljivih ugljenih hidrata u hlebu, što povećava njegove funkcionalne osobine (slika 4.3.57). Prosečnom dnevnom potrošnjom belog hleba od 250 g unosi se oko 10 g vlakana dnevno i to prvenstveno rezistentnog skroba prisutnog u starom hlebu. Obogaćivanjem hleba vlaknima, dnevnom prosečnom potrošnjom ove namirnice, dostiže se minimalna preporučena količina od 25 g vlakana dnevno (*Asp, 2004*). Ovakva vrsta hleba može da ima pozitivne dugoročne efekte u prevenciji masovnih nezaznih bolesti nastalih usled nepravilne ishrane, kao što su: gojaznost, dijabetes II, hiperglikemija, hipertenzija, kardiovaskularne bolesti i drugo (*WHO, 2003, Novaković i Božić, 2004*). Dodatkom vlakana ostvaruje se značajan pad svarljivih ugljenih hidrata, ali i dalje nedovoljan da bi se proizvod mogao deklarirati kao "proizvod za dijabetičare" jer nije dostignut pad svarljivih ugljenih hidrata od 30%.

Da bi potrošači prihvatili funkcionalnu hranu moraju biti informisani i svesni prednosti datog proizvoda i da pokažu afinitet prema takvoj hrani (*Schaafsma, 2004*), a hleb sa inulinom HPX sem funkcionalnih osobina, karakterišu i vrlo dobre senzorne osobine (tabela 4.3.22), nepromenjeni ukus i miris i boja (tabela 4.3.24), koje su u skladu sa navikama potrošača.



Slika 4.3.55. Sadržaj ukupnih vlakana u 250 g hleba



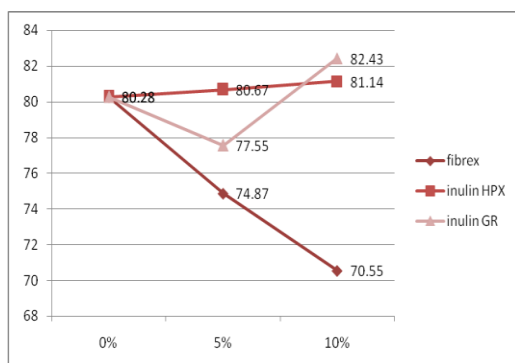
Slika 4.3.56. Uticaj vlakana na energetska vrednost hleba

Zavisno od vrste i porekla, vlakna mogu da sadrže bojene materije koje mogu da oboje gotov proizvod. Boja sredine hleba sa vlaknima je bitna osobina i iz tabele 4.3.24. se vidi da udeo zelene boje zavisi od vrste i količine vlakana u hlebu, pri čemu ovaj pokazatelj varira u opsegu od -5,29 do -5,93, a najveću vrednost ima hleb sa 10% Fibrexa. U poređenju sa hlebom koji sadrži 0% vlakana, hleb sa 5 i 10% Fibrexa ima najveći udeo žute boje, dok je udeo žute boje kod hleba sa 5 i 10% inulina HPX i GR manji, što je u skladu sa podacima Gooda(2002). Sa povećanjem količine Fibrexa u hlebu, dolazi do opadanja svetloće (slika 4.3.46), koja je za 10 jedinica manja od svetloće hleba sa 0% vlakana, što pokazuje da dodatak Fibrexa tamni boju sredine hleba i u skladu je sa tvrdnjama Neslona (2001). Nasuprot ovim podacima, svetloća hleba sa inulinom HPX se povećava sa povećanjem dodate količine inulina HPX. Hleb sa 10% inulina GR ima najveću svetloću (tabela 4.3.24. slika 4.3.46), tako da se dodatkom inulina kako HPX tako i GR boja vizuelno ne menja u odnosu na beli hleb (Wang, i sar., 2002).

