



Fizičke i senzorske karakteristike funkcionalnih prehrambenih namaza na bazi celuloznih hidrokoloida i brašna pogače uljane tikve

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof.dr Ljubica Dokić

Kandidat:
Ivana Nikolić, dipl.inž.

Novi Sad, 2015.

UNIVERZITET U NOVOM SADU Tehnološki fakultet, Novi Sad
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska publikacija

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Doktorica disertacija

Autor:

AU

Ivana Nikolić, dipl. inž.

Mentor/komentor:

MN

Dr Ljubica Dokić, redovni profesor

Naslov rada:

NR

Fizičke i senzorske karakteristike funkcionalnih prehrambenih namaza na bazi celuloznih hidrokoloida i brašna pogače uljane tikve

Jezik publikacije:

JP

srpski, latinica

Jezik izvoda:

JI

srpski, engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2015.

Izdavač:

IZ

autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

21000 NOVI SAD, Bulevar cara Lazara 1

Fizički opis rada:
FO Broj poglavlja: 7
Strana: 131
Literaturnih citata: 154
Tabela: 59
Slika: 118
Grafika: 2

Naučna oblast:
NO Prehrambeno inženjerstvo

Naučna disciplina:
ND Inženjerstvo ugljenohidratne hrane

Predmetna odrednica/ ključne reči: PO celulozni hidrokoloide, brašno pogače uljane tikve, prehrambeni namaz, reologija, tekstura, senzorska ocena

UDK

Čuva se:
ČU Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu
21000 NOVI SAD, Srbija, Bulevar cara Lazara 1

Važna napomena:
VN /

Izvod/abstrakt:
IA

Osnovni cilj ovog istraživanja je utvrđivanje mogućnosti proizvodnje funkcionalnog niskoenergetskog prehrambenog namaza na bazi brašna od semena tikve golice i hidrokoloida ugljenohidratnog porekla.

Utvrđivanju ove mogućnosti prethodilo je potpuno karakterisanje i definisanje sastavnih komponenti namaza. To su brašno od semena tikve golice i prehrambeni hidrokoloide na bazi vlakana. Brašno od semena tikve golice analizirano je radi određivanja njegovih fizičko-hemijskih karakteristika, funkcionalnih svojstava, mikrobiološke ispravnosti i mikrostrukturalne prirode. Analizama brašna stečen je uvid u fizičke, nutritivne i mikrobiološke karakteristike i u svojstva ponašanja, s ciljem utvrđivanja mogućnosti primene brašna od semena tikve u daljem radu. Takođe, ispitane su dve vrste hidrokoloida ugljenohidratnog porekla metodom mikrostrukturalne analize, metodom određivanja raspodele veličina čestica, reološkim određivanjima i teksturalnim karakterisanjem sistema. Cilj ovog ispitivanja je definisanje vrste i koncentracije vlakana u gel strukturi hidrokoloida, koja ima sposobnost da ostvari ulogu nosača brašna, odnosno kontinualne faze u namazu. Time je predviđeno i ponašanje ugljenohidratnih hidrokoloida u prehrambenom sistemu tipa namaza.

Nakon definisanja sastavnih komponenti, radi utvrđivanja optimalnih svojstava namaza, analizirani su namazi sa različitom vrstom i koncentracijom vlakana u gel sistemu i različitim udelom primenjenog hidrokoloida u sastavu namaza. Pri ispitivanju značajnosti uticaja promenljivih faktora na svojstva dobijenih namaza korišćena je metoda planiranja eksperimenta (DOE–design of experiment) u okviru koje je primenjen potpuni

faktorijalni dizajn. Takođe, međusobna linearna zavisnost između pojedinih promenljivih određena je metodom korelacije sa ciljem utvrđivanja povezanosti parametara senzorske analize sa instrumentalno određenim karakteristikama.

Cilj objedinjenja svih analiza je definisanje sastava namaza optimalnih svojstava i formulacija niskoenergetskog prehrambenog namaza na bazi brašna od semena tikve

Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja u okviru ove doktorske disertacije izvedeni su zaključci da je brašno od semena tikve golice nutritivno i biološki vrlo vredna sirovina dobre održivosti, bez patogenih mikroorganizama i da predstavlja pogodnu sirovinu za proizvodnju namaza. Takođe, hidrokoloid Vivapur MCG 611F se odlikuje povoljnijim reološkim i teksturalnim svojstvima od hidrokoloida Vitacel WFG HS73, jer tiksotropno protiče, ima veći stepen uređenosti i povezanosti strukture sa izraženom elastičnom prirodom koja mu omogućava manju podložnost deformacijama i čini ga pogodnim za proizvodnju namaza.

Na osnovu analize uticaja promenljivih faktora, koji se odnose na sastav namaza, zaključeno je da posmatrani namazi predstavljaju realne reološke sisteme i da sastav namaza izraženo utiče na njihove reološke, teksturalne i senzorske osobine.

Na osnovu sprovedenih istraživanja zaključuje se da je moguća proizvodnja niskoenergetskog namaza na bazi brašna od semena tikve golice. Pri tome namaz treba da sadrži 80% MCG zamenjivača masti (na masu namaza) koncentracije hidrokoloidnog gela 7% i 20% brašna od semena tikve golice (na masu namaza). Namaz optimalnih svojstava je polidisperzan sistem sa uređenom strukturom u kojoj su čestice primenjene količine brašna uklopljene u kontinuiranu mrežu hidratiranih MCG vlakana i potpuno obložene dostupnom količinom zamenjivača masti. Zahvaljujući takvoj organizaciji i strukturi sistema optimalni namaz ispoljava dobre reološke karakteristike, optimalnu mazivost, dobro prijanjanje na površinu i laku manipulaciju namazom tokom proizvodnje i tokom primene. Dobijeni namaz predstavlja nutritivno vredan proizvod koji se na osnovu sastava i zdravstvenog uticaja komponenti može svrstati u funkcionalne prehrambene proizvode.

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: 23.12.2012.

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije:
KO

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

dr Ljubica Dokić, redovni profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, mentor

dr Vladimir Tomović, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član

dr Dušan Rakić, docent, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član

dr Veljko Krstonošić, docent, Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, član

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

Accession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monographic publication
DT

Type of record: Textual material, printed
TR

Contents code: Ph. D. thesis
CC

Author: Ivana Nikolić, BSc.
AU

Menthor/comenthor: Dr Ljubica Dokić, full professor
MN

Title: Physical and sensory characteristics of functional food
TI spreads based on cellulose hydrocolloids and flour of
pumpkin seed cake

Language of text: Serbian
LT

Language of abstract: Serbian/English
LA

Country of publication: Serbia
CP

Locality of publication: Vojvodina
LP

Publication year: 2015.
PY

Publisher: Author's reprint
PB

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

Physical description:
PD Chapters: 7
Pages: 131
References: 154
Tables: 59
Figures: 118
Graphs: 2

Scientific field:
SF Food engineering

Scientific discipline:
SD Carbohydrate food engineering

Subject/key words:
SX cellulose hydrocolloids, flour of hull-less pumpkin seed
cake, food spread, rheology, texture, sensory evaluation

VC

Holding date:
HD Library of Faculty of Technology, Novi Sad
21000 NOVI SAD, Serbia, Bulevar cara Lazara 1

Note:
N /

Abstract:
AB

The main objective of this study was to determine the possibility of production the low-fat functional food spreads based on flour of pumpkin seed and carbohydrate hydrocolloids. That included complete characterization of components of the spreads, the flour of hull-less pumpkin seed and fiber based food hydrocolloids. Flour of pumpkin seed was analyzed in order to determine its physico-chemical characteristics, functional characteristics, microbiological safety and microstructural nature. These analyses of flour defined the physical, nutritional and microbiological characteristics and behavior of flour, with the aim of determine the possibilities of its application in further work. Also, two types of carbohydrate based hydrocolloids were examined by microstructural aspect, by particle size distribution, rheological determinations and textural characterization. The aim of these analysis was to define the type and concentration of fibers in the gel structure of hydrocolloids, which has the ability of to flour carrier and the role of continuous phase in the spread. This predicted the behavior of carbohydrate based hydrocolloids in the food system such as spreads.

The determination of main components of the spreads was followed by determination of optimal properties of the spreads, which included analysis of spreads with different type and concentrations of fibers in the gel system and the different amount of the applied hydrocolloid. To determine the significance of the influence of variable factors on the properties of the obtained spreads, the method of design of experiment (DOE) was used, with applied full factorial design. Also, correlation between certain sensory and

instrumentally determined parameters was defined.

The aim of all analysis was to define the composition of the spread with optimal properties and to formulate the low-fat food spread based on flour of pumpkin seed

Based on the results obtained within this doctoral thesis, it was concluded that the flour of pumpkin seed cake is nutritionally and biologically very valuable raw material with good sustainability, without pathogenic microorganisms, thus it is a suitable raw material for the production of spread. Also, Vivapur MCG 611F was characterized as hydrocolloid with better rheological and textural properties than the hydrocolloid Vitacel WFG HS73, because of its thixotropic flow properties, higher degree of networking and pronounced elastic nature of structure that provides lower susceptibility to deformation and makes it suitable for the production of spread.

Based on the influence of variable factors, related to the composition of spreads, it was concluded that the observed spreads were real rheological systems and that the composition of spreads significantly influenced on their rheological, textural and sensory characteristics.

Obtained results of this research suggested that the production of low-fat food spread based on flour of pumpkin seed is possible. This spread contains 80% of MCG 611F fiber based hydrocolloid (on the mass of the spread) with gel concentration of 7% and 20% of flour of pumpkin seed cake (on the mass of the spread). The spread with optimal properties is polydisperse system with compact structure in which the flour particles are incorporated into continuous network of hydrated MCG fibers and completely coated with available amount of fat replacer. Due to this organization and structure of the system, optimal spread exhibits good properties for manipulation during production and application, such as good rheological characteristics, optimal spreadability and good adhesion to the surface. Obtained spread is nutritionally valuable food product which can be classified into functional food product based on the composition and health influence.

**Accepted by the Scientific Board on:
ASB**

23.12.2012.

**Defended on:
DE**

**Thesis defend board :
DB**

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

dr Ljubica Dokić, full professor, Faculty of Technology, University of Novi Sad,
mentor

dr Vladimir Tomović, associate professor, Faculty of Technology, University of Novi
Sad, member

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

dr Veljko Krstonošić, professor assistant, Faculty of Medicine, University of Novi
Sad, member

SADRŽAJ

<i>Poglavlje 1</i>	
Uvod	1
<i>Poglavlje 2</i>	
Cilj rada	2
<i>Poglavlje 3</i>	
Pregled literature	4
3.1. Uljana tikva golica	4
3.1.1. Brašno od semena uljane tikve golice	6
3.1.2. Mogućnost iskorišćenja brašna od semena tikve golice	7
3.2. Zamenjivači masti	8
3.2.1. Zamenjivači masti u funkcionalnim prehrambenim proizvodima	8
3.2.2. Klasifikacija zamenjivača masti	9
3.2.3. Zamenjivači masti ugljenohidratne prirode	10
3.2.4. Zamenjivači masti na bazi vlakana	10
3.2.5. Komercijalni zamenjivači masti na bazi vlakana	12
3.2.6. Zamenjivači masti na bazi celuloze	13
3.2.6.1. Celuloza i derivati celuloze	13
3.2.6.2. Mikrokristalna celuloza	15
3.3. Reologija prehrambenih proizvoda	18
3.3.1. Svojstva proticanja	18
3.3.2. Viskoelastične osobine	20
3.3.3. Svojstva puzanja	22
3.4. Tekstura prehrambenih proizvoda	23
3.5. Senzorska analiza prehrambenih proizvoda	25
<i>Poglavlje 4</i>	
Eksperimentalni deo	27
4.1. Materijal	27
4.2. Metode rada	27
4.2.1. Određivanje fizičko-hemijskih karakteristika brašna od semena tikve golice	27
4.2.1.1. Određivanje granulometrijskog sastava brašna	27
4.2.1.2. Određivanje hemijskih svojstava brašna	28

4.2.1.3. <i>Određivanja sadržaja mineral i teških metala u brašnu</i>	28
4.2.1.4. <i>Određivanje sastava masnih kiselina</i>	28
4.2.2. <i>Određivanje funkcionalnih karakteristika brašna od semena tikve golice</i>	29
4.2.2.1. <i>Određivanje oksidativne stabilnosti brašna</i>	29
4.2.2.2. <i>Određivanje kapaciteta apsorpcije vode</i>	29
4.2.2.3. <i>Određivanje indeksa rastvorljivosti brašna</i>	29
4.2.3. <i>Mikrobiološka analiza</i>	29
4.2.4. <i>Analiza strukture sistema skenirajućom elektronskom mikroskopijom</i>	30
4.2.5. <i>Priprema kontinualne faze-zamenjivača masti</i>	30
4.2.6. <i>Priprema namaza od brašna semena tikve golice</i>	30
4.2.7. <i>Određivanje raspodele veličina čestica</i>	31
4.2.8. <i>Merenje viskoziteta razblaženih disperznih sistema</i>	32
4.2.9. <i>Merenje viskoziteta koncentrovanih disperznih sistema</i>	32
4.2.10. <i>Merenje visoelastičnih svojstava</i>	33
4.2.10.1. <i>Dinamička oscilatorna merenja</i>	33
4.2.10.2. <i>Krive puzanja</i>	33
4.2.11. <i>Određivanje teksturalnih karakteristika</i>	34
4.2.11.1. <i>Određivanje teksturalnih karakteristika zamenjivača masti</i>	34
4.2.11.2. <i>Određivanje teksturalnih karakteristika namaza</i>	35
4.2.12. <i>Instrumentalno određivanje boje</i>	36
4.2.13. <i>Senzorska analiza namaza</i>	38
4.2.14. <i>Statistička analiza</i>	40
4.2.15. <i>Energetska vrednost namaza</i>	40
Poglavlje 5	
Rezultati i diskusija	42
5.1. <i>Karakteristike brašna od semena tikve golice</i>	42
5.1.1. <i>Granulometrijski sastav brašna</i>	42
5.1.2. <i>Hemijski sastav brašna</i>	42
5.1.3. <i>Sadržaj minerala i teških metala u brašnu</i>	43
5.1.4. <i>Sastav masnih kiselina</i>	43
5.1.5. <i>Oksidativna stabilnost brašna, kapacitet apsorpcije vode i indeks rastvorljivosti brašna</i>	44
5.1.6. <i>Boja brašna</i>	45

5.1.7. Mikrobiološke karakteristike sirovina	45
5.1.8. Mikrostrukturalne karakteristike sirovina	46
5.2. Karakteristike kontinualne faze-zamenjivača masti	47
5.2.1. Raspodela veličina čestica zamenjivača masti	47
5.2.2. Reološke karakteristike zamenjivača masti	49
5.2.2.1. Viskozitet razblaženih disperznih sistema	49
5.2.2.2. Viskozitet koncentrovanih disperznih sistema	52
5.2.2.3. Viskoelastične karakteristike zamenjivača masti	56
5.2.3. Teksturalne karakteristike zamenjivača masti	62
5.3. Uticaj konzervanasa na reološke i teksturalne osobine zamenjivača masti	64
5.4. Karakteristike namaza od brašna semena tikve golice	70
5.4.1. Reološke osobine namaza	70
5.4.1.1. Krive proticanja namaza	70
5.4.1.2. Viskoelastična svojstva namaza	74
5.4.2. Teksturalne karakteristike namaza	79
5.4.3. Boja namaza	87
5.4.4. Senzorska ocena namaza	98
5.5. Karakteristike optimalnog namaza	113
5.5.1. Raspodela veličina čestica i mikrostrukturalne karakteristike optimalnog namaza	115
5.5.2. Održivost optimalnog namaza	117
5.5.3. Energetska vrednost optimalnog namaza	119
<i>Poglavlje 6</i>	
Zaključci	121
<i>Poglavlje 7</i>	
Literatura	123

Poglavlje 1

Uvod

Pogača od semena uljane tikve golice je sporedni proizvod u procesu mehaničkog izdvajanja ulja iz semena tikve pomoću pužnih presa. Postupak ceđenja ulja se ostvaruje na temperaturi do 50°C i pri tome nastaje značajna količina pogače. Pogača semena uljane tikve golice je hemijski, nutritivno i energetski bogata, jer sadrži koncentrisane proteine (60–65%), masne kiseline, minerale, tokoferole, fitosterole i fenole. Takođe, predstavlja vrlo jeftinu sirovinu.

Dosadašnja eksploatacija pogače od semena tikve golice je vrlo mala, obično samo u proizvodnji stočne hrane. Objavljene su neke od mogućnosti primene pogače u proizvodnji biodegradabilnih kompozitnih filmova, zatim u postupku enzimatske izolacije proteina, kao nove vrste jeftinih biosorbenata ili kao suplement brašna u pojedinim pekarskim proizvodima. Mlevanjem pogače dobija se takozvano brašno od semena tikve golice koje zadržava nutritivna i hemijska svojstva pogače, a ima veliki potencijal primene u prehrambenim proizvodima, pogotovu u proizvodima koji su u skladu sa principima proizvodnje funkcionalne hrane.

Na tržištu je zapažena značajna primena proizvoda tipa namaza poreklom od uljarica, kao što su kikiriki, suncokret, lešnik, badem i soja. Brašna od pogača semena uljarica predstavljaju alternativu u proizvodnji nutritivno visoko vrednih namaza, posmatrano sa ekonomskog i zdravstvenog aspekta. Trend razvoja funkcionalnih prehrambenih proizvoda usmeren ka niskoenergetskim proizvodima nameće ideju o razvoju namaza na bazi brašna od semena tikve golice. Time se podrazumeva i primena adekvatne niskoenergetske faze u ulozi nosača praškaste komponente, odnosno brašna. Odabir odgovarajuće kontinualne faze u proizvodnji namaza je od izuzetnog značaja, jer direktno utiče na reološka svojstva i svojstva mazivosti odgovornih za ponašanje tokom procesa proizvodnje i mogućnost primene proizvoda.

Poglavlje 2

Cilj rada

Osnovni cilj ovog istraživanja je utvrđivanje mogućnosti proizvodnje funkcionalnog niskoenergetskog prehrambenog namaza na bazi brašna od semena tikve golice i hidrokoloida ugljenohidratnog porekla.

Utvrđivanju ove mogućnosti prethodilo je potpuno karakterisanje i definisanje sastavnih komponenti namaza. Brašno od semena tikve golice analizirano je radi određivanja njegovih fizičko-hemijskih karakteristika, funkcionalnih svojstava, mikrobiološke ispravnosti i mikrostrukturalne prirode. Fizičko-hemijske analize brašna obuhvatile su analize granulometrijskog sastava, hemijskog sastava, sastava masnih kiselina i analizu sadržaja minerala i teških metala. Funkcionalna svojstva ispitana su metodama određivanja oksidativne stabilnosti, kapaciteta apsorpcije vode i indeksa rastvorljivosti brašna. Navedenim analizama brašna stečen je uvid u fizičke, nutritivne i mikrobiološke karakteristike i u svojstva ponašanja, s ciljem utvrđivanja mogućnosti primene brašna od semena tikve u daljem radu.

Prehrambeni hidrokoloide na bazi vlakana, kao potencijalne sastavne komponente namaza, takođe su analizirane sa tehnološkog i funkcionalnog aspekta. Ispitane su dve vrste hidrokoloida ugljenohidratnog porekla metodom mikrostrukturalne analize, metodom određivanja raspodele veličina čestica, reološkim određivanjima i teksturalnim karakterisanjem sistema. Cilj ovog ispitivanja je definisanje vrste i koncentracije vlakana u gel strukturi hidrokoloida, koja ima sposobnost da ostvari ulogu nosača brašna, odnosno kontinualne faze u namazu. Time je predviđeno i ponašanje ugljenohidratnih hidrokoloida u prehrambenom sistemu tipa namaza.

Nakon definisanja sastavnih komponenti, radi utvrđivanja optimalnih svojstava namaza, analizirani su namazi sa različitom vrstom i koncentracijom vlakana u gel sistemu i različitim udelom primenjenog hidrokoloida u sastavu namaza. Instrumentalnim metodama analize ispitana su tehnološka svojstva namaza (reološka i teksturalna), kao i boja namaza. Cilj reoloških i teksturalnih analiza bio je definisanje viskoelastične prirode namaza i njegovog ponašanja tokom proizvodnje i manipulacije.

Senzorskom analizom namaza definisane su senzorske karakteristike koje se odnose na izgled namaza, teksturu namaza i tipičnost ukusa i mirisa.

Pri ispitivanju značajnosti uticaja promenljivih faktora na svojstva dobijenih namaza korišćena je metoda planiranja eksperimenta (DOE–design of experiment) u okviru koje je primenjen potpuni faktorijalni dizajn. Takođe, međusobna linearna zavisnost između pojedinih promenljivih određena je metodom korelacije sa ciljem utvrđivanja povezanosti parametara senzorske analize sa instrumentalno određenim karakteristikama.

Cilj objedinjenja svih analiza je definisanje sastava namaza optimalnih svojstava i formulacija niskoenergetskog prehrambenog namaza na bazi brašna od semena tikve

golic. To podrazumeva usklađene reološke i teksturalne osobine namaza, koje određuju njegovo ponašanje tokom proizvodnje i manipulacije, sa senzorskim karakteristikama namaza, koje definišu njegovu prihvatljivost.

Poglavlje 3

Pregled literature

3.1. Uljana tikva golica

Uljana tikva (*Cucurbita pepo* L.) pripada porodici dikotiledonih skrivenosemenica *Cucurbitaceae* u okviru roda *Cucurbita*, koji takođe obuhvata vrste *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* i *Cucurbita mixta* (Xanthopoulou i sar., 2009; Fruhwirth i Hermetter, 2007; Decker, 1988). *Cucurbita pepo* L. potiče iz Amerike, a zahvaljujući putovanjima Kolumba preneti je u Evropu. Na naša područja dospela je iz Male Azije preko Grčke. Uljana tikva je forma obične tikve, koja se gaji radi dobijanja semena koje je bogato uljem (slika 1).



Slika 1. Uljana tikva golica

Uzgajanje uljane tikve, u čistom usevu radi semena, u Srbiji je počelo od 1980. godine. Poslednjih nekoliko godina, proizvodnja uljane tikve na području Vojvodine je u ekspanziji i najveća je proizvodnja u okolini Sombora, Horgoša i Novog Sada. Obična tikva se može višestruko iskoristiti. Mesnati deo ploda se primenjuje u proizvodnji voćnih sokova, kolača i drugih prehrambenih proizvoda ili kao stočna hrana. Osnovna namena semena je za dobijanje visokokvalitetnog tikvinog ulja, ali se koristi i kao konzumno seme. Jezgro semena uljane tikve obavijeno je ljuskom, s tim da u zavisnosti od strukture i udela celuloze u ljusci postoje dve vrste semena, seme sa ljuskom i seme bez ljuske (slika 2). Uljana tikva golica specifična je po semenu bez čvrste semenjače. Oplemenjene sorte uljane tikve, koje se uzgajaju na našim područjima, su uljana tikva sa ljuskom „Olivija” i uljana tikva golica „Olinka” (Sabadoš i sar., 2003; Sabadoš i sar., 2004; Berenji, 2010).



Slika 2. Seme uljane tikve sa ljuskom i bez ljuske

Dominantna komponenta semena uljane tikve golice je ulje. Sadržaj ulja je genetski uslovljen i iznosi od 50–60%, a kod semena bez ljuske može biti i veći (Kreft i sar., 2002; Andjelković i sar., 2010). Pored ulja seme uljane tikve golice sadrži proteine (30–40%), celulozna biljna vlakna, mineralne materije i vitamine. U tabeli 1 prikazan je osnovni hemijski sastav semena uljane tikve.

Tabela 1. Osnovni hemijski sastav semena uljane tikve

Komponenta semena	Seme sa ljuskom	Seme tikve golice	Oplemenjene sorte	
			„Olivija”	„Olinka”
Udeo ljuske [%]	15–39	–	24	–
Sadržaj ulja u semenu [% na SM]	33–40	42–51	35,3	42,6
Sadržaj ulja u jezgru [% na SM]	–	–	47,7	–
Sadržaj proteina u semenu [%]	26–30	30–33	37,2*	46,33

* računato na suhu materiju

Izdvajanje ulja iz semena uljane tikve golice ostvaruje se isključivo mehaničkim postupakom hladnog ceđenja, odnosno presovanja na hidrauličnim ili pužnim presama, bez upotrebe hemikalija (organskih rastvarača) i bez procesa rafinacije (slika 3).



Slika 3. Pužna presa za ulje

Teoretski posmatrano od 1000 kg/ha suvog zrna tikve golice može se dobiti oko 500 kg/ha ulja. Prinos ulja uljane tikve u poređenju sa prinosom ulja drugih uljarica, na primer tradicionalnom uljaricom suncokretom je znatno manji. U malim pogonima za dobijanje tikvinog ulja postižu se manja iskorišćenja, obično se od 100 kg zrna dobije oko 37 do 45 litara ulja, tako da se sa površine od 1 hektara može očekivati oko 370–450 litara ulja. Međutim, manji prinos ulja uljane tikve je adekvatno kompenzovan znatno višom cenom tikvinog ulja u poređenju sa ostalim nerafinisanim jestivim uljima. Seme uljane tikve golice je pogodnije za ceđenje ulja od sorti sa ljuskom, jer daje veći prinos ulja, a ovo ulje obično ima i viši sadržaj aktivnih materija. Ulje iz semena uljane tikve odlikuje se karakterističnim mirisom i ukusom, visokom biološkom i nutritivnom vrednošću, posebnim farmakološkim svojstvima i izuzetno dobrom održivošću. U sastavu ulja prevladavaju esencijalna linolna kiselina (34,3–65,2%) i oleinska kiselina (20,4–55,0%) i obezbeđuju pozitivan efekat ulja na smanjenje sadržaja holesterola u krvi. Ulje semena tikve sadrži i druge važne komponente, kao što su tokoferoli, fitosteroli, beta karoten. Sastav tokoferola u ulju je prilično stalan, pri čemu je najzastupljeniji gama tokoferol u količini od oko 90%. Gama i delta tokoferoli jačaju vezivna tkiva i mišiće, a alfa tokoferol je snažan biološki antioksidans. Fitosteroli, pre svega delta-7-steroli u slobodnom obliku ili kao glukozidi, deluju antiinflamatorno i diuretski. Takođe, pomažu pri regulaciji tegoba prouzrokovanih benignom hiperplazijom. Beta karoten ispoljava antioksidativna svojstva. Ulje semena tikve se može koristiti kao salatno ulje, ulje za kuvanje ili za proizvodnju margarina (Berenji, 2010; Dimić, 2005).

3.1.1. Brašno od semena uljane tikve golice

Nakon postupka hladnog ceđenja ulja iz semena uljane tikve golice zaostaje znatna količina pogače kao nusproizvoda. Mlevenjem pogače dobija se brašno velike nutritivne i biološke vrednosti, jer ga čine koncentrisani proteini, mineralne materije, vitamini i celuloza.

Pogača semena uljane tikve golice je bogata proteinima (60–65%) i brojnim esencijalnim aminokiselinama (Kreft i sar., 2002). Osnovni rezervni proteini su globulini, zajedno sa glutelinima i manjim udelom albumina i prolamina. Rezervni protein, koga čine 2S albumini i 11S globulini, poznat je kao kukurbitin i smešten je u proteinskim telima (Čorbo i sar., 2007; El-Adawy i Taha, 2001; Peričin i sar., 2008). Proteini pogače su specifični po izraženim farmakološkim aktivnostima, kao što su antifungalna, antibakterijska, antioksidativna i antiinflamatorna (Peričin i sar., 2008; Nkosi i sar., 2006). Zastupljene aminokiseline u sastavu pogače, odnosno brašna semena uljane tikve golice su arginin (63,99 mg/kg), glutamin (60,26 mg/kg), asparaginska kiselina (29,95 mg/kg), leucin (24,14 mg/kg), serin, glicin, alanin, fenilalanin, valin (~15 mg/kg), lizin, izoleucin, (~13 mg/kg), metionin, treonin, tirozin (~5 mg/kg) (Kim i sar., 2012). Sadržaj aminokiselina u tikvinom brašnu nadmašuje sojino brašno u svemu osim u lizinu i takođe ispunjava zahteve Svetske Zdravstvene Organizacije u pogledu predložene

dnevne količine i kvaliteta proteina za ljudsku ishranu (*Radočaj, 2011*). Pored proteina specifične komponente brašna su vlakna, minerali (P, K, Mg, Mn i Ca), γ -tokoferol i α -tokoferol, karotenoidi, fitosteroli i fenoli (*Parry i sar., 2008; El-Adawy i sar., 2001; Peričin i sar., 2008; Kim i sar., 2012*). Profil masnih kiselina ovog brašna čini relativno visok sadržaj mononezasićenih masnih kiselina C18:1 (53,1 g/100 g ukupnih masnih kiselina), 44,5 g zasićenih masnih kiselina (C12:0, C14:0, C16:0 i C18:0) i nizak sadržaj polinezasićenih masnih kiselina (*Parry i sar., 2008*).

Sudeći po sastavu, brašno semena tikve golice ima višestruki značaj sa zdravstvenog aspekta posmatranja. Utiče na prevenciju rasta i smanjenje veličine prostate, utiče na smanjenje hipertenzije, snižava sadržaj holesterola u krvi i smanjuje simptome artritisa. Utiče na smanjenje mokraćnog pritiska i usklađuje rad bešike, utiče na hipoglikemijsku aktivnost i smanjuje simptome dijabetesa. Povoljno utiče na prevenciju i sprečava rast tumora želuca, dojke, pluća i creva (*Jafari i sar., 2012; Stevenson i sar., 2007; Xanthopoulou i sar., 2009*).

3.1.2. Mogućnosti iskorišćenja brašna od semena tikve golice

Brašno semena uljane tikve golice, za razliku od pogača većine uljarica, ne sadrži antinutritivne sastojke kao što su hlorogenska kiselina iz suncokretovog semena ili tanini i fitinska kiselina iz uljane repice, te ima izraženi potencijal da se iskoristi kao polazna sirovina za proizvodnju obogaćene hrane i funkcionalnih prehrambenih proizvoda (*Radočaj, 2011*). Takođe, iskorišćenje ovog nusproizvoda ceđenja ulja u skladu je sa savremenim konceptom održivog razvoja i zaštite životne sredine, koji podrazumeva maksimalno iskorišćenje resursa (praktično bez otpada).

Zbog visokog sadržaja komponentata bogatih energijom, pogača od semena uljane tikve golice najviše se koristi u proizvodnji stočne hrane. Proteini pogače su po sastavu slični proteinima suncokreta i pošto je njihov sadržaj visok za stočnu hranu, obično se preporučuje mešanje sa suncokretovom sačmom radi podešavanja sadržaja proteina na oko 30 % (*Berenji, 2010; Dimić, 2005*).