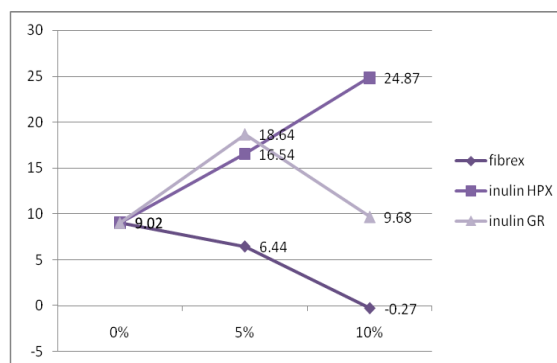
Tabela 4.3.24. Uticaj vlakana na boju hleba

Vrsta vlakana	fibrex		inulin HPX		inulin GR		
	0%	5%	5%	10%	5%	10%	
količina vlakana (%)	0%	5%	5%	10%	5%	10%	
HUNTER							
a udeo zelene boje	-4,77	-3,95	-2,59	-5,93	-3,01	-5,45	-3,49
b udeo žute boje	12,08	11,59	12,41	10,52	8,83	10,46	11,38
L - svetloća	80,28	74,87	70,55	80,67	81,14	82,43	77,55
Wta - belina	9,02	6,44	-0,27	16,54	24,87	18,64	9,68
DTD - dominantna talasna dužina (nm)	571	571	575	564	564	564	571
čistoća (%)	12,8	12,8	15,2	7,7	7,7	7,7	12,8

Na osnovu podataka o belini jasno se vidi da hleb sa dodatkom 5 i 10% inulina HPX i GR ima veću belinu od hleba sa 0% vlakana, dok hleb sa 5 i 10% Fibrexa ima manju belinu za 3 do 9 jedinica (slika 4.3.47), što je u saglasnosti i sa parametrom čistoće boje, jer veće vrednosti čistoće ukazuju da je uzorak obojeniji (tabela 4.3.24). Hleb sa inulinom HPX i GR, ima najmanju vrednost čistoće od 7,7% što ukazuje na manji procenat obojenosti uzorka, pri čemu je samo izuzetak hleb sa 10% inulina GR, što je u direktnoj vezi sa izrazito lošim kvalitetom sredine hleba, odnosno nerazijenom sredinom koja utiče na objektivni i vizuelni utisak beline i čistoće boje.



Slika 4.3.46. Uticaj vlakana na svetloću hleba



Slika 4.3.47. Uticaj vlakana na belinu hleba

5.0.0. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata ispitivanja fiziko-hemijskih i reoloških osobina vlakana i njihove interakcije sa proteinskim kompleksom svežeg i smrznutog testa u cilju dobijanja hleba izmenjenih nutritivnih i senzornih karakteristika kao funkcionalne hrane, može se zaključiti sledeće:

- Kapacitet zadržavanja vode zavisi od vrste vlakana a u manjoj meri od pH vrednosti vode. Fibrex ima najveći kapacitet zadržavanja vode od oko 421%, a inulin GR 100 puta manji koji iznosi 4,2%.
- Rastvorljivost vlakana zavisi od vrste vlakana. Inulin GR ima najveću rastvorljivost koja opada sa povećanjem kiselosti i u proseku iznosi oko 81%.
- Dodatak vlakana fibrexa, inulina HPX i GR utiče na slabljenje jačine skrobnog gela, kao posledica razrušavanja strukture skroba i stabilnosti glutenskog matriksa, što je izraženo smanjivanjem napona smicanja i površine tiksotropnih petlji, kao i manjim modulima elastičnosti.
- Pri stacionarnom merenju, gelovi sa 5 i 10% fibrexa i 5% inulina HPX imali su najveću stabilnost u izrazito kiseloj sredini na pH 3, što je izraženo povećanim naponom smicanja i površinom tiksotropne petlje, a gelovi sa 5 i 10% inulina GR su na ovoj pH vrednosti pokazivali najmanju stabilnost.
- Dužina bočnih lanaca inulina ima uticaj na slabljenje gela.
- Pri dinamičkim oscilatornim merenjima gelovi sa 5 i 10% inulina HPX i inulina GR imalju najnižu vrednost modula elastičnosti G' na pH 4, što ukazuje da na ovoj kritičnoj pH vrednost dolazi do slabljenja sistema i međusobnih interakcija.
- Pri dinamičkim oscilatornim merenjima gelovi sa 5 i 10% fibrexa pokazuju povećanje vrednosti modula elastičnosti G' u izrazito kiseloj sredini (pH 4 i pH 3) i dobro inkorporaciju u strukturu gela.