Poznate su i mogućnosti primene pogače uljane tikve golice u proizvodnji biodegradabilnih kompozitnih filmova sa poboljšanim karakteristikama u odnosu na čiste želatinske filmove proizvedene pod istim uslovima. Primenom ovog agroindustrijskog otpada u proizvodnji želatinskih filmova smanjuje se cena proizvodnje redukcijom sadržaja želatina, i ostvaruje proizvodnja bioaktivnog ambalažnog materijala bez sintetičkih komponenti (*Popović i sar., 2010*). Filmovi na bazi pogače uljane tikve su jaki i elastični, sa dobrim barijernim svojstvima i upućuju na nove mogućnosti primene pogače (*Popović i sar., 2011*). Proteinski izolati iz pogače uljane tikve su takođe primenjivi u proizvodnji ambalažnog materijala i dodatno poboljšavaju njihova barijerna svojstva (*Popović i sar., 2012*). Ureaza izolovana iz pogače uljane tikve je prema osobinama potpuno uporediva sa ureazom iz skupih izvora i može se primeniti u detekciji jona bakra i žive u vodi, industrijskim efluentima i zemljištu (*Talat, 2009; Prakasha i sar., 2009*). Time se pogača uljane tikve ubraja u nove materijale za uklanjanje hidrofobnih organskih polutanata iz vode (*Bouchera i sar., 2007*).

Proteini pogače predstavljaju i značajan izvor biološki aktivnih proteinskih hidrolizata sa antiradikalnom aktivnošću, koji se mogu primeniti kao nutritivni suplementi ili funkcionalne komponente (*Vaštag i sar., 2010*). Takođe, sadržaj fenolne kiseline poznate po farmakološkim aktivnostima, je u pogači mnogo veći nego u semenu i lako se može ekstrahovati jer je u slobodnom obliku (*Peričin i sar., 2009*). Potrebe mesne industrije za kvalitetnim, nativnim belančevinama, a naročito za onima koje ne daju alergenske reakcije, kao neke druge biljne belančevine, podstakle su na ispitivanje mogućnosti primene brašna od semena tikve golice u mesnim prerađevinama. Proteini brašna mogu ostvariti ulogu emulgatora u kuvanim kobasicama ili paštetama, a mogu i obogatiti proizvode tipa barenih kobasica i viršli povećanjem sadržaja proteina. Uticaj primene brašna uljane tikve golice na ukus i miris mesnih prerađevina u negativnom smislu nije zapažen. Međutim, barijera upotrebe ovog brašna je njegova karakteristična boja (zeleno), koja ograničava količinu primenjenog brašna, jer u većim količinama izaziva neželjenu promenu boje finalnog proizvoda. Ova barijera bi se mogla ukloniti koncentrovanjem belančevina iz brašna (*Vasić i Markuš, 2008*). Obezmaščeno brašno predstavlja kvalitetan suplement, koji se može primeniti u smešama sa pšeničnim brašnom u pekarskim ili brašneno-konditorskim proizvodima. Dodatak brašna od semena tikve u količini 5–10 % povećava sadržaj proteina i minerala (Ca, Na, K i P) u odnosu na hleb od pšeničnog brašna (*Giami, 2003*). Istraživanjima El-Soukkary (*2001*) potvrđena je mogućnost nutritivnog obogaćenja hleba primenom brašna od semena tikve, pogotovo obogaćenja aminokiselinama uz poboljšanje svarljivosti proteina. Vredan nutritivni sastav i velika održivost brašna od semena tikve golice otvaraju mnoge druge mogućnosti primene brašna u prehrambenim proizvodima, pogotovu u proizvodima koji su u skladu sa principima proizvodnje funkcionalne hrane.

3.2. Zamenjivači masti

3.2.1. Zamenjivači masti u funkcionalnim prehrambenim proizvodima

Funkcionalna hrana, pored uobičajene nutritivne funkcije, ima povoljan uticaj na zdravlje čoveka. Ona sadrži biološki aktivna jedinjenja koja pozitivno utiču na određene funkcije u organizmu. Povoljan efekat na zdravlje se ispoljava kontinuiranim korišćenjem uobičajene količine takve hrane. Funkcionalna hrana ima optimalan uticaj na digestivni sistem, na imunitet, krvne sudove, obično ima veliki antioksidativni potencijal koji je važan u borbi sa slobodnim radikalima koji se svakodnevno stvaraju u organizmu. Funkcionalna hrana sadrži jednu ili više biološki aktivnih komponenti. To može biti makronutrijent (npr. omega-3-masne kiseline), mikronutrijent (vitamin ili mineral), fitohemikalija (izoflavoni, fitoestrogeni) ili živi organizmi (probiotici). Biološki aktivna jedinjenja deluju na mestu oslobađanja, kao na primer prehrambena vlakna i probiotici u digestivnom traktu ili imaju dejstvo na određenu biohemijsku funkciju u organizmu i tako poboljšavaju funkcionisanje određenog organa, sistema organa ili organizma u celini. Funkcionalna svojstva prehrambenih proizvoda, pored obogaćenja nekom od funkcionalnih komponenti, mogu se ostvariti i smanjenjem sadržaja pojedinih

komponenti kao što su šećer, so, masti, odnosno smanjenjem energetske sadržaja proizvoda. Time se redukuje unos komponenata koje se dovode u vezu sa povećanim rizikom od nastanka kardiovaskularnih bolesti, povećanjem nivoa LDL holesterola u krvi, pojavom dijabetesa i savremenog problema gojaznosti (Jones i Jew 2007; Palzer, 2009; Mermel, 2004). Stoga, razvoj funkcionalnih prehrambenih proizvoda usmeren je ka različitim niskoenergetskim proizvodima, a pogotovu ka proizvodima smanjenog sadržaja masti, koja inače predstavlja najkoncentrovaniji izvor energije.

Na osnovu svih prethodno navedenih karakteristika, mogućnosti i potreba za funkcionalnim prehrambenim proizvodima nameće se ideja o primeni brašna od semena tikve goliće u proizvodnji funkcionalnog prehrambenog proizvoda tipa namaza. Težnjom ka niskoj energetske vrednosti namaza mogu se postići dodatna funkcionalna svojstva ovog proizvoda. Takođe, značajna primena proizvoda tipa namaza poreklom od uljarica, kao što su kikiriki, suncokret, lešnik, badem i soja potvrđuje potrebu za ovim novim proizvodom sa aspekta tržišta (Radočaj, 2011). Nekoliko vrsta niskoenergetskih proizvoda tipa namaza prisutno je na današnjem tržištu, kao što je na primer puter od kikirikija. Maksimalna redukcija sadržaja masti u ovim proizvodima je svega 30 % (Singh i sar., 2000).

Smanjenje sadržaja masti i energetske vrednosti namaza podrazumeva primenu zamenjivača masti. „Idealan” zamenjivač masti trebalo bi da ima sve funkcionalne karakteristike lipida, a da pritom ima znatno manju energetske vrednost, po mogućstvu 0 kcal/g. Funkcionalne osobine masti koje bi zamenjivač masti trebalo da simulira obuhvataju senzorske osobine (miris i ukus), reološke osobine (viskozitet, konzistencija, tekstura), da ima emulgujuća svojstva, da se u njemu mogu rastvarati liposolubilne arome i vitamini, da je termostabilan i sl. (Akoh, 1998, Cho i Prosky, 1999; Ognjen i sar., 2006).

3.3.2. Klasifikacija zamenjivača masti

Hemijska građa zamenjivača masti može biti slična lipidima, proteinima ili ugljenim hidratima i u tom smislu oni su podeljeni u dve grupe:

- substituenti masti (*fat substitutes*)
- simulatori masti (*fat mimetics*)

Substituenti masti su makromolekuli koji po fizičkim i hemijskim karakteristikama liče na trigliceride (masti i ulja) i koji teorijski posmatrano mogu zameniti masti u hrani po principu jedan-na-jedan (*gram-for-gram basis*). Često se označavaju kao „zamenjivači masti na bazi lipida”. Mogu se dobiti hemijskom sintezom ili pak enzimskom modifikacijom masti i ulja. Uglavnom su stabilni na temperaturama kuvanja i pečenja.

Simulatori masti su jedinjenja koja imitiraju senzorske i fizičke osobine masti, ali ih ne mogu zameniti po principu jedan-na-jedan. Simulatori masti, koji se u literaturi često označavaju kao „zamenjivači masti na bazi proteina ili ugljenih hidrata, su uobičajeni sastojci hrane (npr. skrob ili celuloza) koji su prethodno hemijski ili fizički modifikovani kako bi imitirali ulogu masti. Karakteriše ih velika moć upijanja vode. Nije pogodna njihova primena u proizvodima koji se izlažu temperaturama pečenja ili

kuvanja, jer na povišenim temperaturama dolazi do njihove denaturacije, odnosno karamelizacije. Ipak postoje posebne modifikacije ovih jedinjenja koje ih čine termostabilnim. Energetska vrednost ovih zamenjivača masti varira od 0 do 4 kcal/g (Ogden i sar., 2006).

3.2.3. Zamenjivači masti ugljenohidratne prirode

Ova grupa zamenjivača masti obuhvata nativni skrob, modifikovani skrob, maltodekstrine, polidekstroze, gume, pektine, prehrambena vlakana. Osnovni izvor ovih simulatora masti su biljke, žitarice i njihovo seme. Svarljivi ugljeni hidrati kao što su skrob i dekstrini obezbeđuju 4 kcal/g. Zbog toga što imaju veliki kapacitet vezivanja vode sposobni su da imitiraju neke funkcionalne i teksturalne karakteristike masti. Trenutno nema idealnog zamenjivača masti koji individualno može da zameni sve senzorske i funkcionalne karakteristike masti. Zbog toga se najčešće primenjuje kombinacija zamenjivača masti u cilju postizanja željenog kvaliteta proizvoda. Oblasti primene i funkcionalna svojstva zamenjivača masti ugljenohidratne prirode sumirani su u tabeli 2 (Cho i Prosky, 1999).

Tabela 2. *Mogućnosti primene zamenjivača masti ugljenohidratne prirode*

Specifična primena	Zamenjivači masti ugljenohidratne prirode	Funkcionalne osobine
Pekarski proizvodi	Vlakna, gume, inulin, maltodekstrini, polidekstroze, skrob	Zadržavaju vlažnost, sprečavaju starenje
Konditorski proizvodi	Celuloza, gume, inulin, maltodekstrini, oatrim-5, polidekstroze, skrob	Daju odgovarajući osećaj u ustima, poboljšavaju teksturu
Mlečni proizvodi	Celuloza, gume, inulin, maltodekstrini, oatrim-5, polidekstroze, skrob	Povećavaju viskozitet, zgušnjivači, sprečavaju želiranje, stabilizatori
Smrznuti proizvodi	Celuloza, gume, inulin, maltodekstrini, oatrim-5, polidekstroze, skrob	Povećavaju viskozitet, zgušnjivači, poboljšavaju teksturu
Mesni proizvodi	Gume, oatrim-5, inulin, maltodekstrini, , skrob	Povećavaju kapacitet vezivanja vode, poboljšavaju teksturu i daju odgovarajući osećaj u ustima
Supe, sosevi, umaci	Celuloza, gume, inulin, maltodekstrini, oatrim-5, skrob	Daju odgovarajući osećaj u ustima, poboljšavaju teksturu, zgušnjivači
Snek proizvodi	Vlakna, celuloza, gume, maltodekstrini, skrob	Poboljšavaju teksturu, doprinose formulaciji proizvoda
Salatni prelive	Gume, skrob, celuloza, maltodekstrini	Povećavaju viskozitet, daju odgovarajući osećaj u ustima, poboljšavaju teksturu

3.2.4. Zamenjivači masti na bazi vlakana

Prehrambena vlakna su konstituenti hrane koji se ne mogu apsorbovati ili razgraditi dejstvom enzima u želucu i tankom crevu, ali se delimično ili potpuno fermentiraju u debelom crevu. Tehnološke karakteristike prehrambenih vlakana koje određuju mogućnosti njihove primene su:

- **Kapacitet zadržavanja vode** (WHC–water holding capacity) jedna je od najvažnijih osobina vlakana. Rastvorljiva vlakna, kao što su pektini i gume, imaju veću moć vezivanja vode od celuloznih vlakana. Ova osobina povezana je sa dužinom i gustom vlakana. Takođe, pH sredine utiče na kapacitet zadržavanja vode.
- **Kapacitet vezivanja masti**–ova osobina više zavisi od poroznosti vlakana nego od molekularnog afiniteta. Radi redukcije ove sposobnosti vlakana često se vlakna prethodno tretiraju vodom kako bi voda ispunila pore u strukturi vlakana.
- **Viskozitet**–vlakna kao što su pektini, gume, β -glukani formiraju rastvore velikih viskoziteta i obično se primenjuju kao zgušnjivači. Viskozitet nerastvorljivih i nekih rastvorljivih vlakana, kao što je inulin je minimalan.
- **Sposobnost formiranja gela**–najvažnije svojstvo u primeni vlakana kao zamenjivača masti je sposobnost formiranja gela. Gel strukture nastaju umrežavanjem polimernih jedinica i uklapanjem (zadržavanjem) vode ili drugih rastvarača u gelu. Mnoga rastvorljiva vlakna formiraju gel strukture. Sposobnost obrazovanja gela i njegove karakteristike zavise od brojnih faktora, kao što su koncentracija, temperatura, prisustvo određenih jona i pH sredine. Neka vlakna imaju i sinergističko delovanje prilikom formiranja gela i obično se koriste u konjukciji sa skrobom, ksantan gumom ili karagenom.
- **Helatni kapacitet**–podrazumeva sposobnost vlakana da razmenjuju katjone i vezuju minerale. Povoljan efekat ove sposobnosti je sprečavanje lipidnih oksidativnih reakcija.
- **Uticaj na teksturu proizvoda**–primenom prehrambenih vlakana kao zamenjivača masti dolazi do restrukturacije proizvoda. Umrežena struktura hidratiranih prehrambenih vlakana omogućava njihovu primenu kao zamenjivača masti, jer se time postiže oponašanje teksture i funkcionalnosti masti. Ovsena vlakna, na primer, ostvaruju ulogu masti u restrukturiranim mesnim proizvodima smanjenog sadržaja masti.
- Ostala tehnološka svojstva vlakana su da kontrolišu kristalizaciju šećera i modifikuju aromu. Važna osobina im je što sprečavaju deformaciju i skupljanje restrukturiranih proizvoda tokom kuvanja. Neki poseduju antioksidativna svojstva, deluju efikasno prilikom hlađenja i smrzavanja proizvoda koja brzo užegnu (*Borderias i sar., 2005*)

Prehrambena vlakna iz različitih izvora, soje, ovsa, šećerne repe, pšenice, graška, koštunjavog voća i drugih mogu se primeniti kao zamenjivači masti. Pored zadovoljavajućih tehnoloških svojstava zamenjivači na bazi vlakana imaju i pozitivnog efekta na zdravlje, kao što su β -glukani i inulin obično prisutni u sastavu vlakana, koji smanjuju nivo holesterola u krvi. Izbor odgovarajućeg zamenjivača masti na bazi vlakana i poznavanje osobina zamenjivača je izuzetno važno, jer isti zamenjivač masti može biti pogodan za jednu vrstu proizvoda, ali sa nepovoljnim uticajem na osobine nekog drugog proizvoda. Na primer, polidekstroze, celulozni derivati i gume poboljšavaju kvalitet sladoleda i ostalih smrznutih proizvoda, upravo zbog svoje

stabilnosti prilikom odmrzavanja/smrzavanja. Međutim, kod niskoenergetskog sira, prihvatljivost od strane potrošača je mala zbog neadekvatne teksture, konzistencije i ukusa. Međutim napredak po tom pitanju se postiže primenom mikrokristalne celuloze u kombinaciji sa gumama kao što je karagen. Pri primeni zamenjivača masti na bazi vlakana u krekerima, biskvitima i keksima dolazi do smanjenja stepena vlažnosti proizvoda usled izražene sposobnosti zadržavanja vode vlakana. Kod pekarskih proizvoda usled primene zamenjivača masti na bazi vlakana može doći do smanjenja sadržaja vlage, slabe viskoznosti i aeracije, slabog prenosa toplote, nedovoljno razvijene arome, male trajnosti proizvoda. Ovi negativni uticaji mogu se redukovati primenom polidekstroza, maltodekstrina iz krompira, celuloznih guma (MC i HPMC). Najčešći problemi vezani za upotrebu zamenjivača masti na bazi vlakana javljaju se kod konditorskih proizvoda, tj. kod čokoladnih proizvoda gde sastav zahteva prisustvo kakao putera ili ekvivalenta kakao puteru, pa je razvoj niskoenergetske čokolade sa tog aspekta problematičan.

3.2.5. Komercijalni zamenjivači masti na bazi vlakana

Oatrim-5

Oatrim-5 je zamenjivač masti na bazi ovasa. Dobija se konverzijom skroba iz ovsenog brašna ili mekinja u maltodekstrine pod dejstvom enzima α -amilaze. Oatrim-5 je jedini tip zamenjivača masti na bazi ugljenih hidrata koji sadrži jedinstvenu kombinaciju β -glukana i maltodekstrina niskog dekstroznog ekvivalenta. To mu daje mnoge dobre osobine, pošto drugi maltodekstrozni gelovi iz skroba kukuruza, tapioke ili krompira ne poseduju osobine slične mastima. Oatrim-5 sadrži 5 % β -glukana i dodaje se u proizvode kao suvi prah (4 kcal/g) ili kao hidratizani gel (1 kcal/g) sa trećinom vode. Daje osećaj u ustima koji odgovara trigliceridima. Termički je stabilan i može da izdrži visoke temperature za kratko vreme, ali nije pogodan za prženje. Dodaje se u mlečne, konditorske proizvode, smrznute proizvode, žitarice, peciva, punjenja, prelive, mesne proizvode. Oatrim-5 ima povoljan uticaj na zdravlje. Kao zamenjivač masti daje proizvode sa smanjenim sadržajem masti, zato što njegov 25 % disperzni gel ima samo 1 kcal /g u poređenju sa mastima koje imaju 9 kcal/g. Zbog toga što sadrži β -glukan kao rastvorljivo vlakno utiče na sniženje holesterola u krvi. Pokazalo se da kod 24 ispitanika sa povišenim nivoom holesterola u krvi koji su konzumirali Oatrim-5 nakon 10 nedelja došlo je do sniženja nivoa LDL holesterola za 10%. Takođe kod ispitanika se nivo glukoze u krvi smanjio za 7–12% što ukazuje na brojne prednosti primene ovog vlakna. Oatrim-5 je pogodan zamenjivač masne faze u niskeenergetskim salatnim prelivima. Porastom udela ovog zamenjivača masti u salatnom prelivu slabe karakteristike kao što su aroma, sočnost i viskozitet. Na osnovu ocene prihvatljivosti proizvoda salatni preliv sa 70% zamenom masne faze gelom Oatrima-5 ima zadovoljavajuće mnoge karakteristike, osim glatkoće i viskoznosti. Dodavanjem od 0,3–0,5% ksantan gume kao zgušnjivača može se postići željena tekstura niskoenergetskog salatnog preliva i sprečiti narušavanje emulzije. Dobijeni proizvod ima znatno snižen sadržaj masti i energetske

vrednost, a povećan sadržaj rastvorljivih vlakana. Usled značajnog smanjenja sadržaja masne faze ovaj proizvod se deklarira kao niskoenergetski „low-fat” proizvod, koji je vrlo stabilan i bezbedan u okviru roka trajanja od 3–6 meseci (*Vatanasuchart i Stonsavapak, 2000*).

Z-Trim

Z-Trim predstavlja nerastvorljivo vlakno dobijeno iz mekinja ovsa, soje, graška, pirinča, kukuruza ili pšenice. Mekinje su obrađene u sitne deliće, zatim prečišćene, osušene i samlevene u prah. Taj prah može da se hidrira u cilju formiranja gela. Z-Trim gel ima energetska vrednost od 0 cal/g, bez ukusa je, glatke teksture, poseduje veliki kapacitet zadržavanja vode i izraženu viskoznost. Takođe, obezbeđuje vlažnost, gustinu, glatkoću proizvodima kao što su sir, peciva i mesni proizvodi. Uprkos njegovoj temperaturnoj stabilnosti nije pogodan za obradu hrane prženjem (*Warner i Inglett, 1997*).

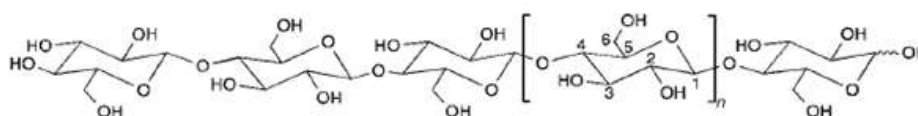
Vitacel

Vitacel predstavlja proizvod dobijen mikrofibrilacijom pšeničnih vlakana obogaćenih maltodekstrinima. Vitacel je mešavina pšeničnih vlakana (70%) i maltodekstrina (30%). Poseduje funkcionalne osobine koje ga čine dobrim zamenjivačem masti, kao što su viskoznost, kremasti osećaj u ustima, čvrstina. Može da se upotrebljava umesto hidrokoloida u određenim proizvodima. Koristi se kao sredstvo za zgušnjavanje, vezivanje, stabilizator emulzija, pena, tečnih podloga. Zbog svoje stabilnosti koju ispoljava prilikom smrzavanja/odmrzavanja dodaje se u smrznutu hranu (*Cho i Prosky, 1999*).

3.2.6. Zamenjivači masti na bazi celuloze

3.2.6.1. Celuloza i derivati celuloze

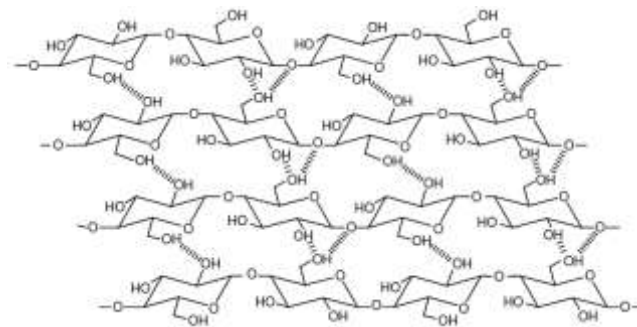
Celuloza je visokomolekularni linearni homopolisaharid sastavljen iz glukopiranoznih jedinica (300–15000) koje su povezane β (1→4) glukozidnim vezama (*Klemm i sar., 2005*). Glukozidna β (1→4) veza nastaje povezivanjem hidroksilnih grupa na C4 i C1 atomu glukoze uz izdvajanje vode, a dve ovako spojene glukoze čine disaharid *celobiozu*. Svaki drugi glukozni ostatak je rotiran za 180° (*Izydorczyk i sar., 2005*) (slika 4).



Slika 4. Molekulska struktura celuloze

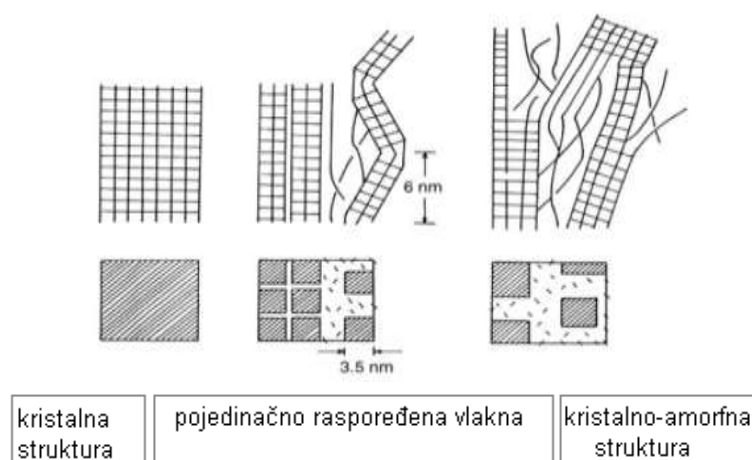
Dužina celuloznog lanca se izražava kao stepen polimerizacije (DP–degree of polymerization). Stepen polimerizacije varira u zavisnosti od vrste sirovine i postupka dobijanja celuloze. Kada se kao sirovina koristi pulpa iz drveta DP je 300–1700, a ukoliko se za dobijanje celuloze koristi pamuk DP se kreće u intervalu između 800 i 10000, u zavisnosti od postupka dobijanja (Klemm i sar., 2005).

Prostorno posmatrano, linearni polimerni lanci celuloze postavljaju se paralelno i povezuju tako da formiraju vlakna. Tercijarna struktura celuloze (slika 5) je stabilizovana intermolekularnim vodoničnim vezama i Van der Valsovim privlačnim silama i u obliku je trodimenzionalne fibrilarne kristalne tvorevine (Izydorczyk i sar., 2005).



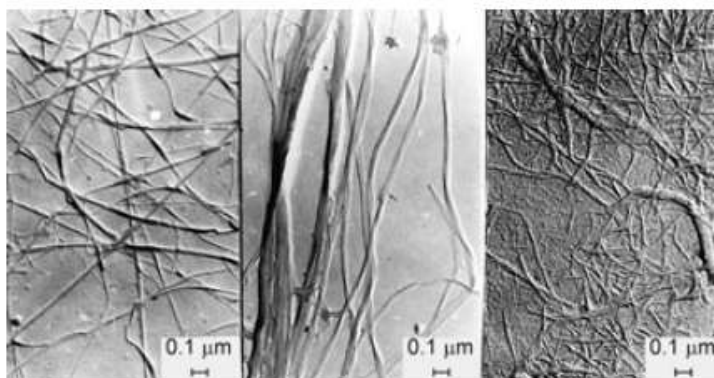
Slika 5. Tercijarna struktura celuloze

Svaka glukozna jedinica koja izgrađuje molekul celuloze sadrži po 3 hidroksilne grupe vezane za drugi, treći i šesti ugljenikov atom. Prisutne hidroksilne grupe odgovorne su za međumolekulsko povezivanje vlakana celuloze vodoničnim vezama, odnosno za formiranje nadmolekulske strukture celuloze. Kao posledica postojanja nadmolekulske strukture, građa celuloze predstavlja kombinaciju kristalnih i amornih oblasti. Kristalne regije predstavljaju strogo uređene strukture sa linearno postavljenim celuloznim lancima, dok su amorfne regije prilično neuređene i sa nepravilnom orijentacijom celuloznih lanaca (slika 6) (Klemm i sar., 2005).



Slika 6. Različiti modeli nadmolekulske strukture celuloznih vlakana

Celuloza, njene modifikacije i derivati spadaju u grupu prehrambenih vlakana, jer celulozne forme nisu svarljive u ljudskom organizmu, što znači da nemaju hranljivu i energetska vrednost (slika 7).

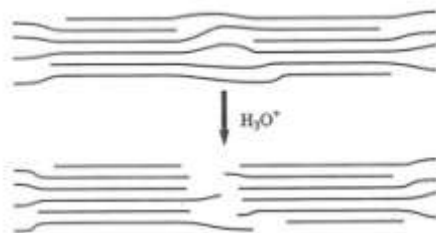


Slika 7. Mikroskopski snimak celuloznih vlakana poreklom iz različitih sirovina (levo-*Valonia spp.* (alga), centar-pamučna vlakna, desno-pulpa omorike)

Celuloza se ne rastvara u vodi zbog velikog broja intra- i intermolekulskih vodoničnih veza koje je u vodenom rastvoru održavaju u kristalnom obliku. Kako bi je prilagodili upotrebi u prehrambenoj industriji, celulozu je potrebno transformisati u rastvorljive oblike postupcima deriviranja, pri čemu dolazi do raskidanja vodoničnih veza. Svaka od tri OH-grupe glukoze jedinice dostupna je za reakciju, što znači da polimer ima maksimalno stepen supstitucije 3. Stepenn supstitucije određuje prosečan broj supstituisanih OH-grupa celulozne jedinice u okviru molekula celuloze. Kontrolisanjem stepena i tipa supstitucije, može se dobiti veliki broj celuloznih derivata različitih osobina, a u prehrambenoj industriji najveću primenu imaju karboksimetil celuloza (CMC), metil celuloza (MC), hidroksipropilmetil celuloza (HPMC) i hidroksipropil celuloza (HPC), jer su pokazali dobre osobine hidrokoloida i njihova primena je od velikog značaja za određene grupe proizvoda. Pored velikog broja celuloznih derivata, u prehrambenoj industriji koriste se i različite modifikacije celuloze, pre svega celuloza u prahu i mikrokristalna celuloza (MCC) (BeMiller, 2007).

3.2.6.2. Mikrokristalna celuloza

Mikrokristalna celuloza (MCC) dobija se hidrolizom α -celulozne pulpe, koja je praćena razdvajanjem mikrokristala celuloze. Tokom hidrolize α -celuloza se tretira kiselinom, pri čemu hidronijum (H_3O^+) joni lako prodiru u amorfne oblasti i hidrolitički raskidaju celulozne lance oslobađajući pojedinačne kristale. Oslobođeni kristali predstavljaju mikrokristalnu celulozu (slika 8).



Slika 8. Hidroliza amorfnih regija celuloznog vlakna i oslobađanje mikrokristala

Mikrokristalna celuloza je jedan od najčešće primenjenih zamenjivača masti u prehrambenim proizvodima zahvaljujući sposobnosti da simulira funkcionalna svojstva masti, kao što su odgovarajući osećaj u ustima, konzistencija, čvrstoća i struktura. Značajna je njena primena u konditorskim i pekarskim proizvodima, smrznutim desertima, salatnim prelivima, punjenjima, sirevima i namazima (BeMiller, 2007). Količina potrebne mikrokristalne celuloze zavisi od udela i vrste masti koja se zamenjuje, kao i od prirode proizvoda. Opseg primene je od 0,1 do 10%, a najčešće se koristi u količini od 0,4 do 3%. Može predstavljati i deo kompleksnog sistema koji zamenjuje mast i koji pored mikrokristalne celuloze sadrži i rastvorljive hidrokoloide, škrob, nosioce arome i antimikrobne komponente (Humphreys, 1996).

Postoje dva tipa mikrokristalne celuloze, MCC u prahu i koloidna MCC. MCC u prahu je proizvod koji se dobija sušenjem raspršivanjem, pri čemu nastaju agregati mikrokristala koji imaju poroznu, sunđerastu strukturu. Veličina čestica (agregata mikrokristala) varira između 20 i 90 μm (čestice prečnika 30 μm sadrže oko 600 miliona mikrokristala prosečne dužine lanca 0,1 μm). MCC u prahu je u vidu finog, belog, kristalnog, bezmirisnog praha, nerastvornog u vodi i većini organskih rastvarača. Predstavlja nefibrilni oblik celuloze (Dreher, 1999). MCC u prahu ima čestu primenu kao niskoenergetski zgušnjivač. Porozna struktura mikrokristala čini ih idealnim nosačima tečnih komponenti, na primer esencijalnih ulja. U tečnim proizvodima redukovano sadržaja masti MCC u prahu obezbeđuje odgovarajuću strukturu i neprozirnost, pri čemu ne maskira niti umanjuje aromu proizvoda (Humphreys, 1996). MCC u prahu predstavlja kvalitetnu zamenu za mast kod proizvoda smanjenog sadržaja vlage, na primer, emulzionih sistema u konditorskim proizvodima, kao što su biskvitna punjenja. Obično se koristi u kombinaciji sa šećernim sirupima i u količini do 15% (Gómez i sar., 2010).

Koloidna mikrokristalna celuloza se ne rastvara u vodi i ne gradi prave rastvore već molekulske disperzije i ima osobine slične hidrosolubilnim gumama. Potrebno je pri dobijanju koloidne MCC, nakon hidrolize, primeniti znatnu silu smicanja (mešanje, homogenizacija) radi što boljeg dispergovanja mikrokristala i dobijanja čestica koloidne veličine prečnika $<0,2 \mu\text{m}$. U toku dejstva sile smicanja čestice prolaze kroz fazu delimično hidratisanih agregata mikrokristala, preko potpuno hidratisanih agregata, zatim delimično dispergovanih mikrokristala do dobijanja koloidne suspenzije mikrokristala. Viskozitet suspenzije raste i tokom narednih 12–24 h, koliko je potrebno dispergovanim mikrokristalima da hidratišu i nabubre. U toku ovog perioda viskozitet suspenzije se može povećati i do 10 puta. Najčešće se za pripremu disperzija koriste različiti homogenizeri i mikseri kojima se dostiže velika sila smicanja, a kao rezultat

dobija se uniforman i homogen rastvor. U cilju sprečavanja reagregacije mogu se dodati takozvani zaštitni koloidi. Najčešće se dodaju ksantan, natrijum karboksimetil celuloza (Na-CMC) i hidrokspilmetil celuloza. Ukoliko se kao zaštitni koloid koristi Na-CMC (anjonska guma), ona će se vezati za površinu mikrokristala i dati česticama stabilizujuće negativno naelektrisanje, koje potiče od negativno naelektrisanih karboksilnih grupa i na taj način olakšati njihovu disperziju.

Natrujumova so karboksimetil etra celuloze, Na-CMC (celuloza-O-CH₂-COO⁻Na⁺), ima široku primenu u prehrambenoj industriji, a nastaje u reakciji alkalne celuloze sa natrijumovim solima sirćetne kiseline. Da bi CMC imala sposobnost rastvaranja, stepen supstitucije, DS, mora biti >0,4. Većina komercijalnih preparata Na-CMC koji se koriste u prehrambenoj industriji ima DS 0,7–0,8. Supstituisane grupe se, kako je već naglašeno, mogu naći vezane za 2., 3., i 6. kiseonikovom atom glukoze jedinice i to u odnosu 2,14:1,00:1,58. Pri tome stepen uniformnosti supstitucije duž celuloznog lanca određuje ponašanje rastvora, pa se razlikuju neuniformno derivatizovana CMC i uniformno derivatizovana.

Neuniformno derivatizovana CMC je najbolji primer prehrambene gume koja obrazuje rastvore sa tiksotropnom reologijom. Tiksotropni sistemi obrazuju slabe gele u stanju mirovanja, koji postepeno otečnjavaju kada se na njih primeni sila smicanja, a nakon prestanka dejstva sile postepeno se vraćaju u prvobitno stanje. Za razliku od pseudoplastičnih fluida, koje karakteriše trenutno otečnjavanje odnosno očvršćavanje koje zavisi samo od sile smicanja, ponašanje tiksotropnih fluida zavisi i od vremena. Naime, nesupstituisani delovi celuloznih lanaca međusobno se povezuju vodoničnim vezama u tzv. zone spajanja. Kada se deluje silom smicanja, delovi molekula povezani malim brojem vodoničnih veza lakše se oslobađaju i prelaze u rastvor od delova molekula koji se nalaze vezani u zoni spajanja. Nakon prestanka dejstva sile smicanja, relativno kratkim nesupstituisanim fragmentima je potrebno izvesno vreme kako bi se ponovo povezali. Upravo ovo „kašnjenje“ otečnjavanja i ponovnog očvršćavanja karakteristično je za tiksotropne sisteme.

Uniformnom derivatizacijom nastaju molekuli CMC koji nemaju duge nesupstituisane segmente molekula koji bi se mogli međusobno povezivati, pa takav tip CMC obrazuje glatke i stabilne suspenzije.

Celulozne gume generalno spadaju u GRAS supstance (*generally recognized as safe*), a kao prehrambenim aditivima dodeljena im je oznaka E466.

Komercijalna koloidna mikrokristalna celuloza obično predstavlja smešu MCC u prahu (celulozni gel) i Na-CMC (celulozna guma), gde celulozna guma čini 8,5–15 % od ukupne količine koloidne MCC. Adekvatno dispergovani celulozni kristali u koloidnom celuloznom gelu formiraju trodimenzionalnu umreženu strukturu, koja je stabilna u širokom opsegu pH i temperature i koja je odgovorna za postizanje optimalnih funkcionalnih svojstva koloidne MCC.

Viskozitet suspenzije koloidne mikrokristalne celuloze zavisi od različitih faktora, ali generalno se može reći da ona gradi tiksotropne gele. Reološke osobine i stabilnost sistema mogu se modifikovati dodatkom različitih zaštitnih koloida.

Različiti prehrambeni proizvodi mogu sadržati koloidnu MCC, kao što su niskoenergetski i proizvodi smanjenog sadržaja masti, testa, konzervisani proizvodi, napici, mlečni i konditorski proizvodi, salatni prelevi, sosevi i sl. Uobičajena je i primena kao stabilizatora pene, gde umrežavanjem stvara fizičku barijeru zadržavajući vazdušne mehuriće u suspenziji i zbijajući vodenu fazu između njih. Viskozitet šećernih rastvora se povećava i pri koncentracijama koloidne MCC manjim od 1 %. Značajna je njena primena kod smrznutih proizvoda jer kontroliše rast kristala i obezbeđuje stabilne sisteme sposobne za readsorpciju vode i redispersiju sastavnih komponenti tokom procesa topljenja (*Dreher, 1999*).

Koloidni mikrokristalni celulozni gel primenjen kao zamenjivač masti simulira sva neophodna funkcionalna svojstva masti i obezbeđuje karakteristike koje imaju punomasni proizvodi. Na primer, stabilnost i reološke karakteristike 65 % emulzije sojinog ulja su vrlo slične 20 % emulziji sojinog ulja sa dodatkom 1 % koloidnog gela MCC. Dovoljno hidratizane čestice koloidne MCC obrazuju meke, sferične agregate, fizički slične globularnim strukturama masti i simuliraju željena senzorska svojstva. Prema tome, pogodna je kao simulator masti u smrznutim dezertima, topljenim sirevima, mesnim prerađevinama redukovano sadržaja masti, kao i tečnim i polutečnim proizvodima, salatnim prelivima, mlečnim napicima i sl. Koloidna mikrokristalna celuloza se veoma često dodaje pri proizvodnji sladoleda sa smanjenom količinom masti, u koncentraciji od 0,2–0,4%. Osim što zamenjuje deo masti, koloidna MCC u ovim proizvodima takođe kontroliše i veličinu kristala, poboljšava stabilnost pene i redukuje brzinu topljenja. Najčešća je primena koloidne MCC u salatnim prelivima kao odgovarajućeg zamenjivača masti, jer potpuno ostvaruje teksturu i senzorska svojstva punomasnih preleva. Komercijalne smeše za tu svrhu su obično formulisane tako da odgovaraju senzorskom profilu majoneza sa 80% masti. Sir smanjenog sadržaja masti takođe sadrži koloidnu MCC, koja zamenjuje brojne funkcije masne faze. Pri tome, narušava elastičnu proteinsku strukturu, koja se formira u odsustvu masti i delujući kao lubrikant, poboljšava teksturalna i topiva svojstva sira niske energetske vrednosti (*DeMariscal i Bell, 1996*). Mikrokristalna celuloza se na proizvodima deklarise kao „mikrokristalna celuloza” ili „celulozni gel” (*BeMiller, 2007*).

3.35. Reologija prehrambenih proizvoda

3.3.1. Svojstva proticanja

Prehrambeni proizvodi su kompleksni sistemi i sa reološkog aspekta predstavljaju disperzne sisteme čvrstih i tečnih strukturnih komponenti. Reologija, sa ciljem definisanja prihvatljivosti prehrambenih proizvoda i njihovog ponašanja tokom procesa obrade, proučava proticanje pri prelasku iz čvrstog u tečno stanje i vezu između nastale deformacije i sile delovanja. Reološka svojstva prehrambenih proizvoda su izuzetno važna prilikom definisanja proizvodnog procesa i opreme, radi kontrole kvaliteta proizvoda, kao i u cilju sagledavanja strukture materijala (*Işikli i Karababa, 2005*). Reološko ponašanje presudno je za dobijanje uspešnog brenda, jer se tokom

proizvodnje prehrambenog proizvoda mogu javiti mnogi problemi sa reološkog stanovišta posmatranja. To uključuje inženjersku procesnu analizu, koja zahteva poznavanje reološkog ponašanja materijala tokom različitih manipulacija, mešanja, istiskivanja, pumpanja, premazivanja, promena temperature, kao i radi kontrole procesa, kontrole kvaliteta, procene trajnosti, evaluacije teksture i razvoja proizvoda (*Işikli i Karababa, 2005; Barnes, 2000*).

Jedan od osnovnih reoloških parametara koji karakteriše ponašanje prehrambenih proizvoda tokom proticanja je viskozitet i predstavlja meru unutrašnjeg otpora sistema tokom proticanja kada je sistem izložen sili smicanja. Proticanje se menja tokom različitih faza obrade prehrambenih proizvoda usled promene konzistencije strukturnih komponenti. Prehrambeni proizvodi tipa suspenzija ili emulzija su sistemi čije reološke osobine zavise od vremena i koje mogu imati tiksotropno ili reopektično ponašanje tokom proticanja. Tiksotropno proticanje podrazumeva opadanje jačine strukture tokom delovanja napona, ali i potpunu strukturnu regeneraciju pri opadanju vrednosti napona (*Tabilo–Munizaga i Barbosa–Canovas, 2005*). Pojavu tiksotropije pokazuju koloidni sistemi kod kojih se koloidne čestice povezuju slabim vezama, npr. vodoničnim, tako da se stvara trodimenzionalna rešetka u kojoj su uklopljeni molekuli rastvarača (gel–struktura). Ako se prati brzina smicanja u zavisnosti od najpre porasta napona, a zatim povratno od smanjenja napona smicanja, formira se tzv. tiksotropna petlja, koja karakteriše tiksotropno ponašanje sistema (*Đaković, 1990*).

Tiksotropno ponašanje tipično je za disperzne sisteme celuloznih guma, naročito disperzije celuloznih derivata sa niskim stepenom supstitucije ili neuniformno supstituisane derivate sa delovima lanaca koji se mogu međusobno povezivati vodoničnim vezama. Ove disperzne sisteme takođe karakteriše postojanje prinosnog napona, koji se ogleda u dovoljno velikoj sili potrebnoj za razrušavanje strukture ojačane intermolekularnim vodoničnim vezama i potrebnoj da bi sistem otpočeo proticanje. Postojanje prinosnog napona je značajno za predviđanje ponašanja materijala pri obradi, punjenju ili aplikaciji (*Cash i Caputo, 2010*).

Karakterizacijom reoloških svojstava prehrambenih proizvoda tipa namaza utvrđuje se veza između strukture namaza i proticanja (*Abu–Jdayil i sar., 2002*), kao i korelacija fizičkih parametara sa senzorskim svojstvima finalnog proizvoda (*Figoni i Sheomaker, 1983*). Na primer, reološkom analizom tahini namaza, dobijenog od semena susama, utvrđeno je tiksotropno ponašanje sistema pri porastu brzine smicanja, koje se smanjuje sa porastom temperature (*Abu–Jdayil i sar., 2002*). Tiksotropni tip proticanja zavisao od vremena delovanja sile smicanja karakterističan je i za tahini namaz sa smanjenim sadržajem masti (*Razavi i sar., 2008*). Takođe, za namaz od pistaća uočen je nenjutnovski pseudoplastični tip proticanja sa odgovarajućim udelom prinosnog napona (*Taghizadeh i Razavi, 2009*). Generalno, reološko određivanje svih ispitivanih vrsta namaza omogućilo je optimizaciju procesnih faza proizvodnje i predviđanje finalnog kvaliteta proizvoda (*Tabilo–Munizaga i Barbosa–Canovas, 2005*). Primenom zamenjivača masti u proizvodnji niskoenergetskih prehrambenih namaza svakako dolazi do promena reoloških svojstava proizvoda, upravo zbog specifične gel strukture zamenjivača masti. Gel predstavlja koloidni sistem čvrstog u tečnom, gde čvrsta faza formira umreženu

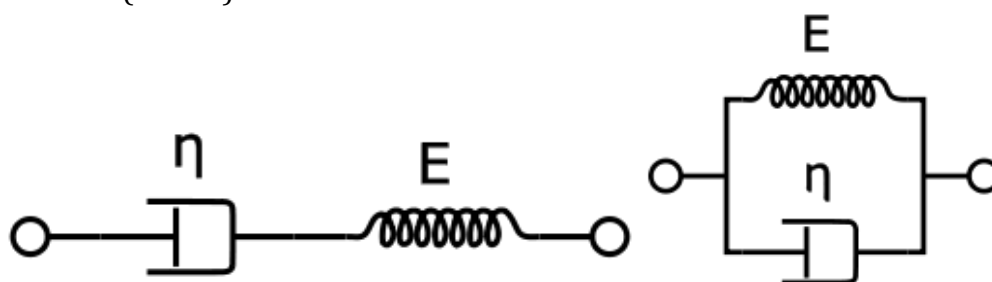
strukturu unutar koje je imobilisana tečna faza. Proces obrazovanja gela se može odvijati usled hemijskog povezivanja kovalentnim vezama ili usled fizičkog povezivanja pomoću polimer–polimer interakcija. Mogu se razlikovati pravi geli nastali razvijanjem trodimenzionalne umrežene strukture i slabi geli sa slabom strukturom sličnom gelu, koja se lako narušava pri delovanju napona (Yokoyama i sar., 1987; King, 2011).

3.3.2. Viskoelastične osobine

Reološko određivanje prehrambenih sistema, pored definisanja tipa proticanja, obuhvata i procenu viskoelastične prirode proizvoda. Zajedničko svojstvo prehrambenih proizvoda koji sadrže gele je da se ponašaju kao viskoelastične materije sa visokim stepenom elastičnosti.

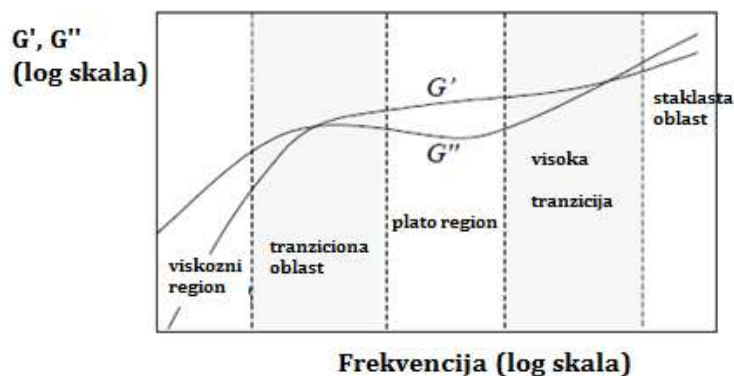
Disperzni gel sistemi vlakana u vodenoj sredini su kompleksni sistemi i sa reološkog i sa strukturalnog aspekta posmatranja. Oni se sastoje uglavnom od fluida, koji ima izvanrednu sposobnost da se ponaša kao čvrsto telo, a da pri tome zadrži mnoge osobine tečnosti. U ovakvim sistemima disperzna faza, odnosno vlakna formiraju koloide imobilizacijom tečne faze unutar umrežene strukture obezbeđujući time čvrsto–tečna svojstva disperznom sistemu. Stoga, u cilju procene viskoelastičnih svojstava gela potrebno je uzeti u obzir njihov sastav, termodinamičku i strukturalnu kompaktilnost između makromolekula i disperznog sredstva (Angioloni i Collar, 2009).

U strukturiranim čvrsto–tečnim sistemima prirodno se ostvaruje stanje energetskog minimuma na nivou mikrostrukture. Nakon deformacije nastale pod spoljašnjim dejstvom, termodinamičke sile teže povratku u prvobitno energetsko stanje minimuma, što čini osnovu elastičnih svojstava strukturiranih čvrsto–tečnih sistema. Pored ovih elastičnih sila prisutne su i viskozne sile usled rasipanja, srazmerno stepenu deformacije, tako da zajedno čine viskoelastični efekat. Većina koncentrovanih strukturiranih gel sistema ispoljava snažne viskoelastične efekte pri malim deformacijama čiji iznos predstavlja fizički odraz mikrostrukture. Ponašanje viskoelastičnih sistema se može predstaviti analognim mehaničkim modelima koje čini kombinacija elastičnih i viskoznih elemenata. Opruga predstavlja linearni elastični element, gde je napon proporcionalan primenjenoj sili, dok se linearni viskozni odgovor može predstaviti klipom. Serijskom kombinacijom opruge i klipa dobija se Maxwell–ov model viskoelastičnog ponašanja, a paralelnom kombinacijom opruge i klipa Kelvin–Voigt–ov model (slika 9).



Slika 9. Maxwell–ov model i Kelvin–voigt–ov model viskoelastičnog ponašanja

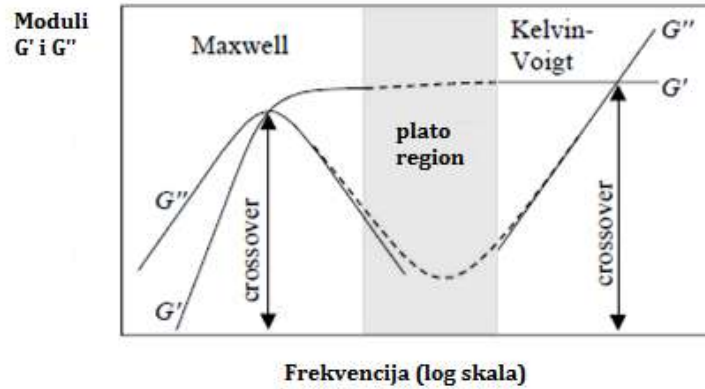
Dinamička oscilatorna merenja su vrlo pogodna pri definisanju viskoelastičnih svojstava reoloških gel sistema. To su nedestruktivna merenja sa malim udelom deformacija sa ciljem da ne dođe do narušavanja strukture sistema (Angioloni i Collar, 2009). Tokom dinamičkih oscilatornih merenja komponente gel sistema su pri svakoj određenoj frekvenciji definisane modulom elastičnosti G' i modulom viskoznosti G'' . Modulo elastičnosti predstavlja elastično ponašanje uzorka i meru energije deformacije zadržane u uzorku tokom smicanja. Nasuprot tome, modulo viskoznosti odgovara viskoznoj komponenti uzorka i predstavlja meru energije potrošene tokom smicanja. Uopštena promena modula elastičnosti G' i modula viskoznosti G'' sa promenom frekvencije kod realnih strukturiranih tečnih sistema prikazana je na slici 10.



Slika 10. Različiti regioni promene modula

U širokoj oblasti primenjene frekvencije razlikuje se više regiona koji opisuju ponašanje posmatranih sistema. Viskozni ili terminalni region je oblast u kojoj dominira G'' i viskozno ponašanje. Tranziciona oblast je region u kome modulo elastičnosti G' postaje značajan i frekvencija pri kojoj dolazi do izjednačenja vrednosti G' i G'' i ukrštanja posmatranih zavisnosti je tzv. *crossover* frekvencija. Plato region je oblast dominacije modula elastičnosti i elastičnog ponašanja. Pri tome modulo viskoznosti opada sa porastom frekvencije i dostiže minimum pre ponovnog rasta. Oblast visoke tranzicije postiže se pri visokim frekvencijama, gde se modulo viskoznosti ponovo povećava, brže od modula elastičnosti i na određenoj frekvenciji opet ostvaruje izjednačenje vrednosti–*crossover*. Na najvećoj frekvenciji ostvaruje se tzv. staklasti region u kome dominira opet modulo viskoznosti i nastavlja svoj rast brže od modula elastičnosti.

Viskoelastično ponašanje realnih sistema, pogotovu gela ili polimera visoke molekulske mase može se uprošćeno predstaviti kombinacijom modela ponašanja po Maxwell-u na niskim frekvencijama i modela ponašanja po Kelvin-Voigt-u na visokim frekvencijama, kao što je prikazano na slici 11.



Slika 11. Viskoelastično ponašanje realnih sistema

Prema modelu po Maxwell-u moduli G' i G'' pri bilo kojoj frekvenciji ω predstavljaju sumu pojedinačnih doprinosa svih serijski vezanih Maxwell-ovih elemenata kao što je prikazano jednačinama (1) i (2), gde je vreme relaksacije $\tau = \eta/G$. Prema modelu po Kelvin-Voigt-u $G' = G$ i $G'' = \eta\omega$, gde je G' konstanta, a G'' direktno proporcionalan frekvenciji (Barnes, 2000).

$$G'(\omega) = \sum_i G_i \frac{\omega^2 \tau_i^2}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \quad (1)$$

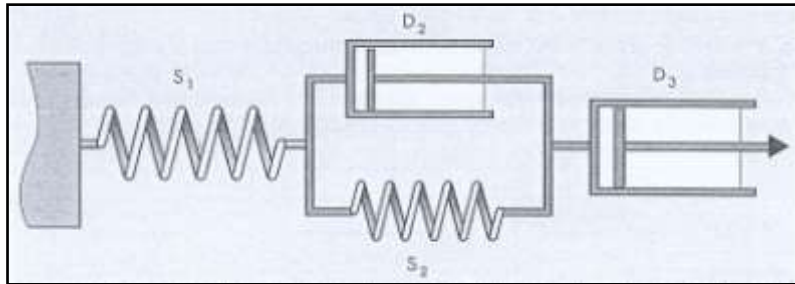
$$G''(\omega) = \sum_i G_i \frac{\omega \tau}{1 + \omega^2 \tau_i^2} \quad (2)$$

3.3.3. Svojstva puzanja

Pored primene oscilatornog napona viskoelastična svojstva reoloških gel sistema mogu se takođe definisati primenom konstantnog napona tokom vremena, odnosno ispitivanjem svojstva puzanja tzv. creep-recovery testom. Sistemi koji ispoljavaju viskoelastično ponašanje obično sadrže duge molekulske lance koji su tokom mirovanja međusobno povezani pri energetske stanju minimuma. Tokom deformacije pod uticajem napona molekuli se izdužuju i povećava se njihovo energetske stanje. Kod potpuno elastičnog ponašanja deformacija je srazmerna konstantnom primenjenom naponu i postoji za sve vreme prisustva napona. Pri prestanku dejstva napona deformacija trenutno i potpuno nestaje. Viskoelastično ponašanje pri konstantnom primenjenom naponu karakteriše se variranjem deformacije tokom vremena i umreženi molekuli podležu deformaciji u okviru mehaničkih strukturnih ograničenja. Pri uklanjanju napona totalna deformacija se razdvaja na trajno izgubljeni viskozni deo i obnovljivi elastični deo. Merenjem deformacije u zavisnosti od vremena, pri konstantnom naprežanju, kod viskoelastičnih sistema mogu se dobiti dijagrami „puzavosti”, odnosno creep & recovery krive. Ove krive opisuje funkcija popustljivosti J [1/Pa] (3) viskoelastičnih sistema, koja predstavlja deformaciju γ u vremenu t po jedinici konstantnog naprežanja, τ (Ghannam i Esmail, 1997).

$$J(t) = \gamma(t)/\tau \quad (3)$$

Odnos između elastičnih i viskoznih svojstava tokom puzanja viskoelastičnih sistema matematički se može predstaviti Burgers-ovim modelom, koji je kombinacija serijski vezanih modela po Maxwell-u i Kelvin-Voigt-u (slika 12).



Slika 12. Burgers-ov model puzanja viskoelastičnih sistema

Istezanje opruge S_1 u trenutku opterećenja τ pokazuje iznos elastičnih deformacija. Visokoelastične deformacije definisane su Kelvin-Foigt-ovim modelom (S_2 i D_2), a čiste viskozne deformacije njutnovskim elementom-cilindrom D_3 . Nakon uklanjanja opterećenja nastaju povratne elastične deformacije usled vraćanja opruge S_1 , a sistem se sam od sebe skuplja „puže” usled povratnog dejstva opruge S_2 usporenog paralelno vezanim viskoznim elementom D_2 . Nakon dovoljno dugog vremena nestanu sve povratne deformacije, a sistem ostane trajno deformisan za izvestan iznos određen viskoznom deformacijom D_3 (Mezger, 2002).

3.4. Tekstura prehrambenih proizvoda

Tekstura hrane je jedno od primarnih svojstava, koje se može definisati na više načina. Tekstura predstavlja svojstvo hrane koje je kombinacija fizičkih osobina i senzorskih karakteristika, pri čemu fizičke osobine uključuju oblik, veličinu, broj, prirodu i konformaciju strukturnih elemenata hrane (Jowitt, 1974). Tekstura hrane je i način na koji se različiti konstituenti hrane kombinuju i uređuju na mikro i makrostrukturnom nivou i time manifestuju strukturu sistema tokom deformacije (deMan, 1975). Tekstura se može definisati i kao fiziološko-psihološka percepcija mnogih reoloških i drugih svojstava hrane i njihove kombinacije i interakcije (McCarthy, 1987).

U svim definicijama, tekstura hrane predstavlja grupu osobina nastalih iz strukture hrane i obuhvata mahanička svojstva tokom deformacije, dezintegracije, proticanja pod dejstvom sile, koja se objektivno izražavaju funkcijom mase, vremena i rastojanja.

Potpuno karakterisanje prehrambenog proizvoda zahteva multidisciplinarni pristup svojstvima hrane. To uključuje senzorsko posmatranje teksturnih i senzorskih svojstava pomoću senzornog panela, fizičko-hemijske karakteristike, odnosno

deformaciju hrane tokom konzumiranja i analizu strukture hrane na osnovu reoloških parametara i mikrostrukture (Heath i Lucas, 1987).

Reologija ima značajnu primenu u procesima proizvodnje i manipulacije prehrambenim proizvodom. Brojni proizvodni procesi zavise od reoloških karakteristika proizvoda tokom različitih faza proizvodnje i značajno utiču na kvalitet finalnog proizvoda. Međutim, reološka određivanja ne pokrivaju sva fizička svojstva hrane, pogotovu ponašanje tokom konzumiranja, odnosno usitnjavanja, raspršivanja i uopšte dezintegracije strukturnih komponenti. U ustima veličina čestica hrane i svojstva njihove površine predstavljaju značajan atribut u potpunom doživljaju teksture hrane. Stoga se za teksturu hrane može uočiti da jednim delom pripada konvencionalnim reološkim karakteristikama, a drugim delom je iznad okvira tih svojstava. Takođe, teksturalna merenja prehrambenih proizvoda se više mogu posmatrati kao analiza slabosti materijala nego kao ispitivanje stabilnosti i jačine materijala (Bourne, 2002).

Metode teksturalnog merenja prehrambenih proizvoda se mogu, na osnovu klasifikacije po Scott-Blair-u (Wilkinsony i sar., 2000), grupisati u fundamentalne, empirijske i podražajne (imitacione) metode. Fundamentalna analiza podrazumeva fundamentalne reološke testove materijala nezavisne od veličine uzorka. Većina realnih struktura je suviše kompleksna da bi se u potpunosti mogla definisati samo fundamentalnim reološkim svojstvima. Stoga su brojne instrumentalne metode određivanja teksture empirijske i zasnivaju se na otpornosti uzorka sili deformacije. Najmerodavnije su podražajne instrumentalne tehnike, gde se merenjem imitiraju fizički procesi tokom konzumiranja hrane i time postiže visoka korelacija sa realnom situacijom.

Sposobnost proticanja materijala kroz male prostore ili otvore, kao i otpor pri proticanju i dejstvu sile može se utvrditi, na primer, kompresiono-ekstruzionim testovima. Ova vrsta teksturalne analize pogodna je za viskozne tečnosti, gele, masti, prerađevine od voća i povrća i uopšte od materijala od kojih se očekuje proticanje pod pritiskom. Tokom suprotnog kretanja merenog materijala i mernog pribora registruje se kriva zavisnosti sile od rastojanja i određuje se maksimalna potrebna sila istiskivanja, koja predstavlja stepen kvaliteta teksture. Oblik i veličina dobijene kompresiono-ekstruzione krive zavisi od viskoelastičnosti uzorka, ponašanja materijala tokom narušavanja strukture, veličine uzorka, iznosa deformacije, temperature i homogenosti uzorka i sl. (Bourne, 2002).

Takođe, dodatne optičke tehnike posmatranja mikrostrukture mogu biti od velikog značaja za analizu mikrostrukture, u cilju razumevanja mikrostrukturnih promena tokom procesa proizvodnje hrane i razumevanja uticaja različitih komponenti na mikrostrukturne promene, koje omogućavaju bolju kontrolu teksture i manipulaciju i regulaciju teksture (Wilkinsony i sar., 2000).

Ponašanje prehrambenih proizvoda tipa namaza pri primeni sile od velikog je značaja za teksturalna i senzorna svojstva tokom konzumiranja, kao što su žvkljivost, mazivost u ustima i sl. Prihvatljivost prehrambenih proizvoda tipa namaza od strane potrošača u velikoj meri zavisi od teksturalnog svojstva mazivosti ovih proizvoda, pored senzorskih svojstava, mirisa, ukusa i boje. Mazivost je direktno povezana sa reološkim svojstvima namaza, odnosno viskozitetom namaza i svojstvima proticanja. Ovu

povezanost potvrdili su pojedini autori prikazom reoloških karakteristika niskoenergetskih namaza od susama (*Razavi i sar., 2008*), soje (*Choi i sar., 2008*) i pistaća (*Taghizadeh i Razavi, 2009*). Generalno, potpuna percepcija prehrambenog proizvoda ostvaruje se jedino udruživanjem instrumentalnih metoda analize i senzorskih opažanja ljudskim čulima.