- Farinografske osobine hlebnog testa menjaju se zavisno od količine i vrste inkorporiranih vlakana, a pH vrednost vode za zames ima mali uticaj na ove pokazatelje.
- U odnosu na testa sa 0% vlakana nezavisno od pH vrednosti vode za zames, dodatak Fibrexa povećava moć upijanja vode za 13 do 33%, inulin HPX je smanjuje 7% do 10%, a inulin GR od 14% do 25%.
- Dodatak Fibrexa u testu dovodi do produžene hidratacije, što se ogleda u povećanju razvoja testa i stabiliteta testa.
- Dodatak Fibrexa i obe vrste inulina (HPX i GR), povećava otpor testa na rastezanje i smanjuje njegovu rastegljivost, pri čemu inulin GR ima najizraženiji uticaj na ekstenzografske pokazatelje, pa je opravdan dodatak brašnu koje ima mali otpor i veliku rastegljivost.
- Dodatak Fibrexa, inulina HPX i GR skraćuje završnu fermentaciju, te zahteva prilagođavanje tehnološkog postupka proizvodnje.
- Dodatak 5% inulina HPX ili 5% inulina GR na pH=4 povećava maturografski otpor testa za 5 do 6%. Dodatak fibrexa i obe vrste inulina u količini od 10%, nezavisno od pH vrednosti, smanjuju obradivost testa.
- Viskozitet suspenzije na 50°C, nezavisno od količine i vrste vlakana ima najveću vrednost na pH 4, što ukazuje na brzinu starenja hleba.
- Dodatkom 5% tri različite vrste vlakana, 10% fibrexa i 10% inulina HPX dobija se dobar kvalitet hleba, pa je opravdana njihova upotreba za proizvodnju hleba obogaćenog prehrambenim vlaknima, dok se dodatkom 10% inulina GR dobija hleb smanjene zapremine, smanjene elastičnosti sredine i grubih pora.
- Na pH 4 pri dodatku 5% i 10% vlakana (fibrex, inulin HPX i GR) dolazi do pada kvaliteta hleba u odnosu na hleb sa 0% vlakna.
- Statistički je dokazano (MANOVA .000 i diskriminativna .000) da postoji značajna razlika u kvalitetu testa i hleba bez vlakana i sa vlaknima (fibrexom, inulinom HPX i GR).

- Na osnovu koeficijenta diskriminacije najveći uticaj vlakana na završnu fermentaciju testa je posle 1 dan (199.006 i 5.739) čuvanja testa u zamrznutom stanju, dok je uticaj vlakana na pecivne osobine izražen posle 30 dana (9.416) na zapreminu, a na kvalitet hleba posle 60 dana (.841).
- Pri zamrzavanju testa 30 i 60 dana sa inulinom HPX i GR dolazi do produženja završne fermentacije, a fibrex doprinosi skaraćenju završne fermentacije
- Testo sa Fibrexom daje ujednačen kvalitet hleba (zapremina i vrednosni broj sredine) bez obzira na dužinu zamrzavanja, što potvrđuje statistička homogenost koja iznosi 100%.
- Inulin HPX se dobro inkorporira u glutenski matriks i štiti ćelije kvasaca od oštećenja ledom pri zamrzavanju, što potvrđuje najveća zapremina hleba. Zaštitna uloga inulina HPX se ogleda u očuvanju kvaliteta gotovog proizvoda pri zamrzavanju od 60 dana, jer je kvalitet hleba na nivou hleba od nezamrznutog testa bez vlakana.
- Inulin GR doprinosi pogoršanju osobina zamrznutog testa, što se ogleda u manjoj zapremini i lošijem kvalitetu hleba.
- Vrsta vlakana nema uticaj na izgled tj. tok krive zamrzavanja/odmrzavanja, dok na kinetiku zamrzavanja/odmrzavanja utiče vrsta vlakana.
- Najkraće vreme zamrzavanja/odmrzavanja ima testo sa inulinom GR, a najduže testo sa fibrexom, što je posledica najveće dodate količine vode u testo, tj. najviše je formirano leda.
- Na bazi laboratorijskih eksperimentalnih podataka može se matematičkim modelom definisati kinetika zamrzavanja/odmrzavanja koja odgovara jednačini sa kvadratnim polinomom ($Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * X^2$), odnosno nestacionarnom uniformnom temperaturnom profilu sa kvadratnim članom.
- Najbolji efekat na kinetiku zamrzavanja/odmrzavanja ima testo sa 10% inulina GR, što potvrđuje najveće vrednosti koeficijenta determinacije R^2 . Koeficijent determinacije kod testa sa 10% inulina GR pri zamrzavanju na temperaturi od -18 °C je $R^2 = 0.966$ a na temperaturi od -28 °C je $R^2 = 0.970$. Pri odmrzavanju testa na

- +30 °C koeficijent determinacije je 0.991 za zamrznuto testo na -18 °C i 0.981 za odmrzavanje testa koje je bilo zamrznuto na -28 °C.
- U poređenju sa inulinom HPX i GR, testo sa 10% fibrexa ima najmanju vrednost koeficijenta determinacije R^2 (za zamrzavanje 0.939 i 0.946 i odmrzavanje 0.972 i 0.951), što pokazuje da ovo vlakno najlošije utiče na kinetiku zamrzavanja/odmrzavanja.
 - Neuniformni temperaturni profil sa kvadratnim članom može se primeniti na kinetiku zamrzavanje/odmrzavanje, a na osnovu visokih vrednosti koeficijenata determinacije može se obezbediti matematički model koji adekvatno prati proces zamrzavanja/odmrzavanja i primeniti u realnim pogonskim uslovima.
 - Ugradnjom fibrexa, inulina HPX i GR, narušava se struktura proteinskog matriksa, što rezultira skraćanjem vremena završne fermentacije (kod fibrex i inulina HPX), smanjenja otpora i elasticiteta testa.
 - Dodatkom 5% i 10% vlakana (Fibrexa, inulin HPX-a i inulina GR-a) dolazi do smanjenja zapremine hleba i narušavanja kvaliteta sredine hleba, što utiče na teksturu hleba, odnosno povećanja čvrstoće i smanjenja sile zagrizi i elastičnosti.
 - Dodatkom 5 i 10 % vlakana dobija se hleb sa značajnim padom svarljivih ugljenih hidrata, tako da se dobija proizvod smanjene energetske vrednosti, promenjenog nutritivnog sastava koji ima osobine funkcionalne hrane.
 - Prosečnom dnevnom potrošnjom hleba sa 10% vlakana zadovoljava se minimalan unos vlakna od 25 g.
 - Merenje boje na tristimulusnom fotoelektričnom kolorimetru pokazuje da dodatkom Fibrexa boja belog hleba tamni, pri čemu je svetloća hleba sa 5% Fibrexa manja za 7% a hleba sa 10% Fibrexa za 12% u odnosu na hleb sa 0% vlakana. Belina hleba sa 5% Fibrexa je manja za 3 jedinice a hleba sa 10% Fibrexa za 9 jedinica u odnosu na hleb sa 0% vlakana.
 - Boja hleba sa dodatkom 5 i 10% inulina HPX i GR se vizuelno ne menja.
 - Dodatak 5 i 10% inulina HPX i 10% inulina GR utiče na povećanje svetloće i beline hleba u odnosu na hleb sa 0% vlakana.