3.5. Senzorska analiza prehrambenih proizvoda

Senzorska ocena prehrambenog proizvoda predstavlja procenu kvaliteta prehrambenog proizvoda primenom čula vida, mirisa, dodira, ukusa i sluha. Senzorska analiza je od velikog značaja za razvoj prehrambenog proizvoda (*Bourne, 2002a*). Deskriptivni senzorski testovi su sofisticirane tehnike senzorske analize, koje obuhvataju kvalitativni i kvantitativni opis proizvoda na osnovu procene od strane treniranog ocenjivačkog panela. Značaj deskriptivne senzorske analize ogleda se u njenoj sposobnosti da omogući vezu opisnih senzorskih određivanja sa instrumentalnim merenjima sa jedne strane i očekivanjima potrošača sa druge strane. Deskriptivna senzorska analiza primenjuje se pri kontroli kvaliteta proizvoda, pri poređenju prototipova proizvoda u cilju povezivanja zahteva potrošača sa senzorskim kvalitetom proizvoda. Takođe, može se primeniti pri praćenju promena proizvoda tokom vremena radi utvrđivanja trajnosti proizvoda, kvaliteta pakovanja i ambalaže, da bi se definisao uticaj komponenti i procesnih parametara na finalni kvalitet proizvoda i u cilju utvrđivanja percepcija i preferencija potrošača (*Piggott, 1998; Lawless i Heymann, 2010*).

Primena senzorske analize zahteva izbor odgovarajućeg ocenjivačkog panela. Adekvatan stepen obuke članova ocenjivačkog panela je neophodan. Faktori koji se uzimaju u obzir pri izboru članova panela su zdravstveno stanje, postojanje eventualnih alergija, dostupnost ličnosti, verbalna kreativnost, koncentracija, motivacija, spremnost na timski rad, da li je u pitanju pušač, da li koristi neku vrstu zubnih proteza, navike u ushrani, obrazovanje, osetljivost čula, prethodno iskustvo, da li je korisnik proizvoda i sl. Na osnovu sposobnosti ocenjivača razlikuju se laici (ne prolaze obuku), ocenjivač (ima sposobnost senzorskog ocenjivanja), stručni ocenjivač (specifično obučen za ocenjivanje sa iskustvom). Ostali faktori relevantni za pravilno sprovedenu senzorsku ocenu prehrambenog proizvoda su prostor i uslovi u kojima se ostvaruje ocenjivanje, adekvatna priprema uzoraka, pravilno šifriranje uzoraka, upotreba standardnih skala ocene senzorskog parametra i primena adekvatnog rečnika senzorskog ocenjivanja (*Murray i sar., 2001*). Standardi na osnovu kojih se izvodi senzorska analiza prehrambenih proizvoda definisani su odgovarajućim ISO standardima, a opšta metodologija definisana je standardom ISO 6658:2005 (2005).

Senzorska analiza prehrambenih proizvoda tipa namaza obuhvata ocenu tri grupe senzorskih svojstava, koje su od izuzetnog značaja za kvalitet proizvoda. Tu spadaju senzorski parametri izgleda i odnose se na površinu i boju namaza, eventualnu pojavu razdvajanja faza, nehomogenosti i sl. (*Radočaj, 2011*). Zatim, teksturalna svojstva koja određuju mogućnost primene namaza, kao što su tvrdoća, mazivost, adhezivnost i blisko su povezana sa reološkim karakteristikama namaza. Treću grupu čine senzorska

svojstva koja se odnose na miris, ukus (zaostali osećaj u ustima i sl.) (*Muir i sar., 1997;*
Radočaj i sar., 2013)

Poglavlje 4

Ekperimentalni deo

4.1. Materijal

U eksperimentalnom radu korišćene su sledeće sirovine:

- Zamenjivači masti:
 - Zamenjivač masti Vitacel WFG HS73 proizvođača J. Rettenmaier & Sönhe GMBH+CO, Rosenberg, Nemačka. Hemijski sastav WFG HS73 čini 70% koloidnih pšeničnih vlakana i 30% maltodekstrina
 - Zamenjivač masti Vivapur MCG 611F proizvođača J. Rettenmaier & Sönhe GMBH+CO, Rosenberg, Nemačka. Hemijski sastav MCG 611F čine mikrokristalna celuloza (MCC=81,2–88,7%) i natrijum karboksimetil celuloza (NaCMC=11,3–18,8%).
- Destilovana voda
- Brašno od semena tikve golice proizvođača doo Linum, Čonoplja, Srbija
- Emulgator suncokretov lecitin Topcithin SF, proizvođača Cargill, koji predstavlja smešu nepolarnih triglicerida i polarnih fosfo- i glikolipida i malog udela ugljenih hidrata
- Kuhinjska so (NaCl)
- Smeša konzervanasa (natrijum askorbata E 301, trinatrijum citrata E 331 i natrijum acetata E 262)

4.2. Metode rada

4.2.1. Određivanje fizičko-hemijskih karakteristika brašna od semena tikve golice

4.2.1.1. Određivanje granulometrijskog sastava brašna

Prosejavanjem brašna pomoću tresilice sa sitima u trajanju od 15 minuta definisan je granulometrijski sastav brašna. Korišćen je slog sita sa opsegom prečnika otvora na situ od 0,40 do 1,60 mm.

4.2.1.2. Određivanje hemijskog sastava brašna

Hemijski sastav brašna od semena tikve golice definisan je primenom standardnih metoda AOAC (Association of Official Analytical Chemists), za određivanje sadržaja ulja (AOAC 4.5.01), proteina (AOAC 979.09), vlage (AOAC 925.09) i pepela (AOAC 923.03) (AOAC, 2000). Sadržaj celuloze određen je standardnom metodom po Kürschner-Hanak-u (Kulić i Radojičić, 2011; Skupień, 2006). Sadržaj ugljenih hidrata određen je računski na osnovu izraza $100\% - (\% \text{ vlage} + \% \text{ proteina} + \% \text{ ulja} + \% \text{ celuloze} + \% \text{ pepela})$ (Charrondiereet i sar., 2004; FAO 2003).

4.2.1.3. Određivanje sadržaja minerala i teških metala u brašnu

Minerali i teški metali prisutni u brašnu od semena tikve golice određeni su metodama atomske apsorpcione spektrometrije (AAS) i spektrofotometrije, uz prethodnu pripremu uzorka metodom razgradnje organske materije spaljivanjem prema standardu SRPS ISO 5516:2003 (Chen i sar., 1956; Fiske i Subbarow, 1925).

4.2.1.4. Određivanje sastava masnih kiselina

Sastav masnih kiselina u brašnu određen je gasno hromatografskom–maseno spektrofotometrijskom analizom, na osnovu standardne AOAC metode 963.22 (AOAC, 2000). Analizi prethodi ekstrakcija ulja iz brašna i priprema metil estara masnih kiselina. Za analizu metil estara masnih kiselina korišćen je gasni hromatograf Hewlett–Packard (HP) 5890 sa maseno–spektrometrijskim detektorom HP 5971A. Razdvajanje metil estara masnih kiselina izvedeno je primenom kapilarne kolone SP–2560 (Supelco, Bellefonte, PA, USA) dužine 100 m, unutrašnjeg prečnika 0,25 mm sa slojem stacionarne likvidne faze od 0,20 μm . Kao gas nosač korišćen je helijum sa konstantnim protokom od 0,58 cm^3/min . Analize su izvedene primenom sledećeg temperaturnog programa: početna temperatura kolone od 100°C održavana je 5 min, nakon čega sledi porast temperature brzinom od 6°C/min, do konačne temperature od 240°C koja je održavana narednih 20 min. Zapremina uzorka je 1 μl uz odnos razdeljivanja 1:40. Temperatura injektora bila je 230°C, a temperatura rada masenog spektrometra 180°C. Maseni spektri snimani su SCAN tehnikom u interval m/z 40–400 a.m.u. Kvalitativno određivanje izvedeno je na osnovu masenih spektara i retencionih vremena, a kvantitativno u skladu sa AOAC metodom (AOAC, 2000) pri čemu je za definisanje korekcionih faktora korišćen standardni rastvor smeše trideset sedam metil estara masnih kiselina (37 component FAME Mix, 47885–U, Supelco, Bellefonte, PA, USA).

4.2.2. Određivanje funkcionalnih karakteristika brašna od semena tikve golice

4.2.2.1. Određivanje oksidativne stabilnosti brašna

U cilju definisanja održivosti brašna od semena tikve golice određena je oksidativna stabilnost brašna prema standardu ISO 6886 (2006) pomoću uređaja 743 Rancimat (Metrohm Inc, USA). Masa od $3 \pm 0,01$ g uzorka brašna zagrejana je pod atmosferskim pritiskom do temperature od 120°C , pri čemu vazduh slobodno struji kroz uzorak protokom od 20 l/h. Pod ovim uslovima lipoperoksidativni proces se ostvaruje i isparljive kiseline kratkih lanaca, koje se stvaraju, mere se konduktometrijski u destilovanoj vodi. Vreme potrebno za postizanje iznenadnog porasta provodljivosti usled formiranja isparljivih kiselina predstavlja indukcionni period (IP), koji predstavlja meru stabilnosti uzorka (Ciemniewska-Zytkiewicz i sar., 2014).

4.2.2.2. Određivanje kapaciteta apsorpcije vode

Kapacitet apsorpcije vode određen je postupkom centrifugiranja (Lin i sar., 1974; Compaoré i sar., 2011). Uzorci su analizirani u paralelama. Jedan gram uzorka brašna odmeren je u epruveti na analitičkoj vagi i dodato je 10 ml destilovane vode. Uzorci su intenzivno promešani na vortex mikseru 5 minuta, zatim su odstojali na sobnoj temperaturi 15 minuta i na kraju centrifugirani 30 minuta pri brzini od 3500 rpm. Višak vode je dekantovan, a talog potpuno očeđen stajanjem epruveta u kosom položaju. Očeđen talog odmeren je na analitičkoj vagi i na osnovu razlike masa taloga i uzorka dobijena je masa apsorbirane vode. Srednja vrednost paralela predstavlja kapacitet apsorpcije vode izražen u g vode/g uzorka brašna.

4.2.2.3. Određivanje indeksa rastvorljivosti brašna

Na osnovu metode opisane u radovima autora Onwulata et al. i Compaoré et al. određen je indeks rastvorljivosti brašna u vodi (Onwulata i sar., 1998; Compaoré i sar., 2011). Uzorci su analizirani u paralelama. Dva grama uzorka odmereno je na analitičkoj vagi u porcelanskim posudama i dodato je 10 ml destilovane vode. Hidratirani uzorci brašna termostatisirani su u vodenom kupatilu 30 minuta na 100°C , nakon čega su ohlađeni na sobnoj temperaturi. Dekantovani supernatant je uparen do suvog i nakon hlađenja odmeren. Indeks rastvorljivosti uzorka brašna predstavlja procenat suve materije supernatanta u masi uzorka.

4.2.3. Mikrobiološka analiza

Sve sirovine koje su primenjene u pripremi namaza prethodno su mikrobiološki analizirane. Odabrani gel sistemi zamenjivača masti i pojedini namazi su takođe mikrobiološki ispitani. Mikrobiološka analiza obuhvatila je određivanje ukupnog broja

bakterija (NMKL No 86 5th Ed, 2013), utvrđivanje prisustva plesni i kvasaca (NMKL No 98 4th Ed, 2005), prisustva Enterobacteriaceae (NMKL No 144 3rd Ed, 2005), prisustva Bacillus cereus (NMKL No 67 6th Ed, 2010), Clostridium perfringens (NMKL No 95 5th Ed, 2009), kao i sporogenih aerobnih i sporogenih anaerobnih mikroorganizama (NMKL No 189, 2008). Primenjene metode mikrobiološke analize ekvivalentne su odgovarajućim metodama definisanim ISO standardima (Commission Regulation (EC) No. 2073, 2005). Mikrobiološka analiza namaza optimalnih svojstava izvedena je primenom istih mikrobioloških metoda.

4.2.4. Analiza strukture sistema skenirajućom elektronskom mikroskopijom

Mikrostrukturalne karakteristike, kako sirovina tako i pripremljenih gel struktura zamenjivača masti i optimalnog namaza posmatrana su pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa JSM-6460LV na 25 kV (SEM, JEOL Ltd., Japan). Uzorci su fiksirani na aluminijumskim nosačima i prevučeni tankim slojem zlata raspršenog po površini, nakon čega su posmatrani na elektronskom mikroskopu pri različitim uvećanjima x 500–5000.

4.2.5. Priprema kontinualne faze–zamenjivača masti

Prah ispitivanih zamenjivača masti dispergovan je u destilovanoj vodi u koncentracijama 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 3; 5; 7 i 10%. Dispergovanje je izvedeno pomoću homogenizera (Ultra Turrax T–25, IKA Werke GmbH & Co, Germany), priborom S25 N–18G za 4 min pri brzini obrtanja od 6500 o/min (slika 13). Nakon pripreme disperzije su odstojele 24 h na 4°C radi formiranja gela.



Slika 13. Homogenizer Ultra Turrax T–25 i pribor S25 N–18G

4.2.6. Priprema namaza od brašna semena tikve golice

Sastav namaza čine brašno od semena tikve golice, zamenjivač masti u ulozi kontinualne faze, emulgator suncokretov lecitin (0,4% na 100 g namaza), so (0,5% na 100 g namaza) i konzervans (smeša 0,150 g natrijum askorbata E 301, 0,150 g trinatrijum citrata E 331 i 0,200 g natrijum acetata E 262 na 100 g namaza). Udeo

zamenjivača masti u namazu je variran u cilju postizanja optimalnih svojstava namaza i iznosi 60, 70 i 80% na masu namaza. U skadu sa tim menja se i sadržaj brašna u namazu i iznosi 40, 30 i 20% na masu namaza. Namazi su homogenizovani primenom homogenizera (Ultra Turrax T-25, IKA Werke GmbH & Co, Germany), priborom S 25 N-25F (slika 14) 5 minuta pri brzini obrtanja od 6500 o/min.



Slika 14. Pribor za homogenizaciju namaza, S 25 N-25F

4.2.7. Određivanje raspodele veličina čestica

Raspodela veličina čestica disperznih sistema zamenjivača masti određena je metodom difrakcije laserske svetlosti. Laserska difraktometrija se bazira na činjenici da je prostorni raspored difraktovane svetlosti funkcija veličine čestica uzorka koji se analizira. U suštini laserska difraktometrija meri intenzitete i rastojanja difrakcionih prstenova (prostorne uglove i pravac upadne svetlosti). Merenja su ostvarena pomoću uređaja Mastersizer 2000, Malvern Instruments, UK (slika 15). Uređaj čine optički instrument, jedinica za dispergovanje uzorka Hydro 2000G i računar sa odgovarajućim programskim paketom. Uzorak čestica, dispergovanih u odgovarajućem medijumu, prolazi kroz fokusirani snop svetlosti i rasejava svetlost pod karakterističnim prostornim uglovima. Mastersizer 2000 koristi dva izvora svetlosti, HeNe laser je izvor crvene svetlosti talasne dužine 633 nm, i smešten je u osu instrumenta. Drugi izvor svetlosti, koji nije u osi, je LED koji emituje plavu svetlost talasne dužine 455 nm. Opseg veličina čestica koje se mogu izmeriti instrumentom je od 0,02 do 2000 μm (Stojanović i sar., 2010; Huang, 2001). Ista metoda primenjena je i za određivanje raspodele veličina čestica namaza optimalnih svojstava.



Slika 15. Mastersizer 2000, optički uređaj i jedinica Hydro 2000G

4.2.8. Merenje viskoziteta razblaženih disperznih sistema

Viskozitet disperzija zamenjivača masti, čije koncentracije nisu izgradile stabilne gel strukture, meren je na konstantnoj temperaturi od 25⁰C, kapilarnim viskozimetrom sa visećim nivoom po Ubbelohde-u (SCHOTT Instruments GmbH, Mainz, Germany). Tip i broj kapilare viskozimetra su 501 13/Ic, a konstanta viskozimetra $K = 0,02900 \text{ mm}^2/\text{s}^2$. Mereno je vreme isticanja čistog rastvarača (vode) i vreme isticanja ispitivanog disperznog sistema do konstantne vrednosti (sa ostupanjem $\pm 0,2$). Gustine su određene na gustinometru K20–Tensiometer EasyDyne (Krúss, Hamburg, Germany) i pomoću pribora Density Set DE01 (slika 16).



Slika 16. Gustinometar K20–Tensiometer EasyDyne i primenjeni pribor Density Set DE01

4.2.9. Merenje viskoziteta koncentrovanih disperznih sistema

Reološka merenja koncentrovanih sistema gelova izvedena su na rotacionom viskozimetru Haake Rheo Stress 600 (slika 17), pri čemu je korišćen pribor ploča–ploča prečnika 60 mm pri temperaturi od 25⁰C (Thermo Electron Corporation, Karlsruhe, Germany).



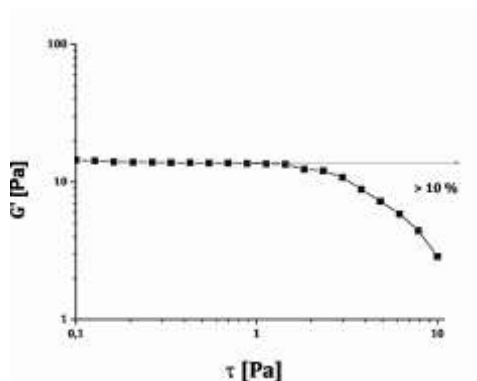
Slika 17. Rotacioni viskozimetar Haake Rheo Stress 600 i pribor PP60 Ti

Krive proticanja određene su metodom histerezisnih petlji i posmatranjem promena napona smicanja τ [Pa] sa promenom brzine smicanja $\dot{\gamma}$ [1/s]. Brzina smicanja povećavana je od 0–100 1/s tokom 3 minuta, zatim je održavana 3 minuta na maksimalnoj brzini od 100 1/s, a smanjivanje brzine smicanja od 100–0 1/s takođe je trajalo 3 minuta. Iste promene brzine smicanja primenjene su i tokom određivanja krivih proticanja namaza.

4.2.10. Merenje viskoelastičnih svojstava

4.2.10.1. Dinamička oscilatorna merenja

Promene modula elastičnosti G' i modula viskoznosti G'' sa promenom frekvencije definisane su primenom dinamičkih oscilatornih merenja u oblasti linearnog viskoelastičnog režima (LVE). U cilju određivanja linearnog viskoelastičnog režima primenjeni su ciklično povećavajući iznosi napona pri konstantnoj frekvenciji od 1 Hz. Tačka pri kojoj se dinamički viskoelastični moduo menja za više od 10% od svoje konstantne vrednosti pokazuje odstupanje od linearnog viskoelastičnog ponašanja (slika 18).



Slika 18. *Određivanje linearnog viskoelastičnog režima*

Na osnovu određenog LVE režima definisani su uslovi merenja, odnosno vrednosti napona smicanja pri kojima ne dolazi do destrukcije sistema i koje su pritom različite za sisteme različitih jačina strukture. Dinamička oscilatorna merenja izvedena su variranjem vrednosti frekvencije, f , od 1–10 Hz pri konstantnoj vrednosti napona smicanja u LVE oblasti, pri čemu su praćene promene G' i G'' . Korišćen je pribor ploča–ploča prečnika 60 mm sa zazorom između ploča od 1 mm (*Mezger, 2002*).

4.2.10.2. Krive puzanja

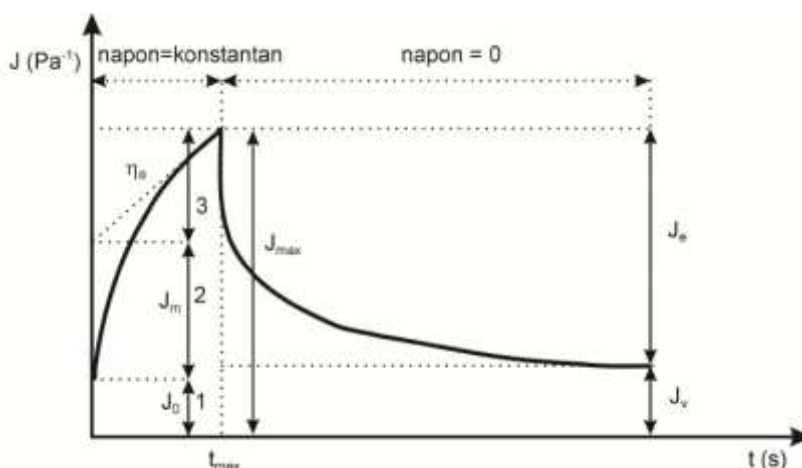
Radi ispitivanja odgovora viskoelastičnih materijala na konstantnu silu, kao i njihovo ponašanje pri uklanjanju sile određene su krive puzanja sistema. Ova vrsta merenja izvodi u LVE režimu u kom amplituda deformacije proporcionalno odgovara

amplitudi primenjenog napona smicanja. Tokom faze puzanja primenjen je konstantni napon smicanja, koji odgovara LVE režimu, u trajanju od 150 s. Po prestanku delovanja napona usledila je faza oporavka u trajanju od 450 s. Krive puzanja definišu se pomoću Burgers-ovog modela i u fazi delovanja napona ponašanje sistema se može opisati jednačinom (3). U fazi oporavka ponašanje sistema se predstavlja jednačinom (4).

$$J(t) = J_0 + J_1 \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) + t/\eta_0 \quad (3)$$

$$J(t) = J_{max} - J_0 - J_0 \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) \quad (4)$$

gde je J_0 – početna popustljivost sistema, J_1 – viskoelastična naknadna popustljivost, J_{max} – maksimalna popustljivost, λ – srednja vrednost vremena usporavanja u okviru Kelvin-Voigt-ove komponente, η_0 – Njutnovski viskozitet (Mezger, 2002; Sozer, 2009; Steffe, 1996). Deo krive koja opisuje oporavak sistema može se opisati i udelima elastičnih (J_e) i viskoznih (J_v) deformacija u maksimalnoj popustljivosti sistema. Razlikuju se relativni elastični udeo J_e/J_{max} [%] (deo strukture koji se oporavio nakon prestanka delovanja napona) i relativni viskozni udeo J_v/J_{max} [%] (deo strukture koji se nije oporavio nakon prestanka delovanja napona, izgubljeni iznos deformacije) (Lazaridou i Biliaderis, 2009). Šematski prikaz parametara tipične krive puzanja dat je na slici 19.



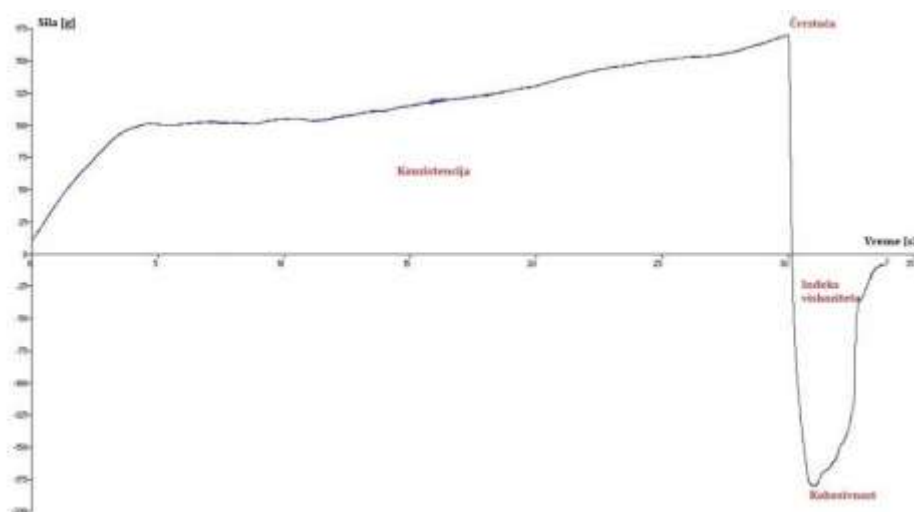
Slika 19. Tipična kriva puzanja i parametri krive

4.2.11. Određivanje teksturalnih karakteristika

4.2.11.1. Određivanje teksturalnih karakteristika zamenjivača masti

Zamenjivači masti teksturalno su definisani primenom metode povratne ekstruzije. Karakterizacija teksturalnih svojstava viskoznih tečnih i polučvrstih sistema poput gela uobičajno se ostvaruje metodama povratne ili direktne ekstruzije u cilju definisanja čvrstoće i konzistencije (Angioloni i Collar, 2009; Bourne, 2002b). Merenja su izvedena pomoću uređaja Texture Analyser TA.HD Plus (Stable Micro Systems, Godalming, U.K.). Primljena je proizvođački specificirana metoda *Comparison of consistency by back extrusion* uz pomoć pribora Back extrusion cell (A/BE) i merne ćelije

od 5 kg. Odgovarajući pribor izrađen je od pleksiglasa i čine ga postolje, merne posude prečnika 50 mm i nosač sa kompresionim diskom prečnika 35 mm. Minimalna količina uzorka neophodna za analizu je 75% od zapremine merne posude. Kompresioni disk je na početku analize postavljen direktno iznad površine uzorka u mernoj posudi. Merenje se ostvaruje tek pri dostizanju kontaktne sile od 10 g između mernog diska i površine uzorka. Tokom merenja senzorni disk prodire 30 mm kroz uzorak, nakon čega se vraća na početnu poziciju. Kretanje mernog diska i uzorka tokom ove analize je suprotnog smera. Parametri metode su: brzina kretanja pre analize 1 mm/s, tokom analize 1 mm/s, brzina pri povratku diska 10 mm/s, rastojanje 30 mm i kontaktna sila 10 g. Tokom analize registruju se karakteristični parametri koji opisuju silu prodora kroz uzorak i pri povratku mernog diska, a time i ponašanje sistema u ovakvim uslovima (slika 20).



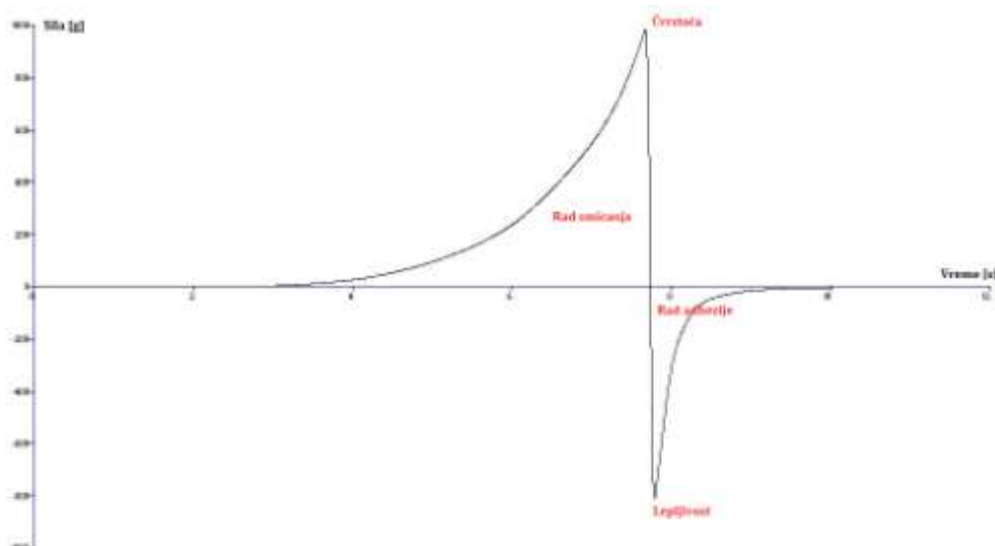
Slika 20. Tipična kriva teksturalnih svojstava gela

Maksimalna ostvarena sila pri prodoru diska na rastojanju 30 mm definiše čvrstoću, a veličina površine koju dobijena kriva gradi sa apcisom ukazuje na konzistenciju gel sistema. Negativni deo grafika dobijen je pri povratku mernog pribora kroz uzorak i opisuje teksturalne parametre kao rezultat uticaja mase uzorka koja se zadržava na mernom disku i otpora proticanju koji uzorak ispoljava. Negativni maksimum na grafiku indikator je kohezivnosti uzroka, a površina koju kriva negativnog dela grafika gradi sa apcisom predstavlja indeks viskoziteta (TA.HD, 2004).

4.2.11.2. Određivanje teksturalnih karakteristika namaza

Parametri teksturalnih svojstava namaza određeni su primenom proizvođački specificirane metode Spreadability/Softness of spread takođe pomoću uređaja Texture Analyser TA.HD Plus (Stable Micro Systems, Godalming, U.K.). Metoda zahteva primenu pribora Spreadability Rig HDP/SR, koji obuhvata čašice od pleksiglasa sa konusnim dnom i konusni merni element sa nosačem. Pre analize neophodna je kalibracija radi definisanja konstantne početne pozicije mernog elementa, koja je 25 mm od dna čašice. Čašice napunjene uzorkom postavljaju se u odgovarajuće ležište. U zavisnosti od

očekivane čvrstoće uzorka korišćene su merne ćelije od 5 i od 25 kg. Tokom analize merni element prodire kroz uzorak u čašici brzinom od 3 mm/s, a pri povratku se kreće brzinom od 10 mm/s. Pri tome se registruju čvrstoća namaza (maksimum pozitivnog dela krive), rad smicanja (površina koju pozitivni deo krive gradi sa apcisolom), lepljivost (maksimum negativnog dela krive) i rad adhezije (površina koju negativni deo krive gradi sa apcisolom). Dobijene vrednosti parametara teksture namaza, kao i parametara teksture zamenjivača masti, porede se na osnovu apsolutnih vrednosti (slika 21).



Slika 21. Tipična kriva teksturalnih svojstava namaza

4.2.12. Instrumentalno određivanje boje

Instrumentalno određivanje boje ostvareno je primenom tristimulusne kolorimetrije. Ova metoda zasniva se na trikomponentnoj teoriji vizuelne percepcije boje, odnosno na činjenici da ljudsko oko ima receptore za tri osnovne boje (crvena, zelena i plava) i da sve ostale boje vidi kao kombinaciju ove tri osnovne boje (Škaljac, 2014). Za određivanje parametara boje korišćen je kolorimetar Minolta Chroma Meter CR-400 (slika 22) sa otvorom 8 mm na mernoj glavi i standardnim nastavkom za merenje CR-A33b (Konica Minolta Inc., Osaka, Japan).