- Vrsta i količina vlakana utiče na kvalitet gotovog proizvoda. Pravilnim izborom vlakana može se dobiti hleb senzornih karakteristika bliskih belom hlebu, ali znatno poboljšanih nutritivnih efekata koji ga svrstavaju u funkcionalnu hranu.
- Određena vlakna pozitivno utiču na kvalitet proizvoda od zamrznutog testa, pri čemu se može proces zamrzavanja i odmrzavanja matematički modelovati, što omogućava centralizovanu proizvodnju i široku distribuciju proizvoda uz očuvanje visokog kvaliteta i zadržavanje željenih karakteristika.

6.0.0. LITERATURA

Adhikari B., Howes T., Bhandari B.R., Truong V. (2001): Stickness in foods: A review of mechanisms and test methods, *International Journal of Food Properties*, **4**, (1) 1-33.

Anderson T.W. (1984): An introduction to Multivariate Statistical Analysis second edition. John Wiley&Sons. USA.

Asp N-G., (2004): Definition and analysis of dietary fibre in context of food carbohydrates, Chapt 1 in *Dietary Fibre bio-active carbohydrates for food and feed*, Edited by J.W van der Kamp. N-G. Asp. J Miller Jones and G. Schaafsma, Wageningen academic Publisher, Wageningen, The Netherlands.

Auerman L.J., (1988): *Tehnologija pekarske proizvodnje*, prevela i prilagodila Dobrila Beleslin, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Bárcenas M.E., Haros M., Benedito C. and Rosell C.M. (2003): Effect of freezing and frozen storage on the staling of part-baked bread. *Food Research International* **36**, 863-869.

Berglund, P.T. (1988). Frozen bread dough: Aspects of protein and water. pH. D. thesis. Fargo: North Dakota State Univ. p 256.

Berglund, P.T., Shelton, D.R. (1993). Effect of frozen storage duration in firming properties of breads from frozen dough. *Cereal Foods World*, **38**, 89-93.

Berghofer E., (2000): Bread as functional food, *Getreide Mehl und Brot*, **54** (3),175-179.

Berghöfer E., (2002): Hleb kao funkcionalna hrana, *Žito-hleb*, **29** (2), 69-76.

Bloksma A. H., Bushuk W., (1988): *Rheology and Chemistry of Dough*, Chapt 4 in *Wheat: Chemistry and Tehnology* vol. II, Edited by Y. Pomeranz, AACC Inc. St. Paul, Minnesota, USA.

Borderias A.J., Sánchez-Alonso I., Pérez- Mateos M., (2005): New applications of fibers in foods: Addition to fishery products, *Trends in food Science & Technology*, **16**, (10), 458-465.

Brak G, Hanneforth U., (1991): Herstellung von Tiefgefrorenen Teiglingen aus Hefefeinteigen, *Getreide Mehl und Brot* **45**, 309-315.

Brennan, C.S., Tudorica, C.M., (2008): Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibres additions reduce the predicted glycamic index of fresh pastas, *International Journal of Food Science &Technology*, **43**, (12), 2151-2162.

Brümmer J.M., Lengerich B, (1980): Über das Tiefgerieren von Weizenbrotteigen Mitteilung: Einflus von Rezepturbestandteilen, der Tiefkühlagerzeit sowie des Auftauensund Backens beim Endverbraucher auf die Brot-qualität, *Lebensmitteltechnologie* **13** (3), 18-21.

Cengel, Y. A. (1998). *Heat transfer – practical approach*, Mc Graw- Hill, New York, USA.

Deep, N. Y., Prakash, E. P., Mohammad, A., K., Gopal, K. S., Amrindar, S. B., (2008). Effect of freeze-thaw cycles and additives on rheological and sensory properties of ready to bake frozen chapaties, *International Journal of Food Science & Technology*, **43**, 1714-1720.

De Stefanis V.A. (1995): Functional role of Microingredients in Frozen Doughs, Chapt. 5 in *Frozen & Refrigerated Doughs and Batters*, ed by K. Kulp, K. Lorenz, J. Brümmer, American Association of Cereal Chemists, Inc. St.Paul, Minnesota, USA, pp. 91-117.

Falcão- Rodrigues, M.M., Moldão-Martins, M., Beirão-da-Costa M., (2005): Thermal properties of gluten proteins of two soft wheat varieties, *Food Chemistry* **93**, 459-465.

Faridi H., Faubion M. J., (1986): *Fundamentals of Dough Rheology*, The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota.

Faridi H., (1987): *Rheology of Wheat Products*, The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota.

Filipović N., (1980): Faktori koji utiču na farinografske pokazatelje, *Žito hleb*, **7** (3-4), 37-43.

Filipović N., (1997): Uticaj sastava i uloge lipida brašna u procesu izrade hleba, *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet.

Filipović N., Gyura J., Filipović J., (2001): Quality of bread enriched with dietary fiber, *1st International symposium "Food in the 21st century"*, Book of Proceedings, 566-569.

Filipović N., Kaluđerski G., Šarić M. (2000): Priprema pšenice za proizvodnju hleba od celog zrna, *Acta Periodica Technologica*, **31**, part A, 273-280.

Giannou V., Kessoglou V i Tzia C., (2003): Quality and safety characteristics of bread from frozen dough. *Trends in food Science &Technology*, **14**, (3), 99-108.

- Gould L. M, Brian K, Jasberg, Gregory L. Cote, (1989):** Structure-Function Relationships of Alkaline Peroxide-Treated Lignocellulose from Wheat Straw, *Cereal Chem.* **66** (3), 213-217.
- Good, H. (2002):** Measurement of Color in Cereal Products, *Cereal Foods World*, **47** (1) 5-6.
- Gugerli, R., Breguet V., von Stocker U and Marison I.W., (2004):** Immobilization as a tool to control fermentation in yeast – leavened refrigerated dough. *Food Hydrocolloides*, **18**, (5), 703-715.
- Guillon F., Champ M., Thibault J. - F., (2000):** Dietary fibre functional products, Chapt 13 in *Functional foods concept to product*, Edited by G. R. Gibson and C. M. Williams, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Hung M., Kennedy J.F., Li B., Xiao X., Xie B. J., (2007):** Characters of rice starch gel modified by gellan, carrageenan and glucomannan: A texture profile analysis study. *Carbohydrate Polymer*, **69**, 411-418.
- Janković M., Masović S., Nikolić B., Gugušević-Đaković T., (1999):** Uticaj rezima zamrzavanja na preživljavanje i fermentativnu aktivnost pekarskog kvasca *S.cerevisiae*. *Žito- Hleb* **26** (1-2) 20-25.
- Jeon J., Kamil J., Shahidi F. (2002):** Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50** (18), 5167-5178.
- Kaluđerski G., Kaluđerski S., Tošić B. (1986):** Sirovine za proizvode pekarstva, testeničarstva i konditorstva, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad.

Kaluđerski, G., Filipović, N. (1990): Kako dobiti kvalitetan hleb od celog zrna žita, *Čovek i životna sredina*, 1-2, 129-131.

Kaluđerski G., Filipović N., Đumić B. (1993): Sporedni proizvodi mlevenja u izradi hleba sa visokim sadržajem balastnih materija, *Žito-hleb*, **20** (4), 125-130.

Kaluđerski G., Filipović N., (1998): *Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Karim A.A, Norziah M.H., Seow C.C., (2000): Methods for the study of starch retrogradation, *Food chemistry*, **71**, 9-36.

Kasarda D.D., (1999): Glutenin Polymers: The In Vitro to In Vivo Transition, *Cereal Foods World*, **44**, (8), 566-571.

Kieffer R., Garnreiter F., Belitz H.D. (1981): Beurteilung von teigeigenschaften durch zugversuche im mikromasstab, *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 172, 193-194.

Knuckles B. E., Hudson C. A., Chiu M. M., Sayre R. N., (1997): Effects of β -glucan barley fractions in high-fibre bread and pasta, *Cereal Foods World*, **42**, 94-100.