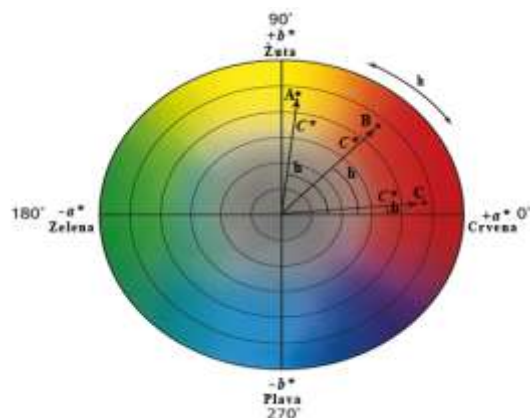
Slika 22. Kolorimetar Minolta Chroma Meter CR-400

Merenja su ostvarena u D-65 osvetljenju (prosečna podnevna svetlost) sa standardnim uglom zaklona od 2°. Instrument je pre svake serije merenja kalibrisan korišćenjem bele kalibracione ploče CR-A43, standardnom procedurom prema proizvođačkim instrukcijama. Princip rada kolorimetara zasniva se na tome da nakon osvetljavanja uzorka standardnim izvorom svetlosti reflektovana svetlost dolazi u detektor u kome se nalaze filteri za tri osnovne boje (crvena, zelena i plava). Intenzitet svetlosti se meri preko tristimulusnih vrednosti (X, Y i Z) uz pomoć mikroprocesora, a zatim tristimulusne vrednosti se mogu prevesti u parametre boje nekog od poznatih sistema boja (CIE Yxy; CIE L*a*b*; CIE L*C*h; Hunter-ov Lab sistem boja) (Konica Minolta, 2007; Škaljac, 2014).

Parametri boje namaza iskazani su u CIE L*a*b* sistemu (CIE, 1976). Ovaj sistem je zasnovan na tri koordinate preko kojih se definiše boja uzorka: L* (svetloća boje), a* (udeo crvene boje (+a*) ili zelene boje (-a*)) i b* (udeo žute boje (+b*) ili plave boje (-b*)). U cilju preciznijeg definisanja boje McGuire (1992) predlaže da se pored standardnih vrednosti koje su definisane u CIE L*a*b* sistemu, određuje i nijansa boje (h), kao i zasićenost boje (C*) ispitanog uzorka, jer su to parametri koje intuitivno razumeju svi od proizvođača do potrošača. Nijansa boje je svojstvo boje koje odgovara varijantama u talasnoj dužini (crvena, žuta, plava, zelena itd.) (SRPS EN ISO 5492, 2012). Ona se izražava u stepenima i određuje iz vrednosti koordinata a* i b* jednačinom:

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

U suštini nijansa boje (h) određuje vrednost ugla pod kojim se nalazi odgovarajuća boja (tačke A, B, C) računajući u odnosu na +a* osu koordinativnog sistema (slika 23).



Slika 23. Grafički prikaz određivanja nijanse boje (h) i zasićenosti boje (C*)

Zasićenost boje (C*) je merilo stepena čistoće boje. U centru koordinativnog sistema je 0 i povećava se sa udaljenošću boje od centra, kao što je prikazano na slici 23. Zasićenost boje se takođe može izračunati na osnovu poznatih vrednosti za parametre a* i b* pomoću izraza:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

Boja namaza dodatno je opisana parametrom dominantna talasna dužina (dominant wavelength-DW), koji pripada parametrima CIE Yxy sistema boja. Dominantna talasna dužina je talasna dužina spektralne boje istog bojenog tona kao i boja o kojoj je reč, tako da predstavlja pokazatelj hromatičnosti i služi za preciznije definisanje boje (Škaljac, 2014).

4.2.13. Senzorska analiza namaza

Ocena senzorskih karakteristika namaza sprovedena je 24 h nakon pripreme uzoraka. Na osnovu ISO standarda obezbeđeni su odgovarajući uslovi za ocenu proizvoda. Šifrirani uzorci su ocenjeni u adekvatnom prostoru (ISO 8589, 2007) od strane šestočlanog stručnog panela (ISO 8586-2, 2008) primenom numeričkih skala sa sedam nivoa ocene za svako senzorsko svojstvo (ISO 4121, 2003). Parametri koji opisuju izgled namaza su ujednačenost boje (homogenost jedne boje, prisustvo ili odsustvo drugih boja), svetloća (stepen svetlog ili tamnog), intenzitet zelene boje (zasićenost boje, stepen čistoće boje) i homogenost površine (eventualna separacija faza, uočavanje pojedinih komponenti). Parametri koji se odnose na teksturu namaza su tvrdoća (sila uložena za deformaciju namaza), mazivost (lakoća nanošenja na površinu), adhezivnost (prijanjanje na površinu), zrnavost (opažanje veličine i oblika čestica pri konzumiranju). Tokom konzumiranja ocenjeni su miris i ukus (odsustvo ili prisustvo mirisa, odnosno tipičnost ukusa karakterističnog za upotrebljenu sirovinu). Primenjene skale za ocenu senzorskih svojstava prikazane su na slici 24.

ŠIFRA UZORKA: _____

IZGLED						
Ujedačenost boje						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno nehomogena						ekstremno homogena <i>optimalna</i>
Svetloća						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno svetla			<i>optimalna</i>			ekstremno tamna
Intenzitet zelene boje						
1	2	3	4	5	6	7
Homogenost površine						
1	2	3	4	5	6	7
nehomogena loša						homogena <i>optimalna</i>
TEKSTURA						
Tvrdoća						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno meko			<i>optimalna</i>			ekstremno tvrd
Mazivost						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno razmazivo			<i>optimalna</i>			nemazivo
Adhezivnost						
1	2	3	4	5	6	7
ne lepi se			<i>optimalna</i>			lepljivo
Zrnavost						
1	2	3	4	5	6	7
glatko			<i>optimalna</i>			grubo zrnasto
Miris						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno nehomogena						ekstremno homogena <i>optimalna</i>
MIRIS I UKUS						
Miris						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno loš						ekstremno dobar <i>optimalan</i>
Ukus						
1	2	3	4	5	6	7
ekstremno loš						ekstremno dobar <i>optimalan</i>

Slika 24. Numeričke skale ocena senzorskih svojstava

4.2.14. Statistička analiza

Svi parametri fizičkih svojstava ispitivanih sistema mereni su u tri ponavljanja i predstavljeni u obliku srednja vrednost \pm standardna devijacija (SD). U okviru statističke metode analize varijansi (ANOVA) za poređenje srednjih vrednosti korišćen je Duncan-ov test pri riziku određivanja od 5 % (prag značajnosti je $p=0,05$). Statističke analize su izvršene uz pomoć softvera SPSS 15.0 trial version (SPSS Inc, Chicago, USA). Veličina statistički značajnih uticaja izražena je koeficijentom na osnovu Koenovog kriterijuma (*Pallant, 2007*).

Između pojedinih promenljivih određena je i međusobna linearna zavisnost i izražena Pirsonovim koeficijentom korelacije primenom softverskog paketa Statistica 12.0 (Statsoft, Tulsa, USA)..

Pri ispitivanju značajnosti uticaja promenljivih faktora na svojstva dobijenih namaza korišćena je metoda planiranja eksperimenta (DOE – design of experiment) u okviru koje je primenjen potpuni faktorijalni dizajn. Faktorijalni dizajn se pokazao kao veoma efikasan metod za izučavanje uticaja dva ili više faktora i njihovih interakcija (*Savić, 2013; Vidosavljević, 2014*). Pod potpunim faktorijalnim dizajnom podrazumeva se da su eksperimenti izvedeni sa svim kombinacijama faktora na svim njihovim nivoima i svim ponavljanjima (*Antony, 2003, Montgomery i sar., 2011*). Posmatrana su tri ulazna faktora: udeo gela, koji predstavlja numeričku promenljivu sa tri nivoa promene (60, 70 i 80 %), zatim, takođe numerička promenljiva, koncentracija gela sa pet nivoa promene (1, 3, 5, 7 i 10 %) i kategorička promenljiva vrsta gela sa dva nivoa (MCG gel i WFG gel). Izlazne veličine su parametri teksturalnih osobina namaza, parametri boje namaza i parametri senzorski definisanih svojstava namaza. Za svaku od izlaznih veličina ostvareno je po 30 merenja.

Značajnost ulaznih parametara i njihovih interakcija izražena je procentualno (koristeći odgovarajuće sume kvadrata), dok su jačina i smer uticaja od posebnog značaja prikazani i grafički. Takođe, u cilju provere adekvatnosti datog modela ispitana je normalnost raspodele ostataka i grafici odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti. Ove analize su urađene u statističkom programu Design-Expert 7 trial version (Stat-Ease Inc, Minneapolis, USA).

4.2.15. Energetska vrednost namaza

Energetska vrednost namaza optimalnih svojstava određena je primenom Atwater-ovog metoda računanja energetske vrednosti. Sadržaj masti, proteina i ugljenih hidrata (u % na 100 g proizvoda) množi se sa vrednostima za ove makronutrijente iz standardne tabele nutritivnih vrednosti (tabela 3).

Tabela 3. Standardna tabela nutritivnih vrednosti

Makronutrijenti	Vrednost [kcal/g]
Mast	9
Proteini	4
Ugljeni hidrati	4

Minorni sastojci, kao što su arome, emulgatori i slično, ne uzimaju se u obzir. Rezultat se može izraziti u kilokalorijama ili kilodžulima, pri čemu je 1 kcal ekvivalentna 4,186 kJ (*Lončarević, 2013*).

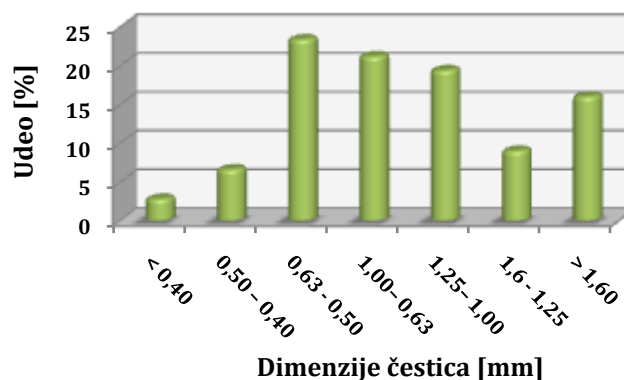
Poglavlje 5

Rezultati i diskusija

5.1. Karakteristike brašna od semena tikve golice

5.1.1. Granulometrijski sastav brašna

Nakon prosejavanja brašna dobijen je granulometrijski sastav brašna prikazan histogramski na slici 25. Veličina čestica čvrste faze u proizvodima tipa namaza je veoma bitna zbog postizanja odgovarajuće teksture i senzorskih karakteristika proizvoda. Usled značajnog udela čestica veličine do 1 mm (54%) uzete su frakcije brašna koje su prošle kroz sito sa prečnikom otvora 1 mm. Takođe, u cilju sprečavanja mikrobioloških promena namaza prosejano brašno je termički tretirano 15 minuta na 70°C (*Compaoré i sar., 2011*).



Slika 25. Granulometrijski sastav brašna od semena tikve golice

5.1.2. Hemijski sastav brašna

Hemijski sastav brašna prikazan je u tabeli 4.

Tabela 4. Hemijski sastav brašna

Komponente brašna	Udeo±SD [%]
Sadržaj ulja	15,41±0,07
Sadržaj proteina	55,02±0,01
Sadržaj vlage	7,16±0,01
Sadržaj celuloze	3,49±0,02
Sadržaj pepela	8,28±0,02
Sadržaj ugljenih hidrata	10,63±0,11

Može se uočiti da su u sastavu brašna od semena tikve golice najzastupljeniji proteini u udelu od 55,02%, što je u skladu sa literaturnim podacima (*Vaštag i sar., 2011; Kreft i sar., 2002; Zdunczyk i sar., 1999*). Takođe, značajan je i sadržaj ulja od 15,41%.

Nakon termičkog tretmana brašna na 70°C tokom 15 min sadržaj vlage brašna se očekivano smanjio i termički tretirano brašno sadrži 3,64% vlage.

5.1.3. Sadržaj minerala i teških metala u brašnu

Mineralni hemijski elementi prisutni u brašnu od semena tikve, kao i njihov sadržaj izražen u mg/kg uzorka prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5. Sadržaj minerala i teških metala u brašnu

Hemijski elementi	Sadržaj±SD [mg/kg]
Kalijum	1168,12±1,22
Magnezijum	290,45±0,91
Cink	96,80±0,06
Natrijum	71,71±0,43
Gvožđe	51,82±1,30
Mangan	39,68±0,07
Kalcijum	25,91±0,02
Fosfor	20,53±0,04
Bakar	17,61±0,12
Olovo	0,30±0,001

Posmatrano brašno od semena tikve karakteristično je po izraženom sadržaju kalijuma (1168,12 mg/kg), koji zajedno sa natrijumom reguliše ravnotežu tečnosti u organizmu i od izuzetnog je značaja za pravilan rad srčanog mišića. Magnezijum, koji je potreban zbog iskorišćenja ugljenih hidrata i proteina, je takođe značajno zastupljen (290,45 mg/kg). Prisutni su i minerali koji učestvuju u izgradnji hemoglobina (Fe) i jačanju imunološkog sistema (Zn). Sadržaj olova je u skladu sa važećim propisima za Republiku Srbiju, odnosno ispod dozvoljene vrednosti od 1 mg/kg („Sl. glasnik RS”, br. 29/2014, 37/2014–isp., 39/2014 i 72/2014).

5.1.4. Sastav masnih kiselina

Tabela 6 prikazuje sastav masnih kiselina u brašnu od semena tikve golice. Uočljivo je prisustvo polinezasićenih masnih kiselina, koje su inače vrlo poželjne kod svih prehrambenih proizvoda tipa namaza usled pozitivnih zdravstvenih efekata. Najzastupljenija je esencijalna linolna kiselina koja je ω -6 masna kiselina, a uočava se i visok sadržaj oleinske ω -9 kiseline. Obe masne kiseline su ključne u prevenciji razvoja ateroskleroze, koronarnih bolesti i smanjenju agregacije trombocita.

Tabela 6. Sastav masnih kiselina brašna

Masne kiseline	Sadržaj±SD [%]
Miristinska kiselina (C 14:0)	0,17±0,02
Palmitinska kiselina (C 16:0)	11,74±0,28
Stearinska kiselina (C 18:0)	6,54±0,39
Oleinska kiselina (C 18:1)	38,82±0,63
Linolna kiselina (C 18:2)	42,66±0,12

5.1.5. Oksidativna stabilnost brašna, kapacitet apsorpcije vode i indeks rastvorljivosti brašna

Funkcionalna svojstva brašna ispitana na uzorku sirovog brašna i na uzorku termički tretiranog brašna od semena tikve prikazana su u tabeli 7. Održivost uzoraka brašna predstavljena je u vidu oksidativne stabilnosti, odnosno indukcionog perioda potrebnog za iznenadni porast provodljivosti. Oksidativna stabilnost uslovljena je prisustvom produkata oksidacije i hidrolize. Hemijski sastav značajno utiče na vrednost oksidativne stabilnosti uzorka. Stepenn autooksidacije oleinske, linolne i linolenske masne kiseline povezan je sa stepenom nezasićenosti kiselina i kod ovih kiselina je u odnosu 1:40:100, respektivno (Ciemniewska–Zytkiewicz i sar., 2014). Znatnim prisustvom linolne i oleinske kiseline u sastavu brašna može se objasniti izražena oksidativna stabilnost brašna od semena tikve. Između oksidativne stabilnosti sirovog brašna i termički tretiranog brašna uočavaju se vrlo male razlike, što je važno za mogućnost dalje primene brašna u proizvodnji namaza.

Na osnovu istraživanja Compaoré i sar. (2011), kapacitet apsorpcije vode različitih vrsta brašna nastalih mešanjem kukuruznog, pirinčanog, sojinog brašna i brašna od semena tikve nalazi se u opsegu vrednosti od 1 do 4 g/g uzorka. Razlike u kapacitetu apsorpcije vode mogu se objasniti odgovarajućim sadržajem hidrofilnih konstituenata, kao što su ugljeni hidrati koji vezuju više vode od proteina i lipida (Compaoré i sar., 2011). Mali kapacitet apsorpcije vode brašna od semena tikve, prikazan u tabeli 7, posledica je visokog sadržaja proteina u sastavu brašna (55,02%). Takođe, kapacitet apsorpcije vode zavisi od hidrofobnosti proteina, a proteine posmatranog brašna čine uglavnom globulini koji su nerastvorljivi u vodi (Čorbo i sar., 2007; El-Adawy i Taha, 2001; Peričin i sar., 2008). Nezanemarljiv udeo ulja u brašnu (15,41%) dodatno doprinosi malom kapacitetu apsorpcije vode brašna. Hemijski sastav brašna, pored uticaja na kapacitet apsorpcije vode, uslovljava i malu rastvorljivost brašna.

Termički tretman brašna na 70°C tokom 15 min nije značajno uticao na promene kapaciteta apsorpcije vode i rastvorljivosti brašna.

Tabela 7. Funkcionalne karakteristike brašna

Uzorak brašna	Indukcioni period±SD [h]	Kapacitet apsorpcije vode±SD [g/g]	Indeks rastvorljivosti brašna±SD [%]
Sirovo brašno	12,26±0,63	1,5124±0,06	3,3842±0,02
Osušeno brašno	13,52±0,25	1,5426±0,13	2,7261±0,10

5.1.6. Boja brašna

U tabeli 8 su prikazani parametri instrumentalnog određivanja boje brašna od semena tikve. Negativne vrednosti parametra a^* ukazuju na prisustvo zelenog tona u boji brašna, pozitivne vrednosti parametra b^* na prisustvo žutog tona. Nijansa boje definisana je uglom od $105,07^0$ i odgovara nijansi na prelazu žute u zelenu uz mali stepen čistoće boje od 24,34. Brašno od semena tikve golice prikazano je na slici 26.

Tabela 8. Parametri boje brašna od semena tikve golice

Parametri boje	Vrednost±SD
Svetloća, L^*	53,27±0,03
Udeo zelene, a^*	-6,33±0,03
Udeo žute, b^*	23,50±0,04
Čistoća boje, C^*	24,34±0,04
Nijansa boje, h	105,04±0,02

**Slika 26.** Brašno od semena tikve golice

5.1.7. Mikrobiološke karakteristike sirovina

Rezultati mikrobiološke analize sirovina primenjenih u proizvodnji namaza prikazane su u tabeli 9. Na osnovu rezultata uočava se da i sirovo i termički tretirano brašno sadrže aerobne bakterije u ukupnom broju bakterija kao posledica kontaminacije brašna tokom mlevenja, usled neizbežnog prisustva aerobnih bakterija u vazduhu. Termičkim tretmanom se postiže smanjenje broja aerobnih bakterija u ukupnom broju bakterija sa 10^7 na 10^6 cfu/g uzorka. Međutim, nakon termičkog tretmana dolazi do pojave i izvesnog broja anaerobnih bakterija (10^2 cfu/g) kao posledica kontaminacije tokom manipulacije brašnom. Nakon termičkog tretmana se broj sporogenih anaerobnih bakterija blago smanjuje sa $3 \cdot 10^1$ na 10^1 cfu/g. Izuzetno je značajno da prisustvo patogenih mikroorganizama iz porodice *Enterobacteriaceae* i prisustvo vrsta *Bacillus*

Cereus i *Clostridium perfringens*, koji su izazivači toksikoinfekcija, nije registrovano. Takođe, kvasaci i plesni nisu prisutni.

Vlakna, koja ulaze u sastav primenjenih zamenjivača masti, takođe ne sadrže patogene mikroorganizme. Vlakna zamenjivača masti MCG 611F odlikuju se većim stepenom čistoće sa mikrobiološkog aspekta u odnosu na vlakna zamenjivača masti WFG HS73. Kod mešavine pšeničnih vlakana i maltodekstrina, vlakana WFG HS73, registrovani su sporogeni aerobni i anaerobni mikroorganizmi pri malim razređenjima (tabela 9).

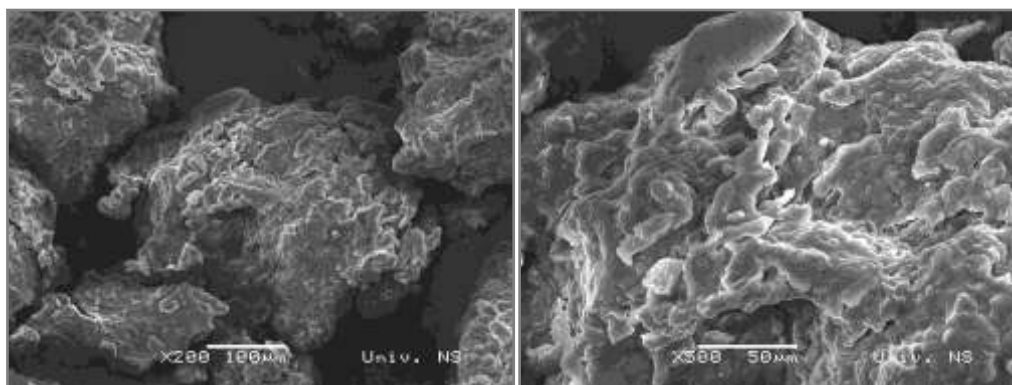
Tabela 9. Mikrobiološke karakteristike sirovina

Mikroorganizmi [cfu/g]	Sirovine			
	Sirovo brašno	Osušeno brašno	Vlakna MCG 611F	Vlakna WFG HS73
Ukupan broj bakterija				
• anaerobne	0	10 ²	1·10 ¹	1·10 ²
• aerobne	10 ⁷	10 ⁶	0	1·10 ⁵
Kvasci i plesni	0	0	0	0
<i>Enterobacteriaceae</i>	0	0	0	0
<i>Bacillus cereus</i>	0	0	0	0
<i>Clostridium perfringens</i>	0	0	0	0
Sporogeni aerobni	TDTC*	TDTC	0	4·10 ²
Sporogeni anaerobni	3·10 ¹	1·10 ¹	0	1·10 ²

* Too difficult to count (teško je odrediti)

5.1.8. Mikrostrukturalne karakteristike sirovina

Struktura brašna od semena tikve goliće snimljena skenirajućom elektronskom mikroskopijom prikazana je na slici 27.

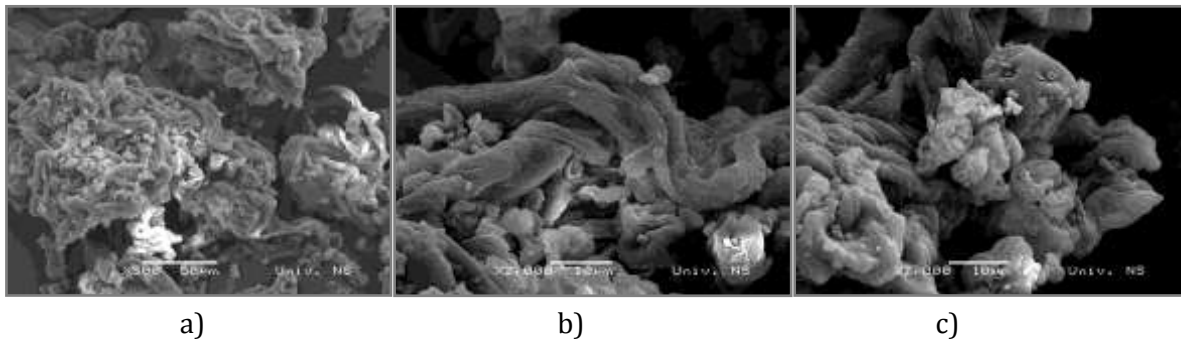


Slika 27. Mikrostruktura brašna od semena tikve

Čestice brašna su asimetričnog oblika sa grubom neravnom površinom. U strukturi čestica brašna dominiraju proteini i njihova izražena globularna organizacija uočljiva je pri uvećanju x500. Prisutno ulje oblaže površinu čestica brašna zbog čega čestice imaju izraženu tendenciju grupisanja i slepljivanja, što znatno otežava prosejavanje brašna.

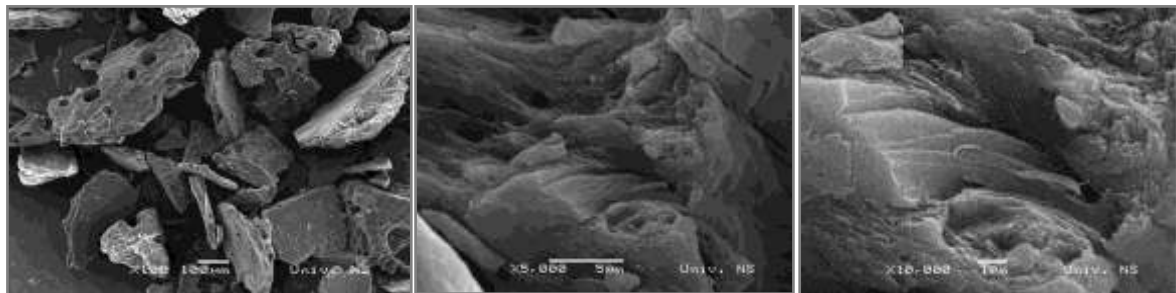
Strukturne karakteristike vlakana primenjenih zamenjivača masti takođe su snimljene skenirajućom elektronskom mikroskopijom. Uređenost vlakana WFG HS 73, koja čine 70% koloidnih pšeničnih vlakana i 30% maltodekstrina, prikazane su na

slikama 28. Prostorna organizacija WFG HS73 vlakana teži sklopčanoj (globularnoj) strukturi vlakana (slika 28a), gde se između dugih lanaca pšeničnih vlakana uklapaju manji molekuli maltodekstrina (slika 28b i 28c).



Slika 28. Mikrostruktura vlakana WFG HS73

Vlakna MCG 611F pokazuju drugačiju tendenciju prostorne organizacije. Vlakna, koja predstavljaju kombinaciju mikrokristalne celuloze i natrijum karboksimetil celuloze, teže linearnom povezivanju i obrazovanju lamelarnih struktura (slika 29).

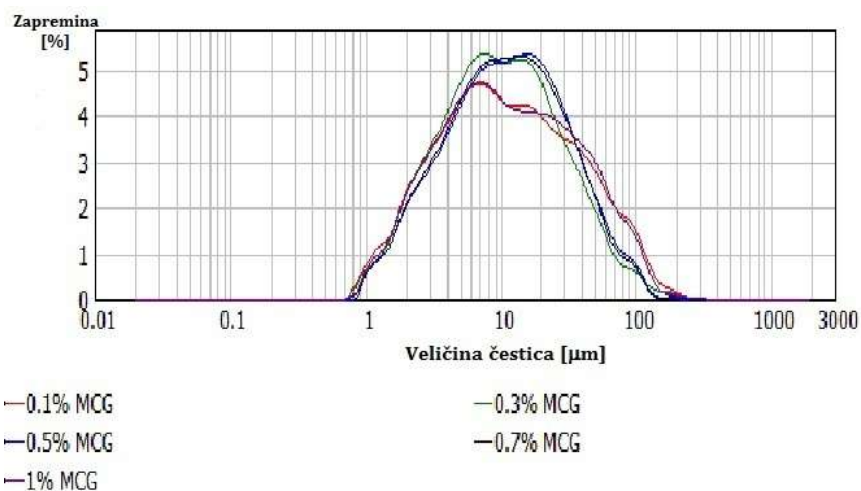


Slika 29. Mikrostruktura vlakana MCG 611F

5.2. Karakteristike kontinualne faze-zamenjivača masti

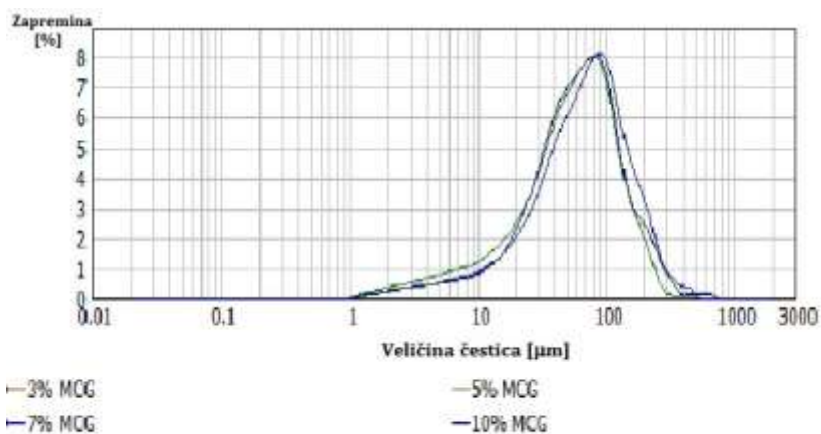
5.2.1. Raspodela veličina čestica zamenjivača masti

Kod disperznih sistema MCG zamenjivača masti koncentracija do 1% uočava se široka raspodela dimenzija čestica od 0,7 do 159 μm , malih udela od 0,14 do 3,99%. Širina raspodele ili span kod ovih sistema kreće se od 3,507 do 5,120. Srednji maseni prečnik zapreminske raspodele $D(v, 0.5)$ ukazuje da je 50% čestica dimenzija u rasponu od 9,848 do 11,369 pri porastu koncentracije MCG vlakana od 0,1 do 1% u disperznom sistemu. Na osnovu toga, zapreminski srednji prečnik MCG zamenjivača masti koncentracija od 0,1–1% kreće se od 17,006 do 22,296 μm (slika 30).



Slika 30. Raspodela veličina čestica MCG zamenjivača masti koncentracija do 1%

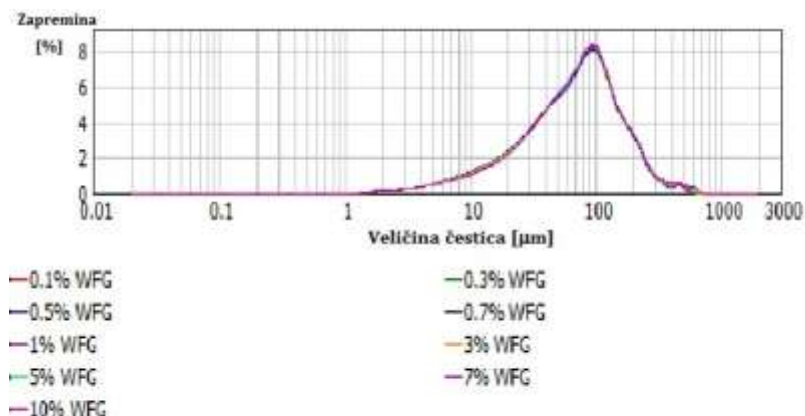
Sa porastom koncentracije MCG vlakana u disperznom sistemu iznad 1% dolazi do promene raspodele veličina čestica. Usled porasta koncentracije i intenzivnije interakcije hidratiranih vlakana, u odnosu na niskokontrovane sisteme do 1%, zastupljene su i čestice dimenzija iznad 159 μm , tačnije u rasponu dimenzija od 1,125 do 502,377 μm . Srednji zapreminski prečnik ovih sistema je od 36,755 do 89,089 μm sa porastom koncentracije vlakana od 3 do 10%. Pik raspodele veličina uočljiv je pri veličinama od 89,337 do 100,237 μm , tako da je u poređenju sa pikom niskokontrovanih sistema do 1% pomeren ka višim vrednostima. Širina raspodele ili span ovih sistema je smanjen i iznosi od 2,089 do 2,741 (slika 31).



Slika 31. Raspodela veličina čestica MCG zamenjivača masti koncentracija iznad 1%

Raspodela veličina čestica WFG zamenjivača masti specifična je po tome što ne zavisi od koncentracije vlakana u sistemu za razliku od MCG zamenjivača masti. Širina raspodele je ujednačena i za sisteme koncentracija od 0,1% do 10% iznosi od 2,228 do 2,312. Na osnovu srednjeg masenog prečnika zapreminske raspodele $D(v, 0.5)$ 50% čestica kod svih WFG sistema je u uskom rasponu od 70,851 do 73,914 μm . Zapreminski

srednji prečnik WFG zamenjivača masti takođe je u uskom intervalu, u zavisnosti od koncentracije, od 88,600 do 92,313 μm (slika 32).



Slika 32. Raspodela veličina čestica WFG zamenjivača masti

Na osnovu raspodele veličina čestica posmatrani zamenjivači masti su polidisperzni sistemi sa širokom raspodelom veličina. Uticaj porasta koncentracije vlakana u sistemu na raspodelu veličina čestica uslovljen je vrstom vlakana. Zamenjivači masti sa niskom koncentracijom MCG vlakana do 1% karakterišu se raspodelom veličina čestica koja teži bimodalnoj distribuciji. Porastom koncentracije iznad 1% postiže se raspodela veličina čestica koja teži normalnoj raspodeli. Težnja normalnoj raspodeli veličina čestica karakteristika je i WFG zamenjivača masti svih koncentracija. Međutim, polidisperznost, prostorna orijentacija, oblik i veličina strukturnih agregata vlakana značajno utiču na mogućnosti interakcija i sposobnost formiranja kompaktno strukturiranog sistema, odnosno značajno mogu da određuju reološke karakteristike sistema i mogućnost njegove primene.

5.2.2. Reološke karakteristike zamenjivača masti

5.2.2.1. Viskozitet razbalaženih disperznih sistema

Makromolekuli zamenjivača masti WFG HS73 u koncentracijama do 1% u vodenoj sredini obrazovali su slabo želirane forme. Radi karakterizacije ovih sistema određen je njihov unutrašnji viskozitet $[\eta]$ primenom jednačine po Huggins-u (Huggins, 1942; Gómez-Díaz i Navaza, 2003; Lazaridou i sar., 2003).

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k_1 [\eta]^2 c \quad (7)$$

Gde je η_{sp} specifični viskozitet, $\frac{\eta_{sp}}{c}$ redukovani viskozitet (η_{red}) i k_1 je bezdimenziona konstanta po Huggins-u i ukazuje na kvalitet rastvarača. Jednačina po

Huggins-u opisuje linearnu zavisnost između redukovano viskoziteta i koncentracije disperznog sistema (Pamies i sar., 2008; Kwaambwa i sar., 2007).

U cilju određivanja unutrašnjeg viskoziteta $[\eta]$ pomoću navedene jednačine izračunat je prethodno relativni viskozitet sistema na osnovu izraza:

$$\eta_r = \frac{\eta_{\text{disperzije}}}{\eta_{\text{rastvarača}}} = \frac{t_1 \cdot \rho_1}{t_0 \cdot \rho_0} \quad (8)$$

gde je t_1 vreme isticanja disperzije, t_0 vreme isticanja rastvarača, ρ_1 gustina disperzije, ρ_0 gustina rastvarača.

Specifični viskozitet izračunat je pomoću relativnog viskoziteta i jednačine:

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 \quad (9)$$

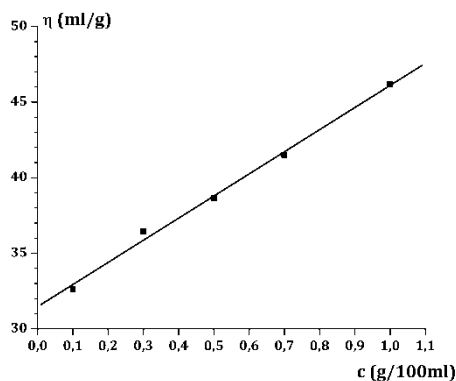
Vrednost unutrašnjeg viskoziteta određena je grafičkim putem ekstrapolacijom redukovano viskoziteta $\frac{\eta_{sp}}{c}$ na nulu koncentracije.

Vreme isticanja čistog rastvarača, odnosno destilovane vode je $t_0=31,09$ s, a gustina $d_0=0,9968$ g/cm³.

Rezultati merenja viskoziteta disperznih sistema zamenjivača masti WFG HS73 ispitivanih koncentracija pomoću Ubelodeovog viskozimetra prikazani su u tabeli 10, a zavisnost redukovano viskoziteta od koncentracije izražena jednačinom po Huggins-u prikazana je na grafiku 1.

Tabela 10. Vrednosti viskoziteta za sisteme zamenjivača masti WFG HS73 koncentracija do 1%

Koncentracija sistema c [g/100 ml]	Vreme isticanja [s]	Gustina [g/ml]	η_r	$\eta_{sp}=\eta_r-1$	$\eta_{red}=\eta_{sp}/c$ [ml/g]
0,1	32,03	0,9912	1,0326	0,0326	32,63
0,3	34,42	0,9987	1,1093	0,1093	36,43
0,5	36,98	0,9998	1,1932	0,1932	38,65
0,7	39,94	1,0013	1,2905	0,2905	41,49
1	45,21	1,0020	1,4618	0,4618	46,18



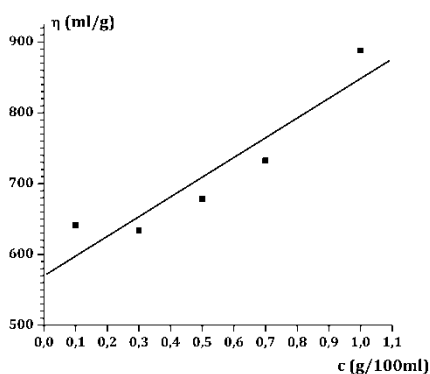
Grafik 1. Zavisnost redukovano viskoziteta od koncentracije zamenjivača masti WFG HS73

Primenom linearne regresije, uz visok koeficijent determinacije $r=0,9977$, na prikazanoj zavisnosti određen je odsečak na ordinati koji predstavlja vrednost unutrašnjeg viskoziteta ispitivanog sistema i iznosi $[\eta]=31,4666$ ml/g.

Slično ponašanje karakteristično je i za disperzne sisteme zamenjivača masti MCG 611F. Koncentracije MCG 611F do 1% formirale su slabe gel sisteme čije su reološke karakteristike predstavljene vrednostima η_{rel} , η_{sp} , η_{red} i $[\eta]$ (tabela 11 i grafik 2).

Tabela 11. Vrednosti viskoziteta za sisteme zamenjivača masti MCG 611F koncentracija do 1%

Koncentracija sistema c [g/100 ml]	Vreme isticanja [s]	Gustina [g/ml]	η_r	$\eta_{sp}=\eta_r-1$	$\eta_{red}=\eta_{sp}/c$ [ml/g]
0,1	50,89	0,9994	1,6411	0,6411	641,13
0,3	89,91	0,9997	2,9003	1,9003	633,45
0,5	136,03	1,0002	4,3903	3,3903	678,06
0,7	189,59	1,0016	6,1275	5,1275	732,49
1	304,73	1,0047	9,8792	8,8792	887,92



Grafik 2. Zavisnost redukovanog viskoziteta od koncentracije zamenjivača masti MCG 611F

Na osnovu prikazane zavisnosti, ekstrapolacijom na nulu koncentracije očitana vrednost unutrašnjeg viskoziteta ispitivanog sistema je $[\eta]=569,8465$ ml/g.

Unutrašnji viskozitet je parametar koji omogućava karakterizaciju dimenzija i konfiguracije polimera u rastvoru (Nandi i sar., 2007). Posmatrano sa hidrodinamičkog aspekta, unutrašnji viskozitet ukazuje na zapreminski udeo makromolekula i stepen okupiranosti prostora u disperznom sistemu (Lazaridou i sar., 2003). Vrednost unutrašnjeg viskoziteta polidisperznog sistema rezultat je frikcionih karakteristika makromolekula u rastvoru i predstavlja prosečnu vrednost, odnosno individualni molekuli različitih molekulskih masa doprinose viskozitetu razblaženog rastvora srazmerno udelu u rastvoru (Dokić, 1992).

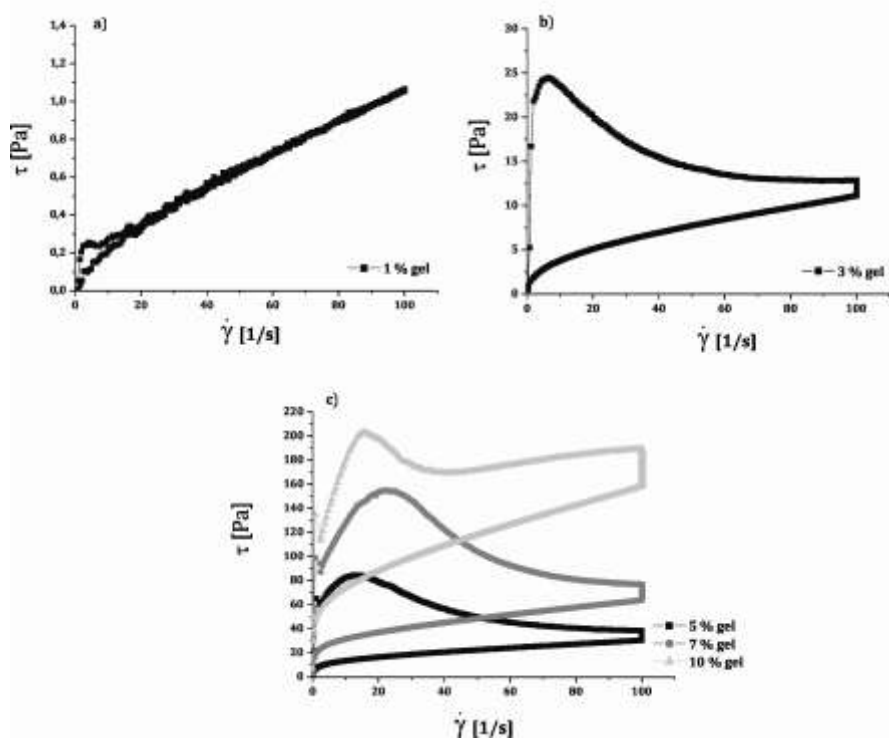
Pojedinačni kristali celuloznih vlakana izgrađeni su od velikog broja glukopiranoznih jedinica. Stepem polimerizacije mikrokristalne celuloze je izuzetno veliki $DP>15000$. Dužina lanaca, odnosno stepen polimerizacije direktno proporcionalno utiče na sposobnost hidratacije i viskozitet sistema. Isti doprinos viskozitetu sistema ima i stepen supstitucije (DS), koji olakšava vezivanje molekula vode i formiranje hidrokoloidnog omotača. Prisustvo natrijum karboksimetil celuloze u sastavu zamenjivača masti MCG 611F dodatno doprinosi procesu hidratacije makromolekula

(Hoefler, 2004). Značajno veća vrednost unutrašnjeg viskoziteta disperznog sistema MCG 611F ($[\eta]=569,8465$ ml/g) u odnosu na disperziju zamenjivača masti WFG HS73 ($[\eta]=31,4666$ ml/g) ukazuje na intenzivniju hidrataciju makromolekula mikrokristalne celuloze. vlakna MCG 611F pri vrlo niskim koncentracijama vezuju mnogo brže veći broj molekula vode u odnosu na makromolekule pšeničnih vlakana i maltodekstrina koji čine zamenjivač masti WFG HS73. Pri tome vlakna MCG 611F formiraju u okolnom prostoru hidrokolidni vodeni omotač koji smanjuje međumolekularni prostor i povećava međumolekularnu frikciju i mogućnost međusobne interakcije makromolekula u vodenoj sredini. Međutim, tako niske koncentracije obe vrste makromolekula nisu dovoljne za formiranje stabilnih umreženih gel struktura, tako da se između slabo želiranih zona nalazi još uvek velika količina dostupne vode.

Ova sposobnost vlakana MCG 611F uočljiva je i na osnovu raspodele veličina čestica MCG zamenjivača masti koncentracija do 1% (slika 29). Tok hidratacije vlakana ispoljava se širokom raspodelom veličina čestica pri porastu koncentracije od 0,1 do 1%, dok je raspodela veličina čestica WFG zamenjivača masti uska i nezavisna od koncentracije vlakana (slika 31).

5.2.2.2. Viskozitet koncentrovanih disperznih sistema

Disperzije zamenjivača masti celuloznog porekla koncentracija od 1% i viših formirale su u vodenoj sredini jače strukture od slaboželirajućih formi, tako da su se reološka svojstva ovih sistema mogla definisati pomoću krivih proticanja. Krive proticanja disperzija zamenjivača masti MCG 611F prikazane su na slici 33.



Slika 33. Krive proticanja zamenjivača masti MCG 611F koncentracija a) 1%, b) 3%, c) 5, 7 i 10%

Na krivu proticanja disperznog sistema sa 1% MCG 611F primenjen je model proticanja opisan izrazom po Herschel-Bulkley-u $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$ (Mezger, 2002; Luukkonen i sar., 2001). U datom modelu proticanja τ je napon smicanja [Pa], $\dot{\gamma}$ brzina smicanja [1/s], τ_0 prinosni napon [Pa], K koeficijent konzistencije [Pasⁿ] i n je bezdimenzioni indeks proticanja (Maache-Rezzoug i sar., 2010). Dobijeni su visoki koeficijenti podudarnosti (r) sa jednačinom modela i za uzlazni i za silazni deo krive i očitani su reološki parametri prikazani u tabeli 12.

Tabela 12. Reološki parametri krivih proticanja zamenjivača masti MCG 611F

Koncentracija gela [%]	Jednačina po Herschel-Bulkley-u $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$							
	Uzlazna kriva				Silazna kriva			
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r
1	0,148±0,02	0,075±0,01	0,727±0,01	0,9992	0,024±0,01	0,059±0,01	0,762±0,01	0,9996
Reološki parametri krivih proticanja								
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$\tau_c \pm SD$ [Pa]	$\dot{\gamma}_c \pm SD$ [1/s]	$A_0 \pm SD$ [Pa/s]				
3	0,546±0,05	22,875±3,10	7,433±0,04	784,00±98,85				
5	2,195±0,01	79,435±7,02	13,160±0,24	2909,00±62,45				
7	5,521±1,42	162,133±8,06	20,687±3,09	6037,33±509,56				
10	7,203±0,50	208,367±26,44	19,16±1,99	6717,33±567,71				

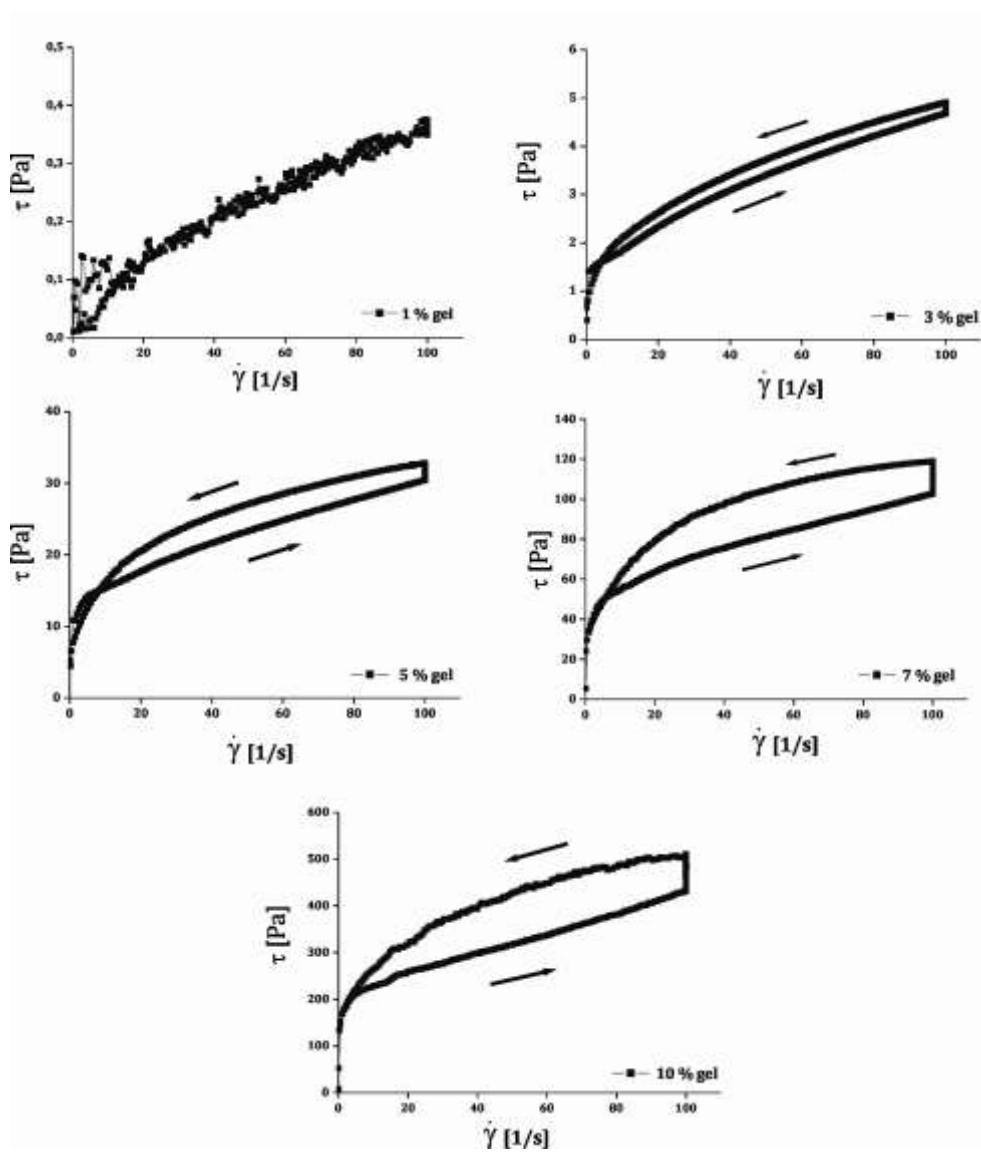
Prinosni napon je minimalna vrednost napona potrebna sistemu da bi počeo da protiče (Ghannam i Esmail, 1997). Indeks proticanja opisuje stepen nenjutnovskog ponašanja sistema i njegova vrednost manja od 1 ukazuje na pseudoplastični karakter proticanja. Pseudoplastično proticanje karakteristika je sistema sa solvatisanim asimetričnim koloidnim česticama, rastvora razgranatih ili linearnih makromolekula i sl. (Đaković, 1990). Na osnovu vrednosti prinosnog napona i koeficijenta konzistencije posmatrani sistem je relativno slabe konzistencije. Koncentracija zamenjivača masti MCG 611F od 1% može se nazvati prelaznom koncentracijom između slaboželirajućih formi disperzija i stabilnih gel struktura.

Sve prikazane krive proticanja zamenjivača masti MCG 611F karakteristične su po viskoelastičnoj strukturi sa tiksotropnim tipom proticanja, koji je opisan površinom histerezisne petlje. Jačinu strukture reološkog sistema moguće je pretpostaviti na osnovu izgleda i površine histerezisne petlje. Pri povećanju brzine smicanja dolazi do razrušavanja unutrašnje strukture, a nakon smanjenja brzine smicanja do strukturacije i oporavljanja reološkog sistema. U prisustvu slabih sekundarnih veza dolazi do lakog razrušavanja strukture, što se manifestuje malom površinom histerezisne petlje. Prema tome, veća površina ukazuje na kompleksnu strukturu reološkog sistema, kao i na mogućnost nastanka značajnih promena u strukturi tokom dejstva napona smicanja (Segura, 1995). Površina histerezisne petlje ima dimenzije energije u datoj zapremini, odnosno energije potrebne za razrušavanje strukture sistema (Ghannam i Esmail, 1997).

Vlakna mikrokristalne celuloze usled izražene sposobnosti hidratacije i povećanja zapremine u vodenoj sredini se vrlo lako međusobno povezuju, što generalno vodi ka umrežavanju i obrazovanju trodimenzionalne gel strukture (Hoefler, 2004). Pri porastu

koncentracije MCG vlakana povećava se i stepen umrežavanja, odnosno jačina gel strukture sistema, što se odražava i na znatni porast vrednosti površina histerezisne petlje. Uzlazne krive MCG gela koncentracija iznad 1% na kritičnim brzinama smicanja ($\dot{\gamma}_c$) i pri kritičnim naponima smicanja (τ_c) imale su pik koji ukazuje na razrušavanje njihove strukture nakon čega sistem slobodno protiče. Ove krive proticanja, usled složenosti, nisu definisane matematičkim modelom proticanja, već su očitani karakteristični reološki parametri prikazani u tabeli 12. Vrednosti kritične brzine smicanja i kritičnih napona smicanja povećavaju se sa porastom koncentracije MCG vlakana u sistemu. Takođe, dolazi do porasta vrednosti prinosnog napona, odnosno početnog otpora proticanju i porasta površine histerezisne petlje.

Krive proticanja zamenjivača masti WFG HS73 koncentracija od 1–10% prikazane su na slici 34.



Slika 34. Krive proticanja zamenjivača masti WFG HS73 koncentracija od 1 do 10%

Krive proticanja WFG HS73 gela, za razliku od MCG 611F gela istih koncentracija, su sa visokim koeficijentima determinacije i u uzlaznom i u silaznom delu krive odgovarale modelu proticanja po Herschel–Bulkley–u. Reološki parametri relevantni za definisanje proticanja ovih gela prikazani su u tabeli 13.

Tabela 13. Reološki parametri krivih proticanja zamenjivača masti WFG HS73

Koncentracija gela [%]	Jednačina po Herschel–Bulkley–u $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$				
	Uzlazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	
1	0,073±0,02	0,005±0,001	0,926±0,14	0,9856	
3	0,475±0,06	0,454±0,03	0,483±0,01	0,9951	
5	4,551±0,44	4,810±0,54	0,370±0,01	0,9932	
7	5,809±1,43	25,190±1,68	0,288±0,01	0,9919	
10	36,717±3,74	77,143±3,12	0,338±0,01	0,9763	
	Silazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	$A_0 \pm SD$ [Pa/s]
1	0,037±0,01	0,009±0,002	0,852±0,12	0,9847	-1,736±0,69
3	0,658±0,07	0,489±0,03	0,475±0,006	0,9996	-28,937±14,30
5	5,390±0,13	4,923±0,49	0,392±0,007	0,9952	-290,13±46,66
7	23,967±0,21	17,287±0,68	0,389±0,009	0,9890	-1752,33±107,82
10	72,383±7,16	50,477±3,22	0,446±0,08	0,9972	-5456,67±1202,60

Na osnovu koeficijenta konzistencije K uočava se porast viskoznosti sistema sa porastom koncentracije WFG HS73 vlakana u sistemu, dok povećanje vrednosti prinosnog napona τ_0 ukazuje na porast početnog otpora proticanju. Specifično je da indeks proticanja n opada sa porastom koncentracije vlakana, odnosno raste nenjutnovski karakter sistema.

Krive proticanja WFG gela koncentracija iznad 1% specifične su i po antitiksotropnom ponašanju tokom delovanja napona smicanja (slika 31). Antitiksotropni tip proticanja je Nenjutnovsko proticanje, suprotno od tiksotropnog ponašanja disperznih sistema, koje se reflektuje povećanjem napona smicanja odnosno viskoziteta tokom vremena. Uzrok ovakvog ponašanja je uspostavljanje izvesne unutrašnje strukture vezama koje se oslobađaju tokom smicanja i tokom prvobitnog ograničenog razrušavanja strukture (Wang i sar., 2011; Đaković, 1990). Unutar globularno organizovane strukture WFG vlakana, prikazane na slici 25, pod dejstvom sila smicanja dolazi do razmotavanja globula i linearne orijentacije vlakana, što omogućava formiranje sekundarnih veza i naknadno strukturiranje. Antitiksotropno proticanje ispoljava se kao negativna vrednost površine histerezisne petlje koja ukazuje da se silazna kriva nalazi iznad uzlazne krive u dijagramu zavisnosti napona smicanja od brzine smicanja (Ghannam i Esmail, 1997). Sa porastom koncentracije WFG vlakana povećava se i apsolutna vrednost površine histerezisne petlje.

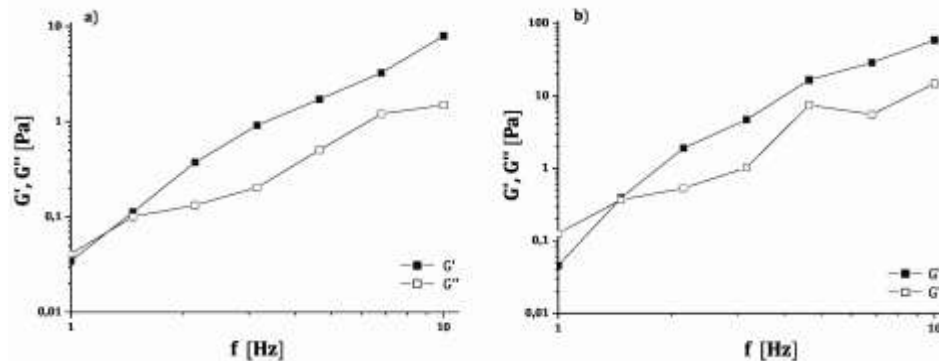
Veće apsolutne vrednosti površine histerezisne petlje MCG gel sistema u poređenju sa WFG disperznim sistemima istih koncentracija ukazuju na jaču strukturu MCG gela i veći stepen uređenosti. Početni otpor proticanju takođe opisuje stepen uređenosti sistema i uslovljen je mehaničkim (frikicionim) interakcijama čestica (Servais i sar., 2002). Globularna organizacija WFG vlakana u vodenoj sredini uz prilično ujednačenu raspodelu veličina doprinela je višim vrednostima prinosnog napona WFG

gela u odnosu na MCG gel. Veća kompaknost strukture MCG gela usled izraženije polidisperznosti i usmerene prostorne organizacije čestica uočljiva je kod gela visoke koncentracije od 10% na osnovu izražene razlike prinosnih napona MCG i WFG gela.

5.2.2.3. Viskoelastične karakteristike zamenjivača masti

Viskoelastično ponašanje zamenjivača masti definisano je pomoću dinamičkih oscilatornih merenja i ispitivanjem puzavosti sistema. Obe vrste merenja izvedene su u linearnom viskoelastičnom režimu pri vrednostima napona koje ne deluju destruktivno na strukturu sistema.

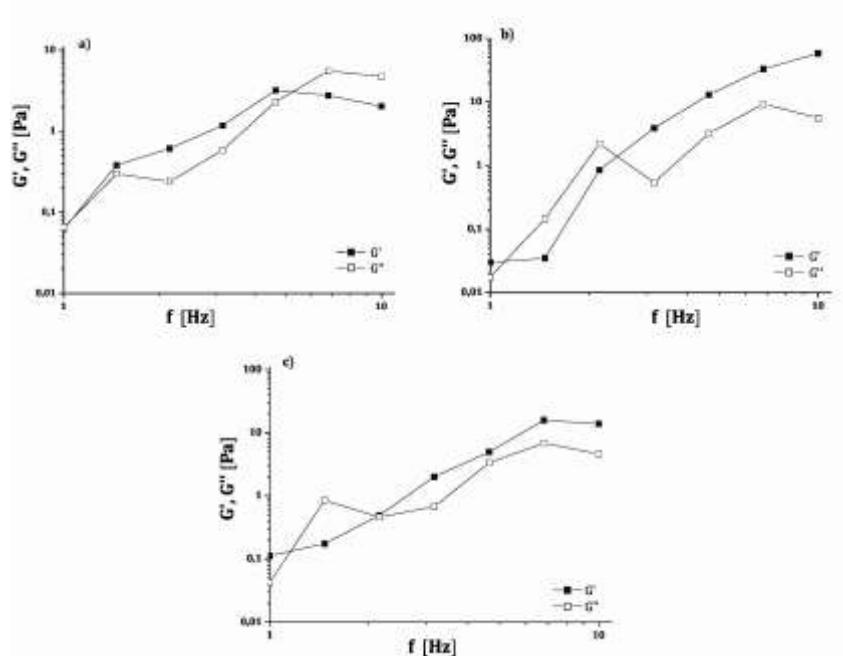
Zavisnost modula elastičnosti G' i modula viskoznosti G'' od frekvencije karakteristična je za sve posmatrane sisteme po porastu vrednosti ovih modula sa porastom frekvencije. Pri tome se uočava izraženiji i brži porast vrednosti modula sa porastom frekvencije kod zamenjivača masti niskih koncentracija (0,1–1%) u odnosu na promene vrednosti modula kod sistema koncentracija iznad 1%. Formiranje elastične umrežene gel strukture, kod koje je $G' > G''$, zavisi od koncentracije i vremena želiranja. Pri dostizanju viskoelastičnih svojstava gela, moduli G' i G'' postaju manje zavisni od frekvencije (Ghotra i sar., 2002). Vrednosti modula G' i G'' sa porastom frekvencije pojedinih disperznih sistema zamenjivača masti niskih koncentracija prikazani su na slici 35.



Slika 35. Promene modula G' i G'' sa porastom frekvencije kod disperzija a) MCG vlakana koncentracije 0,5% i b) WFG vlakana koncentracije 0,5%

Dijagrami promene modula G' i G'' sa porastom frekvencije od 1 do 10 Hz i kod MCG i kod WFG zamenjivača masti niskih koncentracija, od 0,1 do 1%, specifični su i po izjednačenju vrednosti modula pri određenim frekvencijama, tzv. ukrštanju modula. Frekvencija ukrštanja (crossover frequency) ukazuje na transformaciju viskoelastične tečnosti u viskoelastični gel sistem (Ghotra i sar., 2002). Takođe, na dijagramima promene modula niskokonzentrovanih zamenjivača masti u oblasti primenjene frekvencije uočljivi su viskozni region promene u kome dominira viskozno ponašanje ($G'' > G'$), zatim tranziciona oblast izjednačenja vrednosti modula i plato region u kome moduo G' prevlađuje nad modulom G'' i ukazuje na pojavu elastičnih svojstava i obrazovanje slabo želiranih viskoelastičnih struktura.

Pri visokim frekvencijama kod pojedinih sistema niskih koncentracija uočljiva je i oblast visoke tranzicije u kojoj se moduo viskoznosti ponovo povećava i ostvaruje se još jedno izjednačenje vrednosti modula – crossover. To je karakteristika disperznih sistema sa 0,1% MCG, 0,1% WFG i 0,3% WFG vlakana (slika 36).