Kremić M (1989): Uticaj uslova zamrzavanja i čuvanja kvasnog peciva na kvalitet gotovog proizvoda, *Magistarski rad*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Kulp K., (1995): *Biochemical and Biophysical Principles of Freezing*, Chapt, 4 in *Frozen & Refrigerated Doughs and Batters* ed by K. Kulp, K. Lorenz, J. Brümmer, American Association of Cereal Chemists, Inc. St.Paul, Minnesota, USA, pp. 63-86.

Kulicke W.-M., Edim D., Kath F., Kix M., and Kull A.H., (1996): Hydrocolloids and Rheology: Regulation of visko-elastic characteristics of waxy rice starch in mixtures with galactomannans, *Starch/Stärke* **48**, 105-114.

Lamacchia C., Di Fonzo N., Harris N., Richardson A. C., Napier J. A., Lazzeri P.A. I (2000): Genetic Modification of the trafficking and deposition of seed storage proteins to alter dough functional properties. In P.R. Shwery & A. S. Tatham (Eds.), *Wheat gluten* (pp. 97-100). Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Làszity R., (1996): *The chemistry of cereal proteins*, 2-nd ed., CRC Press Inc, Boca Raton

Làszity R., Tömösközi S., Révay T., (2000): Novi rezultati na polju istraživanja glutena – šta dalje?, *Žito hleb*, **27** (4-5) 117-125.

Lastić R. (2000): Uticaj disulfidnih veza na reološke osobine glutena i pecivna svojstva pšenice, *Žito hleb*, **27** (1) 1-7.

Macritchie F. (1999): Wheat Proteins: Characteruzation and role in flour functionality, *Cereal Chemists*, **44**, (4) 188-193.

Margez T.G., (2002): *The rheology-Handbook*, Vincentz Verlag, Hannover.

Marquart L., Asp N.-G., Richardson D.P., (2004): *Whole grain health claims in United States, United Kingdom and Sweden*, Chapt. 1 in *Dietary Fibre bio-active carbohydrates for food and feed*, Edited by J.W van der Kamp. N-G. Asp. J Miller Jones and G. Schaafsma, Wageningen academic Publisher, Wageningen, The Netherlands.

Mejri, M., Rogé B., BenSouissi A., Michels F., Mathlouthi M. (2005): Effects of some additives on wheat gluten solubility, *A structural approach*, **92**, 7-15.

Naito S., Fukami S., Mizokami Y., Ishida N., Takno H., Koizumi M. and Kano H., (2004): Effect of freeze-thaw cycles on the gluten fibrils and crumb grain structures of bread made from frozen doughs. *Cereal Chemistry* **81** (1), 80 -86.

Nemeth L. J., Paulley F. G., i Preston K.R., (1996): Effects of ingredients and processing conditions on the frozen bread quality of a Canada Western Red Spring wheat flour during prolonged storage. *Food Research International*, **29**, 609-619.

Nelson A., (2001) : *High-fiber ingredients*, American Association of Cereal Chemists , St. Paul Minnesota, USA, 29-44.

Niness K. R., (1999): Inulin and Oligofructose: What Are They?, *Journal of Nutrition*, **129**: 1402-1406.

Novaković B., Božić D., (2004): *Šćерна bolets, gojaznost i povišen krvni pritisak stanovništva Vojvodine*, Medicinski fakultet, Novi Sad, Edicija monografije: 62.

Odintsova T., Egorov T., Musolyamov A., Tatham A., Shwery P., Hojruo P. (2000): *Isolation and characterization of the HMW glutention subunit 17 and 18 and D glutenin subunit from wheat isogenetic line L88-31*. In *Wheat gluten* P.R. Shwery & A. S. Tatham (Ed), (pp. 171-174). Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Petrović Lj., (1987): Fizičke osobine smrzavanja testa, Zbornik radova sa naučnog skupa NIM, Petrinja, 350.

Phimolsirilpol Y., Siripatrawan U., Tulyatham V., Cleland D.J (2008)a. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality, *Journal of Food Engineering* **84**, 48-56.

Phimolsirilpol Y., Siripatrawan U., Tulyatham V., Cleland D.J (2008)b. Effects of cold pre-treatment duration before freezing on frozen bread dough quality, *International Journal of Food Science & Technology*, **43**, 1759-1762.