Slika 36. Promene modula G' i G'' sa porastom frekvencije kod disperzija a) MCG vlakana koncentracije 0,1%, b) WFG vlakana koncentracije 0,1% i c) WFG vlakana koncentracije 0,3%

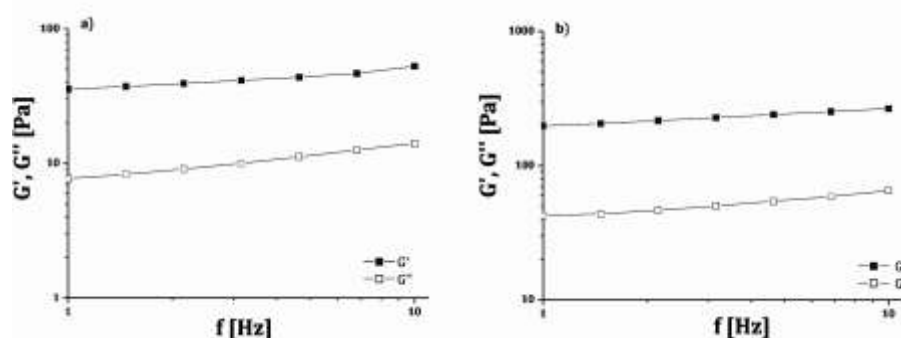
Vrlo niske koncentracije vlakana u vodenoj sredini, nizak stepen povezanosti makromolekula i značajan višak tečne faze doprinose izuzetnoj nestabilnosti i slaboj strukturi sistema, odnosno dominaciji viskoznih svojstava karakterističnih za tečne sisteme. Ova svojstva disperznih sistema uočljiva su kod primene WFG vlakana sve do koncentracije 0,3%, a kod primene MCG vlakana samo pri koncentraciji od 0,1%, što je posledica manje sposobnosti hidratacije i međusobnog povezivanja WFG vlakana u odnosu na MCG vlakna. Takođe, kod disperznih sistema MCG vlakana slabo želirane strukture obrazuju se pri koncentracijama do 1%, dok kod primene WFG vlakana i disperzni sistem sa 3% WFG vlakana ima osobine slabo strukturirane viskoelastične tečnosti na osnovu dinamičkih oscilatornih merenja. Vrednosti modula G' i G'' pri ukrštanju, kao i broj i vrednosti crossover frekvencija za ispitane disperzne sisteme zamenjivača masti prikazane su u tabeli 14.

Tabela 14. Vrednosti modula i crossover frekvencija zamenjivača masti

Koncentracija i vrsta zamenjivača masti [%]	Crossover $G'=G''$ [Pa]	Crossover frekvencija f [Hz]
0,1 MCG	0,115	1,079
0,3 MCG	3,044	5,364
0,5 MCG	0,232	1,207
0,7 MCG	0,812	1,277
1 MCG	0,795	1,339
0,1 WFG	0,403	2,117
0,3 WFG	0,032	1,148
0,5 WFG	1,979	2,531
0,7 WFG	0,139	1,196
1 WFG	0,476	2,116
	0,368	1,437
	0,654	1,651
	0,997	2,686

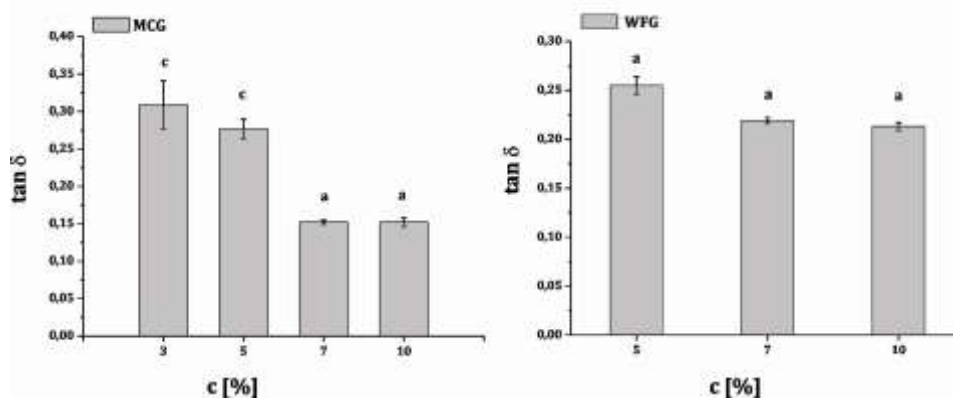
Zamenjivači masti sa koncentracijom MCG vlakana iznad 1% imaju tipičan plato region u dijagramu zavisnosti modula G' i G'' od primenjenih frekvencija. S obzirom na visok stepen determinacije ($r=0,9918-0,9952$) mogu se dobiti značajne linearne zavisnosti. Vrednosti modula elastičnosti G' su u oblasti primenjenih frekvencija uvek veće od vrednosti modula viskoznosti G'' (slika 37). Takvo viskoelastično ponašanje je tipično za koncentrovane sisteme kod kojih dolazi do formiranja umrežene gel strukture (Hayati i sar., 2007). Slično ponašanje tokom nedestruktivnih oscilatornih merenja imali su i zamenjivači masti sa koncentracijom WFG vlakana većom od 3%.

Dominacija modula viskoznosti nad modulom elastičnosti pri niskim koncentracijama vlakana u sistemu (do 1%) posledica je uticaja hidrodinamičkih sila i nedostatka interakcije čestica. Sa povećanjem zapreminskog udela čestica, odnosno čvrste faze gela dešava se izraženi porast modula elastičnosti i njegova dominacija (Luckham i Ukeje, 1999). Veći udeo vlakana u sistemu omogućava veću međumolekularnu interakciju, doprinosi umrežavanju, povećanju udela elastičnih komponenti u sistemu i ukazuje na obrazovanje stabilnih umreženih gel struktura. Promene modula pojedinih zamenjivača masti koncentracija iznad 1% prikazane su na slici 37.



Slika 37. Promene modula G' i G'' sa porastom frekvencije kod gel sistema sa a) 5% MCG vlakana, b) 5% WFG vlakana

Dodatni parametar koji opisuje viskoelastičnu prirodu sistema je $\tan \delta$ definisan kao odnos G''/G' i mera je relativne magnitute viskoznih i elastičnih delova sistema. Priroda sistema je elastičnija, što su vrednosti $\tan \delta$ niže (Tadros, 2004). Vrednosti parametra $\tan \delta$ u zavisnosti od vrste zamenjivača masti i koncentracije vlakana prikazane su na slici 38.

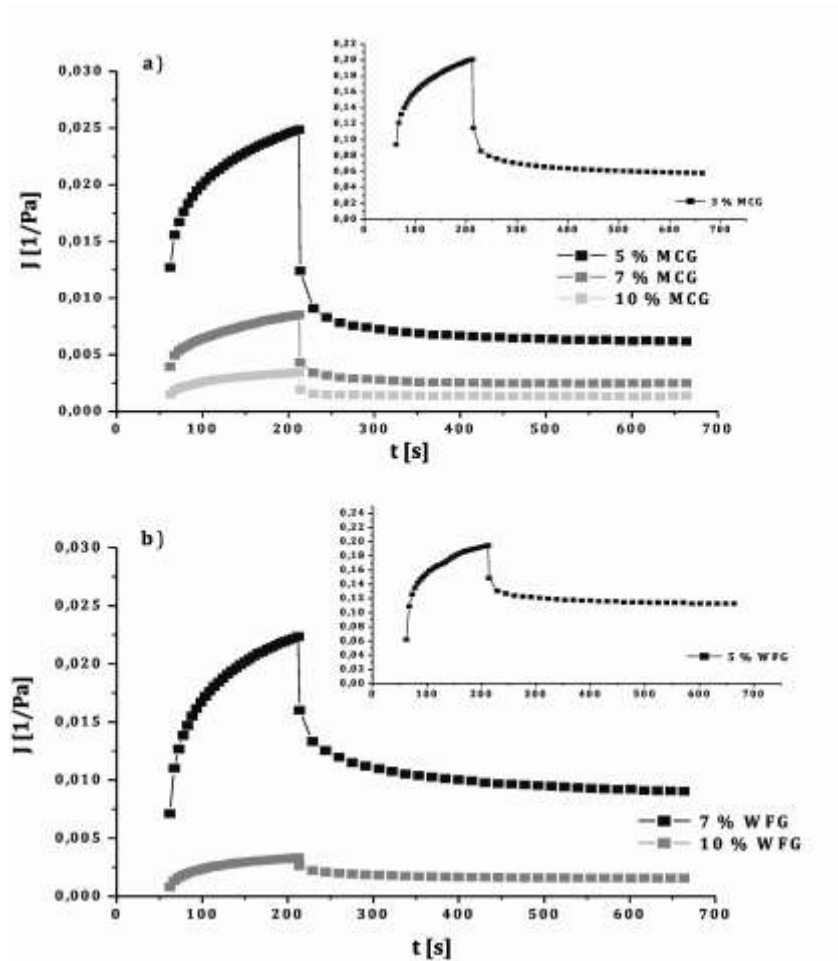


Slika 38. Vrednosti $\tan \delta$ MCG i WFG zamenjivača masti u zavisnosti od koncentracije vlakana

Odnos između veza elastične i viskozne prirode ($\tan \delta$) kod ovih sistema, bez obzira na vrstu primenjenih vlakana, bio je manji od 1. Vrednosti $\tan \delta$ za gel sisteme sa WFG vlaknima su u opsegu od 0,213 do 0,255 i između njih nije uočena statistički značajana razlika ($p > 0,05$), na osnovu primenjene analize varijansi i Duncan–ovog testa poređenja srednjih vrednosti. Vrednosti ovog parametra kod zamenjivača masti sa MCG vlaknima statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$). Pri visokim koncentracijama MCG vlakana, 7 i 10%, $\tan \delta$ je manji za 45,13–50,81% u odnosu na gel sisteme sa 3 i 5% vlakana.

Na osnovu toga, zamenjivači masti posmatranih koncentracija iznad 1% su viskoelastični sistemi sa dominantnim vezama elastične prirode, manje ili više izražene krutosti sistema, ali sa sličnim ponašanjem.

Viskoelastična svojstva dobijenih gel sistema pod dejstvom konstantnog napona određena su pomoću krivih puzanja. Pod uticajem konstantnog napona intermolekularne veze u uzorku se istežu. Početna popustljivost (J_0) je vezana za inicijalne elastične deformacije, a naknadna popustljivost sistema (J_1) za deformacije viskoelastične prirode. Ova faza opisana je prvim delom krive puzanja. Faza puzanja praćena je fazom oporavka, u kojoj nema dejstva napona i tokom koje se uspostavlja ravnoteža između intermolekularnih veza, a sistem delimično oporavlja od dejstva napona. Otpor viskoelastičnih materijala dejstvu konstantnog napona je obično nelinearnog karaktera i trajna deformacija ovih sistema je obično manja od ukupne deformacije primenjene na sistem usled njihove mogućnosti da oporave značajan deo strukture uskladištenom energijom (Evageliou i sar., 1997; Steffe, 1996). Krive puzanja zamenjivača masti koncentracija iznad 1%, prikazane na slici 39, odgovaraju tipičnim krivama puzanja viskoelastičnih sistema.



Slika 39. Krive puzanja gel struktura a) MCG i b) WFG zamenjivača masti

Povećanjem koncentracije vlakana kod obe vrste zamenjivača masti došlo je do opadanja popustljivosti sistema pod dejstvom napona. Intenzivnije umrežavanje pri visokim koncentracijama vlakana doprinelo je stabilnosti strukture gela i čvrstini njihove konzistencije. Dobijene krive puzanja se uz visok koeficijent determinacije, $r > 0,99$, pokoravaju jednačinama Burgers-ovog modela. Promene karakterističnih parametara krivih puzanja usled povećanja koncentracije vlakana u gelu prikazane su u tabeli 15. Srednje vrednosti su poređene Duncan-ovim testom sa rizikom određivanja od 5%.

Tabela 15. Parametri Burgers–ovog modela za krive puzanja zamenjivača masti

Koncentracija i vrsta gela [%]	Faza delovanja napona					
	$J_0 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-3}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_{max} \cdot 10^3 \pm SD$ [1/Pa]	
3 % MCG	92,55±1,66 ^d	64,63±1,83 ^d	1,09±0,03 ^a	92,39±0,15 ^a	195,84±5,36 ^d	
5 % MCG	12,68±0,08 ^c	8,13±0,24 ^c	8,70±0,20 ^b	92,35±0,06 ^a	24,20±0,59 ^c	
7 % MCG	4,38±0,49 ^b	2,99±0,21 ^b	23,53±1,58 ^c	92,33±0,01 ^a	9,05±0,62 ^b	
10 % MCG	1,45±0,07 ^a	1,14±0,008 ^a	61,35±0,41 ^d	92,45±0,04 ^a	3,50±0,06 ^a	
5 % WFG	93,79±8,92 ^c	109,93±14,4 ^c	1,26±0,20 ^a	92,46±0,15 ^a	267,33±50,33 ^c	
7 % WFG	6,13±1,05 ^b	6,32±1,06 ^b	11,01±1,05 ^b	92,38±0,15 ^a	19,81±3,40 ^b	
10 % WFG	0,87±0,14 ^a	0,98±0,15 ^a	9,14±1,99 ^b	92,35±0,08 ^a	3,23±0,74 ^a	
	Faza oporavka					
	$J_0 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-3}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_e/J_{max} \pm SD$ [%]	$J_v/J_{max} \pm SD$ [%]
3 % MCG	110,97±3,81 ^c	18,36±0,79 ^b	1,23±0,09 ^a	288,53±0,06 ^a	71,25±0,50 ^a	28,75±0,49 ^a
5 % MCG	11,03±1,21 ^b	1,50±0,06 ^a	16,85±1,05 ^b	288,47±0,12 ^a	83,12±0,71 ^b	16,88±0,72 ^b
7 % MCG	4,77±0,65 ^a	1,07±0,06 ^a	24,03±1,31 ^b	288,50±0,10 ^a	64,77±0,64 ^a	35,25±0,62 ^a
10 % MCG	2,05±0,12 ^a	0,61±0,15 ^a	41,05±5,99 ^c	288,57±0,06 ^a	61,87±0,81 ^a	38,13±0,81 ^a
5 % WFG	208,93±26,73 ^b	63,06±3,57 ^b	4,23±1,83 ^a	288,57±0,15 ^a	38,34±4,45 ^a	61,66±4,45 ^a
7 % WFG	13,86±1,36 ^a	2,73±0,56 ^a	86,22±1,63 ^b	288,60±0,10 ^a	59,67±2,84 ^b	39,33±1,32 ^b
10 % WFG	21,99±1,78 ^a	4,23±0,83 ^a	152,67±9,16 ^c	288,53±0,15 ^a	51,70±1,09 ^c	48,30±1,09 ^c

^{a-c} Srednje vrednosti za istu vrstu gela praćene različitim slovom statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$)

Kod MCG zamenjivača masti sve vrednosti parametra puzavosti J_0 , J_1 i J_{max} sa povećanjem koncentracije vlakana su se smanjile. Njutnovski viskozitet η_0 , koji ukazuje na viskozitet sistema, veći je kod gela sa 7 i 10% MCG vlakana za ceo red veličine u odnosu na gele sa 3 i 5% vlakana. Između udela elastičnih deformacija (J_e/J_{max}) i udela viskoznih deformacija (J_v/J_{max}) u maksimalnoj popustljivosti gela postoje male statistički značajne razlike. Dorinos deformacija elastične prirode nakon faze oporavka sistema je u opsegu od 61,87 do 83,12%, odnosno veći od doprinosa viskoznih deformacija.

Slična tendencija opadanja parametara puzavosti J_0 , J_1 i J_{max} sa porastom koncentracije vlakana, odnosno tendencija smanjenja popustljivosti sistema i porasta viskoziteta javila se i kod WFG zamenjivača masti. Između vrednosti njutnovskog viskoziteta gela sa 7 i 10% WFG vlakana tokom faze dejstva napona nije uočena statistički značajna razlika ($p > 0,05$), kao ni između pojedinih parametara puzavosti tokom faze relaksacije sistema (tabela 15), što ukazuje na sličnost ovih gela u ponašanju pod dejstvom konstantnog napona. Balans između elastičnih i viskoznih deformacija nakon faze oporavka WFG gel sistema uspostavljen je relativno ujednačenom raspodelom njihovih udela.

Na osnovu toga, posmatrani zamenjivači masti pri dejstvu konstantnog napona pružaju izvestan otpor i ispoljavaju svojstva puzavosti. Tokom faze relaksacije pokazuju značajnu sposobnost oporavka. Struktura zamenjivača masti sa WFG vlaknima u odnosu na zamenjivače masti sa MCG vlaknima iste koncentracije na osnovu većih vrednosti maksimalne popustljivosti više je podložna deformacijama (tabela 15). U skladu sa tim i viskozitet WFG gel sistema tokom delovanja napona je za 53,20–85,53% manji od viskoziteta MCG gel sistema.

5.2.3. Teksturalne karakteristike zamenjivača masti

Analize viskoelastičnih osobina gel strukture ostvaruju se pri malim defomacijama i u uslovima u kojima se ne narušava struktura. Industrijski procesi, kao i primena gela, često zahtevaju primenu velikih napona. Stoga su testovi velikih deformacija vrlo korisni u karakterizaciji gel sistema i obično su u mnogo boljoj korelaciji sa senzorskim karakteristikama u odnosu na fundamentalne reološke testove. U analize pri velikim deformacijama spadaju i teksturalne metode i zasnivaju se na deformaciji uzorka do tačke trajne strukturalne promene (Angioloni i Collar, 2009).

Teksturalne karakteristike gel sistema posmatranih zamenjivača masti ispitane su metodom povratne ekstruzije, koja je opisana u Poglavlju 4. Primenom ove metode simulira se sila prodora kroz uzorak gela i naknadnog povratka kroz uzorak u cilju definisanja fizičkih i viskoznih svojstava (TAHD, 2004). Očitane vrednosti teksturalnih parametara zamenjivača masti, čvrstoće, konzistencije, kohezivnosti i indeksa viskoziteta, prikazane su u tabeli 16.

Tabela 16. Vrednosti teksturalnih parametara zamenjivača masti

Koncentracija i vrsta gela [%]	Čvrstoća $F_1 \pm SD$ [g]	Konzistencija $A_1 \pm SD$ [gs]	Kohezivnost $F_2 \pm SD$ [g]	Indeks viskoziteta $A_2 \pm SD$ [gs]
1 % MCG	16,517±0,52	398,456±0,89	-13,928±0,26	-1,251±0,08
3 % MCG	36,759±0,56	816,034±9,53	-21,268±0,25	-43,822±3,39
5 % MCG	110,108±8,62	2383,768±663,32	-90,926±4,10	-190,480±5,91
7 % MCG	190,677±20,15	4195,186±889,62	-191,917±4,04	-430,759±38,50
10 % MCG	343,678±51,54	7766,732±990,12	-361,165±25,52	-818,103±21,94
1 % WFG	16,998±0,07	392,78±1,12	-12,184±0,37	-1,071±0,06
3 % WFG	16,995±0,17	406,102±3,75	-12,481±0,28	-1,180±0,04
5 % WFG	19,092±1,38	506,097±41,10	-14,368±1,28	-1,437±0,21
7 % WFG	25,559±0,18	686,129±4,61	-16,628±0,12	-4,45±0,10
10 % WFG	46,459±0,26	1168,438±22,49	-36,913±0,70	-96,096±1,70

Čvrstoća i konzistencija gel sistema su blisko povezani teksturalni parametri, koji su određeni pri prodoru senzornog elementa kroz gel sisteme. Povećanjem koncentracije vlakana u gelu kod obe vrste zamenjivača masti dolazi do porasta vrednosti čvrstoće i konzistencije. Parametri koji opisuju kohezivnost i viskozitet određeni su pri povratku senzornog elementa kroz uzorak gela i vezani su za otpor koji sistem pri tome pruža. Apsolutne vrednosti indeksa viskoziteta i kohezivnosti gela takođe se povećavaju sa porastom koncentracije vlakana u gelu.

Pri tome su vrednosti ovih parametara i njihov porast znatno izraženiji kod zamenjivača masti sa MCG vlaknima. Na primer, konzistencija MCG zamenjivača masti je veća od konzistencije WFG zamenjivača masti za 50,23–90,80%, indeks viskoziteta MCG gela je veći u rasponu vrednosti za 88,25–99,25% u odnosu na indeks viskoziteta WFG gela.

Odnosi između viskoelastičnih karakteristika određenih u uslovima malih deformacija i teksturalnih osobina zamenjivača masti određenih u uslovima velikih deformacija definisani su Pirsonovim koeficijentom korelacije (r) i predstavljeni u tabelama 17 i 18. Između teksturalnih karakteristika MCG zamenjivača masti utvrđene

su pozitivne i izuzetno visoke korelacije (od 0,9555 do 0,9893) (tabela 17). Porast čvrstoće MCG gela, uslovljen porastom koncentracije vlakana, pored očekivanog porasta konzistencije praćen je i porastom kohezivnosti i viskoznosti sistema. Pozitivna i visoka korelacija ($r=0,9320$) je i između indeksa viskoznosti određenog teksturalnom metodom i Njutnovskog viskoziteta η_0 očitano sa krivih puzanja sistema, što ukazuje da su obe metode podobne za definisanje viskoelastičnih gel sistema. Negativne statistički značajne međuzavisnosti uočene su između maksimalne popustljivosti MCG gela (J_{max}) i teksturalnih parametara. Porast čvrstoće, odnosno konzistencije MCG gela doprinosi porastu otpora sistema pri dejstvu napona, odnosno porastu viskoznosti i opadanju njegove popustljivosti. Takođe je odnos između viskoznih i elastičnih komponenti MCG gela ($\tan \delta$) niži sa porastom Njutnovskog viskoziteta i porastom parametara teksture gela na osnovu visokih negativnih korelacija.

Tabela 17. Korelacija teksturalnih i viskoelastičnih svojstava MCG gela

Viskoelastični parametri	Čvrstoća	Konzistencija	Kohezivnost	Indeks viskoziteta	J_{max}	η_0	$\tan \delta$
Čvrstoća	1,0000	0,9853	0,9883	0,9861	-0,7154	0,9616	-0,8406
Konzistencija		1,0000	0,9555	0,9893	-0,6659	0,9160	-0,7938
Kohezivnost			1,0000	0,9686	-0,7132	0,9844	-0,8606
Indeks viskoziteta				1,0000	-0,6648	0,9320	-0,8214
J_{max}					1,0000	-0,6273	0,7525
η_0						1,0000	-0,7990
$\tan \delta$							1,0000

Statistički značajne korelacije, pri pragu značajnosti $p=0,05$, su označene crvenom bojom

Tabela 18. Korelacija teksturalnih i viskoelastičnih svojstava WFG gela

Viskoelastični parametri	Čvrstoća	Konzistencija	Kohezivnost	Indeks viskoziteta	J_{max}	η_0	$\tan \delta$
Čvrstoća	1,0000	0,9986	0,9919	0,9893	-0,4039	0,2170	-0,0740
Konzistencija		1,0000	0,9910	0,9828	-0,3840	0,1733	-0,0613
Kohezivnost			1,0000	0,9852	-0,3540	0,1826	-0,0817
Indeks viskoziteta				1,0000	-0,4916	0,3316	-0,1575
J_{max}					1,0000	-0,7692	0,4121
η_0						1,0000	-0,3448
$\tan \delta$							1,0000

Statistički značajne korelacije, pri pragu značajnosti $p=0,05$, su označene crvenom bojom

Statistički značajna ($p<0,05$) pozitivna linearna međuzavisnost teksturalnih karakteristika, izražena visokim koeficijentima korelacije ($r=0,9828-0,9986$), karakteristika je i WFG zamenjivača masti. Negativna korelacija uočena je između njutnovskog viskoziteta i maksimalne popustljivosti WFG gela pod dejstvom napona. Međuzavisnost parametara teksture i viskoelastičnih svojstava WFG gela (J_{max} , η_0 i $\tan \delta$) nije statistički značajna usled malih promena vrednosti viskoelastičnih parametara, koje su prethodno prikazane reološkim definisanjem ovih sistema. Time se potvrđuje kooperativnost između teksturalnih i reoloških merenja pri definisanju reološkog ponašanja gel sistema, koje je navedena i kod drugih autora (Lazaridou i sar., 2003; Roopa i Bhattacharya, 2008).

Na osnovu predstavljenih reoloških i teksturalnih karakteristika posmatrani zamenjivači masti celulozne prirode su kompleksni reološki sistemi sa izraženom sposobnošću hidratacije i obrazovanja trodimenzionalnih gel struktura pri koncentracijama iznad 1%. Viskoelastična priroda, pri koncentracijama iznad 1%,

karakteristična je za strukturu oba zamenjivača masti i ispoljava se u vidu dominacije elastičnih komponenti, pružanju izvesnog otpora dejstvu napona i delimičnom, ali značajnom mogućnošću oporavka sistema tokom relaksacije. Pri destruktivnom delovanju na strukturu kod MCG zamenjivača masti uočava se tiksotropni tip proticanja sistema, dok se WFG zamenjivači masti odlikuju pojavom antitiksotropije. Povećanje udela vlakana u strukturi zamenjivača masti doprinosi jačanju strukture usled porasta interakcije hidratiranih vlakana i porasta stepena umrežavanja. To se odražava i na teksturalne osobine, odnosno na porast čvrstoće, konzistencije, kohezivnosti i viskoznosti zamenjivača masti. Pri tome je na osnovu reološkog određivanja sposobnost hidratacije i umrežavanja MCG vlakana veća u odnosu na WFG vlakna. Nastale trodimenzionalne strukture MCG vlakana su stabilnije i manje podložne deformacijama u odnosu na strukture WFG vlakana koncentracija iznad 1% i pri velikim deformacijama ove MCG strukture odlikuju se izraženijim teksturalnim osobinama.

Na osnovu dobijenih rezultata postoji mogućnost primene MCG i WFG gela u ulozi zamenjivača masti u proizvodu tipa niskoenergetskog namaza u koncentraciji većoj od 1%. Zahvaljujući umreženoj strukturi, ovi geli ispoljavaju mogućnost uklapanja ostalih komponenti proizvoda i mogu ostvariti funkciju kontinualne faze.

5.3. Uticaj konzervanasa na reološke i teksturalne osobine zamenjivača masti

Formulacija novog proizvoda, pored definisanja adekvatnih sastavnih komponenti i njihove količine, zahteva i određivanje redosleda dodavanja sirovina da bi se postigao željeni kvalitet proizvoda. Pojedine sirovine ostvaruju svoja funkcionalna svojstva tek u odgovarajućim fazama proizvodnje, ili pak neke komponente mogu da umanje funkcionalna svojstva drugih sastavnih komponenti.

Proizvodi tipa namaza, u zavisnosti od svog sastava, često sadrže konzervansi u cilju povećanja trajnosti. Konzervansi su jedinjenja koja prolongiraju, ili u idealnom slučaju sprečavaju, mikrobiološko kvarenje hrane. Mikrobiološki kontaminirana hrana je rezultat razvoja kvasaca, plesni i bakterija, ali i stvaranja toksina, pogotovo onih koje proizvode bakterije i plesni.

Upotreba konzervansa tzv. hemijsko konzervisanje hrane se može nadopuniti fizičkim metodama konzervisanja (sterilizacijom i hlađenjem). Dodavanje konzervansa omogućava produženu zaštitu hrane od naknadnog kvarenja nakon otvaranja pakovanja ili u slučaju da pakovanje nije hermetički zatvoreno. Postoje tri osnovna tipa konzervansa koji se koriste u hrani, antimikrobni konzervansi (konzervansi u užem smislu), antioksidansi i agensi za sprečavanje tamnjenja (*antibrowning agents*).

Antimikrobni konzervansi ili konzervansi u užem smislu se koriste za kontrolisanje i sprečavanje rasta mikroorganizama u prehrambenim proizvodima. Prema INS (International Numbering System for Food Additives) i E sistemu numeričkog označavanja aditiva dodeljeni su im INS i E brojevi od 200–290.

Antioksidansi se koriste za sprečavanje oksidacije lipida i/ili vitamina u prehrambenim proizvodima. U sistemu numeričkog označavanja aditiva dodeljeni su im brojevi INS i E brojevi od E 300–E 324. Osnovna uloga je sprečavanje autooksidacije,

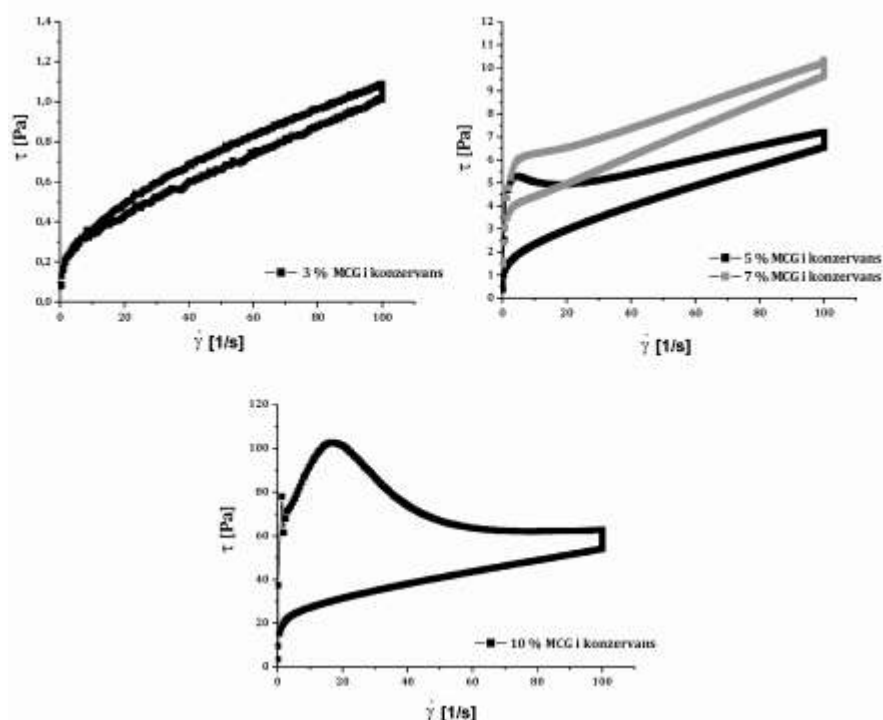
koja se ogleda u razvoju užeglosti i neprijatnog mirisa i ukusa hrane. Antioksidansi, prema poreklu, mogu biti prirodne supstance, kao vitamin C (E 300) ili vitamin E (E 306), ili sintetskim putem proizvedene hemijske supstance, kao što su butil-hidroksianizol (BHA, E 320) i butil-hidroksitoluen (BHT, E 321).