Prosky L. (2001): *What is dietary fiber? A new look at the definition.* In B.V. McClary and L. Prosky, Editors, *Advanced Dietary Fiber Technology*, Blackwell Science Ltd, Oxford, 63-76.

Pylar E. J., (1988): *Baking Science and Technology*, Siebel Publishing Company, Chicago, ILL.

Ribotta P.D., León A.E. and Añón M.C., (2003): *Effect of freezing and frozen storage on the gelatinization and retrogradation of amylopectin in dough baked in a differential scanning calorimeter.* Food Rese, USA.

Rosell C. M., Collar C. (2009): Effect of temperature and consistency on wheat dough performance, **44**, (3), 493-502.

Schaafsma G., (2004): *Health claims, options for dietary fibre*, Chapt. 1 in *Dietary Fibre bio-active carbohydrates for food and feed*, Edited by J.W van der Kamp. N-G. Asp. J Miller Jones and G. Schaafsma, Wageningen academic Publisher, Wageningen, The Netherlands.

Schramm G., (2000): *A practical approach to rheology and rheometry*, Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe

Seibel W., (2001): Funkcionalne namirnice na bazi žita, *Prevod, Žito-hleb*, **28**, 3, 59-64.

Sharadanant R., Khan K. (2003a): Effect of Hidrophilic Gums on Frozen Dough I. Dough Quality, *Cereal Chemistry* **80** (6), 764-772.

Sharadanant R., Khan K. (2003b): Effect of Hidrophilic Gums on Frozen Dough I. Bread Characteristics, *Cereal Chemistry* **80** (6), 773-780.

Singh R. P., and Heldman D.R., (1995). *Introduction to Food Engineering*. Academic Press, San Diego.

Singh R.P., (1995): *Principles of Heat Transfer, Frozen & Refrigerated Doughs and Batters*, Chapt 11 in *Frozen & Refrigerated Doughs and Batters* ed by K. Kulp, K. Lorenz, J. Brümmer, American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, pp. 193-207

Stauffer C. E., (1993): *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.

Takano H., Naito S., Ishida N., Koizumi M. I Kano H., (2002): Fermentation process and grain structure of baked breads from frozen dough using freeze-tolerant yeasts. *Journal of Food Science*, **67**, 2725- 2733.

Tanghe A., Teunissen A., Van Dijck P., Thevelein J. M., (2002): Identification of genes responsible for improved cryoresistance in fermenting yeast cells. *International Journal of Food Microbiology*, **55**, 259-262.

Tian Z.Q., Li Y., Jin Z.Y., Xu X.M., Wang J.P., Jiao,A.Q., Talba T., (2009): β -Cyclodextrin (β CD): A new approach in bread staling. *Thermochimica Acta*, 489, 22-26.

Vujić S., (1983): *Rashladni uređaji*, Mašinski fakultet, Beograd.

Wagner von J., (1999): Koma Kältetechniken, Dusseldorf Österreichis, *Backer Zeitung*. **91** (10), 11-12.

Wang J., Rosell M. C., Barber B. C., (2002): Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality, *Food Chemistry*, **79**, 221-226.

Weidmann M., Jager M., (1997): Synergistic sweeteners, *Food Ingredients Int*; Nov-Dec: 51-56.

Wieser H., Seilmeyer W., Valdez I., Mendez E. (2000): Characterization of omega-gliadins from different wheat species. Abstracts of "Gluten 2000". conference, Bristol, (2000), April 2-6.

World Health Organization, WHO (2003): Diet, Nutrition and Prevention of Chronic Disease, Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation, *WHO Technical Report Series*, No. 894, Geneva.

Wrigley C. W., Békés F., (1999): Gluten-Protein Formation during the Continuum from Anthesis to Processing, *American Association of Cereal Chemists*, **4** (8), 562-565.

www.eatright.org

www.iq.usp.br/wwwdocents/marcant/About_Rheo.htm