Sredstva za sprečavanje tamnjenja proizvoda su hemijske supstance koje se koriste za sprečavanje enzimatskog i neenzimatskog tamnjenja prehrambenih proizvoda. Najčešće korišćeni su vitamin C (E 300), limunska kiselina (E 330) i natrijum-sulfit (E 221) („Sl. glasnik RS”, br. 63/2013; www.tehnologijahrane.com).

Antimikrobna i antioksidativna neželjena promena proizvoda tipa namaza može se sprečiti primenom smeše konzervanasa koju čine natrijumova so askorbinske kiseline E 301 u količini od 0,150 g, trinatrijum citrat E 331 u količini od 0,150 g i natrijum acetat E 262 u količini od 0,200 g na 100 g proizvoda.

Opisana smeša konzervanasa takođe može imati uticaja na funkcionalna i fizička svojstva zamenjivača masti. Radi definisanja trenutka njihove primene tokom proizvodnje namaza analizirane su reološke i teksturalne karakteristike disperznih sistema vlakana i smeše konzervanasa u vodenoj sredini. Ovi disperzni sistemi pripremani su pod potpuno istim uslovima kao i zamenjivači masti i posmatrani su nakon 24 h.

Krive proticanja nastalih strukturiranih disperznih sistema, koje čine MCG vlakna i smeša konzervanasa u vodenoj sredini prikazane su na slici 40.

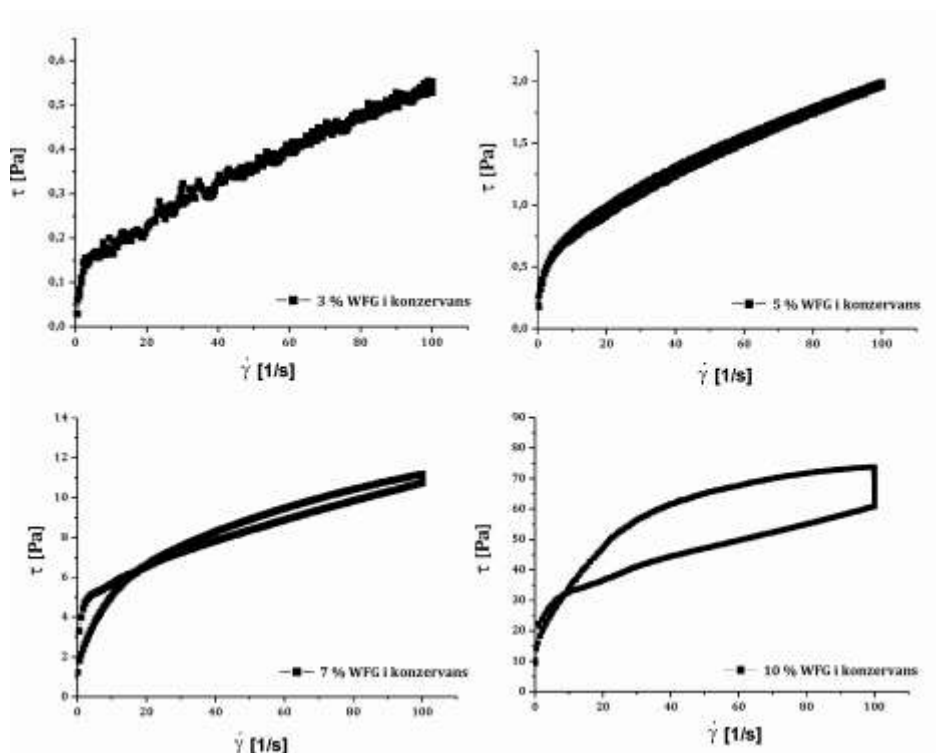


Slika 40. Krive proticanja disperznih sistema MCG vlakana i konzervanasa

Tabela 19. Reološki parametri krivih proticanja disperznih sistema MCG vlakana i konzervanasa

Sastav gela	Jednačina po Herschel–Bulkley-u $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$				
	Uzlazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	
3% MCG+K	0,095±0,06	0,072±0,02	0,569±0,01	0,9996	
5% MCG+K	4,595±0,51	0,009±0,01	1,213±0,08	0,8984	
7% MCG+K	4,915±0,64	0,168±0,13	0,742±0,009	0,9739	
	Silazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	$A_0 \pm SD$ [Pa/s]
3% MCG+K	0,164±0,04	0,031±0,001	0,715±0,08	0,9986	7,318±1,08
5% MCG+K	1,090±0,09	0,250±0,02	0,666±0,01	0,9992	149,32±12,30
7% MCG+K	3,280±0,20	0,141±0,08	0,824±0,02	0,9953	116,34±6,46
	Reološki parametri krive proticanja				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$\tau_c \pm SD$ [Pa]	$\dot{\gamma}_c \pm SD$ [1/s]		$A_0 \pm SD$ [Pa/s]
10% MCG+K	3,636±0,09	102,64±9,22	16,99±0,15		3369,00±26,31

Dobijeni sistemi ispoljavali su tiksotropno ponašanje i sposobnost formiranja histerezisne petlje tokom proticanja. Pri sadržaju do 7% MCG vlakana u sistemu krive proticanja su odgovarale Herschel–Bulkley–om modelu proticanja. Porast koncentracije primenjenih vlakana u disperznom sistemu uticao je na porast vrednosti površine histerezisne petlje (tabela 19), slično kao i kod gel sistema MCG zamenjivača masti bez prisustva konzervanasa. Međutim, u odnosu na vrednosti površina histerezisne petlje MCG zamenjivača masti, vrednosti površina gel sistema sa konzervansima su izuzetno smanjene. Sistemi sa visokim koncentracijama MCG vlakana (7 i 10%), koji inače ispoljavaju veliku tendenciju umrežavanja, imali su površine histerezisne petlje za 98,08% i 49,85%, respektivno, niže u odnosu na MCG gele istih koncentracija a bez prisustva konzervanasa. Sličan uticaj uvođenja konzervansa u strukturu uočen je i kod WFG zamenjivača masti. Disperzni sistemi WFG vlakana i smeše konzervanasa zadržali su antitiksotropni tip proticanja i sposobnost naknadne izgradnje strukture, karakterističnu za WFG gele, ali je jačina tih struktura smanjenja za 76,25%–98,73% u odnosu na WFG gel istih koncentracija i bez konzervanasa. Krive proticanja ovih sistema prikazane su na slici 41, a vrednosti očitanih parametara u tabeli 20.

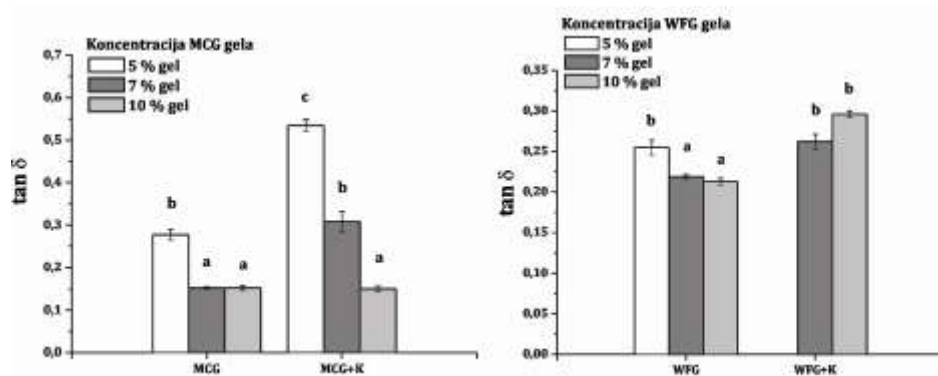


Slika 41. Krive proticanja disperznih sistema WFG vlakana i konzervansa

Tabela 20. Reološki parametri krivih proticanja disperznih sistema WFG vlakana i konzervansa

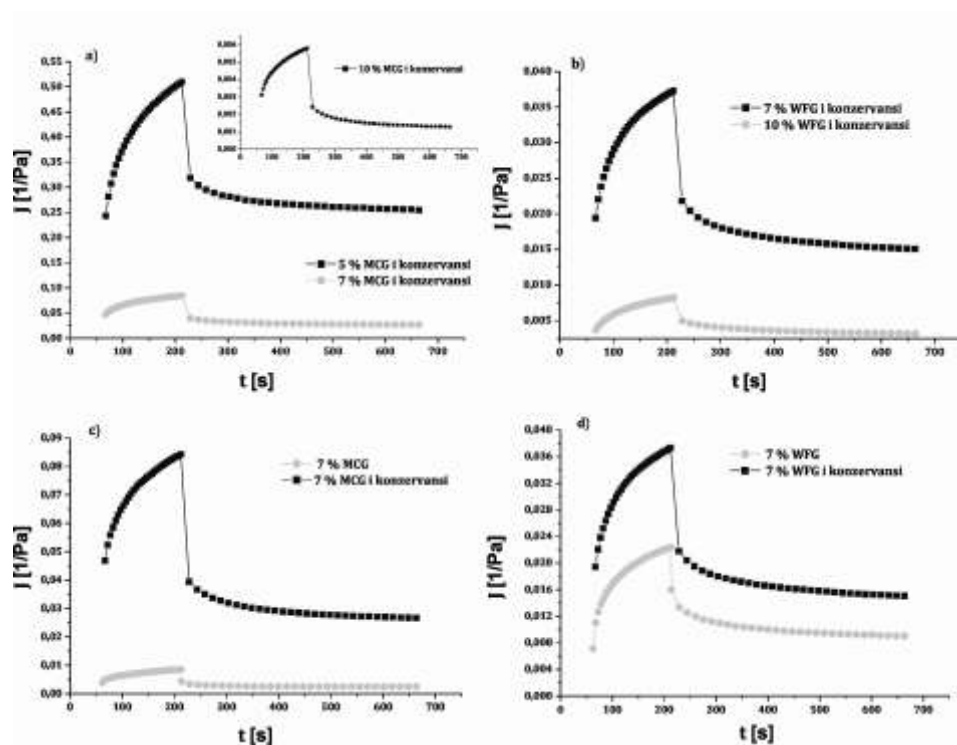
Sastav gela [%]	Jednačina po Herschel-Bulkley-u $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$				
	Uzlazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	
3 % WFG+K	0,090±0,03	0,017±0,006	0,715±0,002	0,9955	
5 % WFG+K	0,296±0,02	0,102±0,001	0,606±0,01	0,9990	
7 % WFG+K	2,043±0,04	1,458±0,09	0,381±0,01	0,9906	
10 % WFG+K	16,280±0,95	5,233±0,06	0,458±0,03	0,9954	
	Silazna kriva				
	$\tau_0 \pm SD$ [Pa]	$K \pm SD$ [Pas ⁿ]	$n \pm SD$	r	$A_0 \pm SD$ [Pa/s]
3 % WFG+K	0,079±0,004	0,020±0,001	0,677±0,03	0,9951	0,6565±0,05
5 % WFG+K	0,243±0,002	0,153±0,002	0,527±0,004	0,9996	-4,468±0,03
7 % WFG+K	0,869±0,005	2,385±0,01	0,339±0,006	0,9984	-22,25±0,09
10 % WFG+K	15,660±1,23	30,78±2,64	0,240±0,02	0,9890	-1296,00±16,33

Primena konzervansa odrazila se i na viskoelastična svojstva dobijenih gel sistema u vidu redukcije udela elastičnih komponenti sistema. Dominacija veza elastične prirode nad viskoznom zastupljena je samo u smešama sa visokim koncentracijama vlakana (5%, 7%, 10% MCG i 7%, 10% WFG) kod obe vrste zamenjivača masti. Na osnovu tendencije porasta vrednosti parametra $\tan \delta$ elastičnost gel sistema sa konzervansom se smanjuje u odnosu na gel sisteme zamenjivača masti (slika 42).



Slika 42. Vrednosti $\tan \delta$ gela zamenjivača masti bez i sa konzervansima

Uticaj konzervanasa na viskoelastična svojstva potvrđen je i na osnovu parametara krivih puzanja gel sistema koji sadrže konzervanse. Popustljivost ovih sistema pod dejstvom konstantnog napona takođe je uslovljena koncentracijom vlakana u sistemu i sa porastom koncentracije vlakana opada, kao i kod gela zamenjivača masti (slika 43a i b). Međutim, prisustvo konzervanasa u sistemu sa vlaknima dodatno redukuje popustljivost sistema (slika 43c i d), što potvrđuju i vrednosti parametara Burgers-ovog modela za gel sisteme zamenjivača masti sa konzervansima prikazani u tabeli 21 u poređenju sa vrednostima ovih parametara gela bez konzervanasa. Gel sistemi MCG vlakana sa konzervansima imaju niži Njutnovski viskozitet od MCG gela bez konzervanasa za 40,46–95,17%, a kod WFG gela sa konzervansima viskozitet je niži za 48,41 i 71,76% u odnosu na WFG gel bez konzervanasa.



Slika 43. Krive puzanja gel sistema a) MCG zamenjivača masti sa konzervansima, b) WFG zamenjivača masti sa konzervansima, c) 7% MCG zamenjivača masti sa i bez konzervanasa i d) 7% WFG zamenjivača masti sa i bez konzervanasa

Tabela 21. Parametri Burgers–ovog modela za krive puzanja gela sa konzervansima

Koncentracija i vrsta gela [%]	Faza delovanja napona					
	$J_0 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^3$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_{max} \pm SD$ [1/Pa]	
5 % MCG+K	242,90±12,19	168,30±9,23	0,42±0,008	92,33±0,10	510,04±15,36	
7 % MCG+K	46,91±0,21	27,81±0,08	2,52±11,30	92,20±0,04	84,27±1,55	
10 % MCG+K	3,126±0,09	1,92±0,06	36,53±1,48	92,37±0,02	5,82±0,03	
7 % WFG	19,43±0,08	12,31±0,09	5,68±0,12	92,12±0,02	37,30±1,08	
10 % WFG	3,70±0,63	2,71±0,08	2,58±0,03	92,20±0,01	8,22±0,12	
	Faza oporavka					
	$J_0 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^3$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^3$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_e/J_{max} \pm SD$ [%]	$J_v/J_{max} \pm SD$ [%]
5 % MCG+K	318,50±6,22	84,30±1,92	259,7±1,09	288,44±0,02	79,55±0,10	20,45±0,09
7 % MCG+K	39,49±2,46	8,80±0,05	24,85±0,41	288,33±0,05	68,33±0,62	31,67±0,60
10 % MCG+K	2,43±0,02	0,43±0,01	512,22±16,11 ^c	288,50±0,01	77,71±0,20	22,29±0,23
7 % WFG+K	21,82±0,06	4,98±0,04	43,95±1,30	288,30±0,01	59,54±0,91	40,46±0,90
10 % WFG+K	5,00±0,04	1,05±0,03	20,87±1,09	288,40±0,02	61,31±2,10	38,69±2,12

Parametri teksture, koji ukazuju na podložnost ispitivanih sistema velikim deformacijama, prikazani su u tabeli 22. Svi prikazani teksturalni parametri sistema sa konzervansima smanjeni su u poređenju sa parametrima teksture zamenjivača masti bez konzervansa. Merenja sistema sa konzervansima pri malom udelu vlakana (1% MCG i 3% WFG) nisu ostvariva zbog izuzetno slabe i tečne konzistencije sistema. Konzistencija sistema MCG vlakana i konzervansa opada u opsegu vrednosti za 50,10 do 82,68% u odnosu na MCG gel sisteme, dok je kod sistema sa WFG vlaknima to smanjenje vrednosti manje i konzistencija opada za 11,76 do 24,65% u odnosu na WFG gel. Smanjenje čvrstoće i konzistencije povlači i smanjenje kohezivnosti i viskoznosti gel sistema sa konzervansima.

Tabela 22. Vrednosti teksturalnih parametara zamenjivača masti sa konzervansima

Koncentracija i vrsta gela [%]	Čvrstoća $F_1 \pm SD$ [g]	Konzistencija $A_1 \pm SD$ [gs]	Kohezivnost $F_2 \pm SD$ [g]	Indeks viskoziteta $A_2 \pm SD$ [gs]
3 % MCG+K	17,079±0,08	407,178±2,09	-12,835±0,05	-1,035±0,05
5 % MCG+K	20,572±0,09	412,754±1,96	-15,593±0,07	-1,145±0,01
7 % MCG+K	44,259±1,05	1191,421±6,14	-46,921±1,25	-113,577±3,15
10 % MCG+K	134,390±13,09	2939,989±485,83	-115,312±15,83	-251,388±28,00
5 % WFG+K	18,32±0,21	420,30±25,44	-13,21±1,02	-2,26±0,09
7 % WFG+K	34,19±1,66	910,59±14,75	-24,77±2,06	-48,65±2,10
10 % WFG+K	41,83±0,57	1030,97±14,07	-28,82±1,68	-70,98±6,47

Celulozna vlakna usled izražene atrakcije sa dipolnim molekulma vode ostvaruju vodonične veze i intenzivnu hidrataciju, koja umanjuje intermolekularni prostor, olakšava međusobno povezivanje hidratiranih vlakana i formiranje trodimenzionalne strukture. Prisustvo malih molekula konzervansa, takođe hidrofilne prirode, ometaju hidrataciju i fizički onemogućavaju umrežavanje (Sánchez-González i sar., 2009). Na osnovu toga, strukturalne interakcije u smeši celuloznih vlakana zamenjivača masti i konzervansa odrazile su se na reološka i funkcionalna svojstva gela umanjujući stepen umrežavanja i stabilnost formiranih struktura.

Dobijeni rezultati ukazuju da je primena konzervansa u smeši sa vlaknima zamenjivača masti nepoželjna. Konzervans se ne može primeniti pre ili tokom

formiranja gela zamenjivača masti, već u narednim fazama proizvodnje namaza, kako bi se obezbedilo dobijanje stabilnog, umreženog gela adekvatnih reoloških, teksturalnih i funkcionalnih svojstava.

5.4. Karakteristike namaza od brašna semena tikve golicе

5.4.1. Reološke osobine namaza

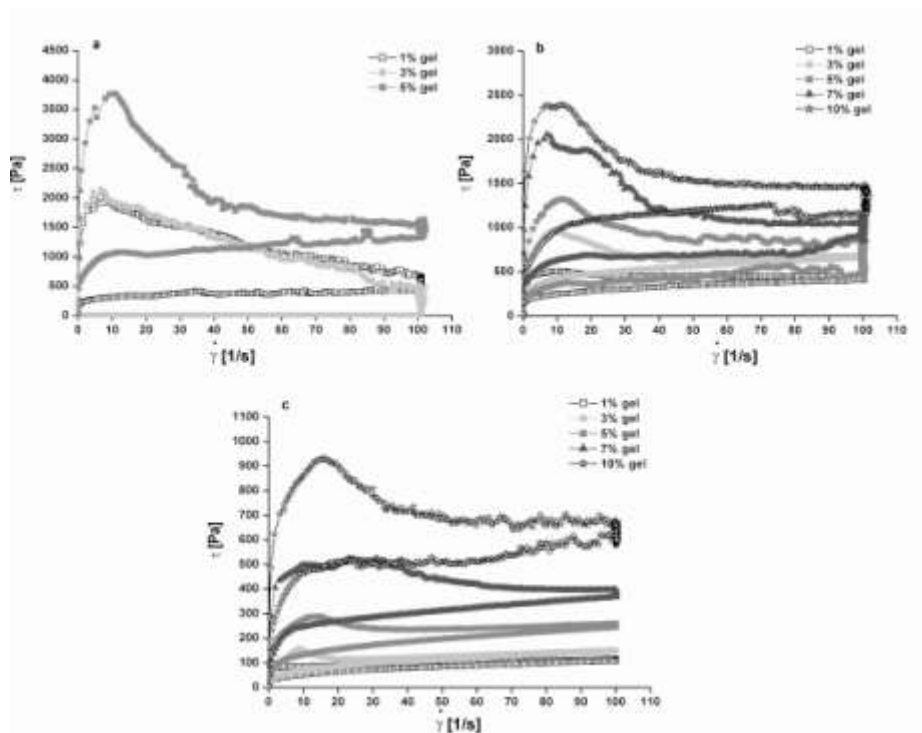
5.4.1.1. Krive proticanja namaza

U formulaciji namaza od brašna tikve golicе primenjeni su zamenjivači masti MCG 611F i WFG HS73 koncentracija od 1 do 10%, na osnovu rezultata dobijenih prethodnim reološkim i teksturalnim definisanjem zamenjivača masti. U zavisnosti od vrste primenjenog zamenjivača masti, njegove koncentracije i udela zamenjivača u sastavu namaza razlikuje se 30 namaza, prikazanih u tabeli 23.

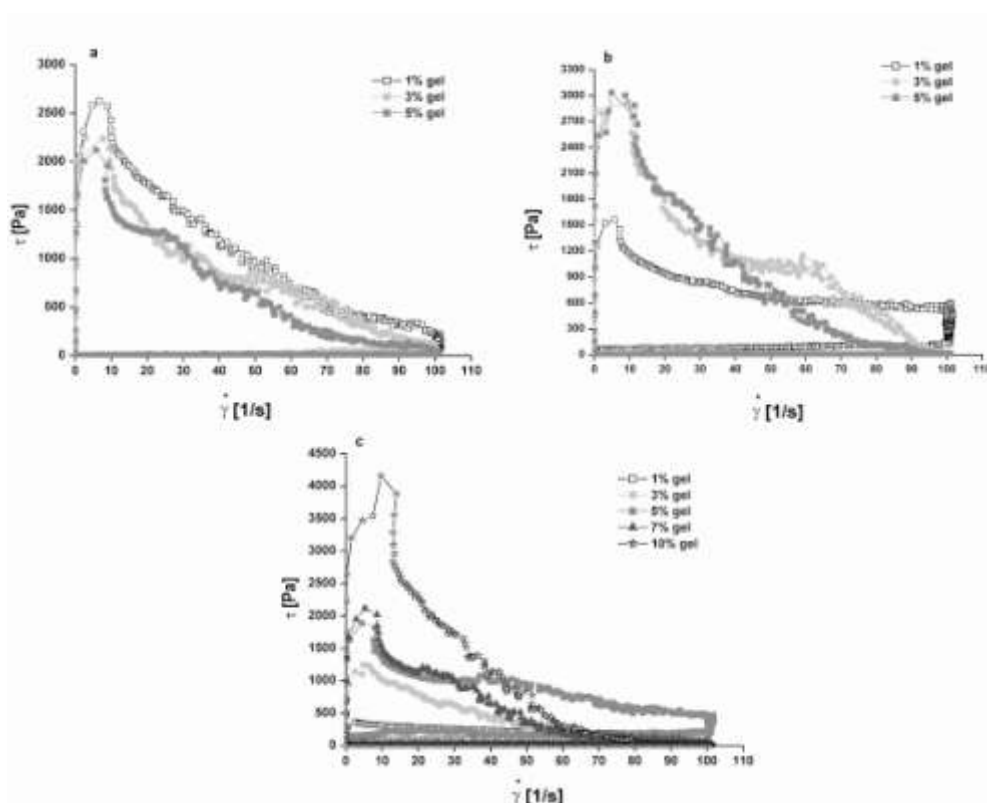
Tabela 23. Vrsta, udeo i koncentracija zamenjivača masti u namazima

Udeo zamenjivača masti [%]	MCG zamenjivač masti				
	Koncentracija gela zamenjivača masti [%]				
	1	3	5	7	10
60	1	4	7	10	13
70	2	5	8	11	14
80	3	6	9	12	15
	WFG zamenjivač masti				
	Koncentracija gela zamenjivača masti [%]				
	1	3	5	7	10
60	16	19	22	25	28
70	17	20	23	26	29
80	18	21	24	27	30

Krive proticanja dobijenih namaza predstavljene su na slikama 44 i 45.



Slika 44. Krive proticanja namaza sa a) 60% MCG gela, b) 70% MCG gela i c) 80% MCG gela



Slika 45. Krive proticanja namaza sa a) 60% WFG gela, b) 70% WFG gela i c) 80% WFG gela

Zajednička karakteristika obe grupe namaza je da nemaju svi namazi sposobnost proticanja. Usled izraženog viskoziteta pojedinih namaza, koji sprečava njihovo proticanje, reološka merenja ovih namaza nisu ostvarena. Stoga, krive proticanja namaza sa niskim udelima zamenjivača masti (60 i 70%) i visokim koncentracijama

primenjenog gela (7 i 10%) nisu prikazane. Dobijene krive proticanja odlikuju se tiksotropnim tipom proticanja. Tokom promene brzine smicanja formira se histerezisna petlja koju opisuju prinosni napon τ_0 [Pa] i površina histerezisne petlje A_0 [Pa/s] (Schramm, 1998).

Svojstva mazivih prehrambenih proizvoda uslovljavaju primenu određene sile radi njihovog adekvatnog nanošenja na površinu. Pri tome je minimalna vrednost primenjene sile poznata kao prinosni napon. Ispod vrednosti ovog napona sistem ne protiče i trpi samo elastične deformacije (Daubert i sar., 1998). Prinosni napon je značajan pri definisanju ponašanja sistema tokom mešanja, transporta pumpama i slično. Veličina histerezisne površine predstavlja energiju potrebnu za razrušavanje tiksotropne strukture sistema, tako da istovremeno ukazuje na narušavanje strukture i na sposobnost ponovne izgradnje tokom dejstva sila smicanja (Ghannam i Esmail, 1997; Pasephol i sar., 2008).

Parametri krivih proticanja namaza sa MCG zamenjivačem masti prikazani su u tabeli 24. Udeo MCG gela u namazu i koncentracija primenjenog gela su faktori koji određuju sastav namaza. Uticaj promene ovih faktora na promenu vrednosti prinosnog napona τ_0 i vrednosti površine histerezisne petlje A_0 definisan je primenom metode analize varijansi (ANOVA), a za poređenje srednjih vrednosti korišćen je Duncan–ov test pri riziku određivanja od 5%. Veličina statistički značajnih uticaja izražena je koeficijentom na osnovu Koenovog kriterijuma.

Tabela 24. Parametri krivih proticanja namaza sa MCG gelom

Sastav namaza		Prinosni napon $\tau_0 \pm SD$ [Pa]	Površina histerezisne petlje $A_0 \pm SD \cdot 10^{-4}$ [Pa/s]
Udeo gela [%]	Koncentracija gela [%]		
60	1	4,602±0,33 ^b	10,324±0,73 ^c
	3	4,552±0,41 ^b	16,192±2,20 ^d
	5	4,597±0,15 ^b	28,350±3,70 ^e
	7	/	/
	10	/	/
70	1	4,090±0,48 ^a	1,521±0,19 ^a
	3	5,343±0,07 ^b	2,630±0,29 ^{ab}
	5	4,706±0,20 ^b	8,656±0,38 ^c
	7	5,594±0,37 ^b	10,825±1,86 ^c
	10	5,616±1,65 ^b	10,658±0,92 ^c
80	1	5,723±1,86 ^b	0,194±0,02 ^a
	3	4,597±0,34 ^b	0,247±0,05 ^a
	5	5,043±0,09 ^b	0,688±0,05 ^a
	7	6,252±0,76 ^c	1,718±0,08 ^a
	10	7,836±1,47 ^c	4,500±2,89 ^b

^{a-d} Srednje vrednosti označene različitim slovom se statistički značajno razlikuju ($p < 0,05$)

Na osnovu analize varijansi utvrđen je statistički značajan uticaj koncentracije primenjenog gela ($p < 0,05$) na vrednosti prinosnog napona krivih proticanja namaza sa MCG gelom. Pri tome je veličina uticaja ovog faktora mala (0,372), na osnovu vrednosti Koenovog koeficijenta. Povećanje udela gela u namazu nema statistički značajnog uticaja na vrednosti ovog parametra ($p > 0,05$).

U skladu sa tim, vrednosti prinosnog napona su vrlo bliske bez obzira na promenu sastava namaza i iznose oko 5 Pa. Njihov porast uočava se tek kod namaza sa

visokim udelom MCG gela (80%) i pri visokim koncentracijama primenjenog gela (7 i 10%).

Na vrednosti površine histerezisne petlje statistički značajno utiču oba faktora, za razliku od vrednosti prinosnog napona. Takođe je statistički značajan i uticaj interakcije između udela gela u namazu i koncentracije MCG gela ($p < 0,05$), prema rezultatima analize varijansi. Veličina uticaja porasta udela gela u namazu je najizraženija (vrednost Koenovog koeficijenta je 0,965) u odnosu na veličine uticaja koncentracije gela i interakcije između faktora koje su 0,888 i 0,812, respektivno. Na osnovu toga, porast udela gela u namazu za 10% pri istoj koncentraciji MCG gela smanjuje veličinu površine petlje u opsegu vrednosti za 57,78–92,05%.

Povećanje koncentracije primenjenog mikrokristalnog celuloznog gela pri konstantnom udelu gela u namazu povećava vrednosti površine histerezisne petlje i ovaj uticaj se najbolje uočava kod namaza sa malim sadržajem gela od 60%. Međutim, pri većim udelima gela (70 i 80%) uticaj koncentracije slabi, vrednosti površine petlje se manje razlikuju, čime se potvrđuje interakcija između faktora.

Tabela 25. Parametri krivih proticanja namaza sa WFG gelom

Sastav namaza		Prinosni napon $\tau_0 \pm SD$ [Pa]	Površina histerezisne petlje $A_0 \pm SD \cdot 10^{-4}$ [Pa/s]
Udeo gela [%]	Koncentracija gela [%]		
60	1	3,944±0,732 ^b	13,253±0,585 ^d
	3	3,872±0,995 ^b	11,668±1,578 ^d
	5	3,539±1,106 ^a	8,449±0,484 ^c
	7	/	/
	10	/	/
70	1	4,244±0,233 ^{bc}	2,673±1,402 ^a
	3	3,793±0,233 ^b	3,503±1,733 ^a
	5	3,771±1,525 ^b	6,654±0,157 ^b
	7	/	/
	10	/	/
80	1	6,019±2,009 ^c	1,396±0,287 ^a
	3	6,315±2,047 ^c	5,223±2,148 ^b
	5	4,130±0,682 ^{bc}	7,443±0,932 ^{bc}
	7	5,349±1,425 ^c	7,804±2,239 ^c
	10	8,193±0,131 ^d	13,180±4,117 ^d

^{a-d} Srednje vrednosti označene različitim slovom se statistički značajno razlikuju ($p < 0,05$)

Vrednosti prinosnog napona i površine histerezisne petlje, za namaze sa WFG gelom, u zavisnosti od sastava namaza prikazane su u tabeli 25. Na osnovu rezultata analize varijansi uočen je mali statistički značajan uticaj udela WFG gela u namazu i primenjene koncentracije gela ($p < 0,05$) na prinosni napon. Tek pri visokom udelu WFG gela u namazu od 80% uočava se porast vrednosti prinosnog napona, a pogotovu pri primeni gela visoke koncentracije od 10%.

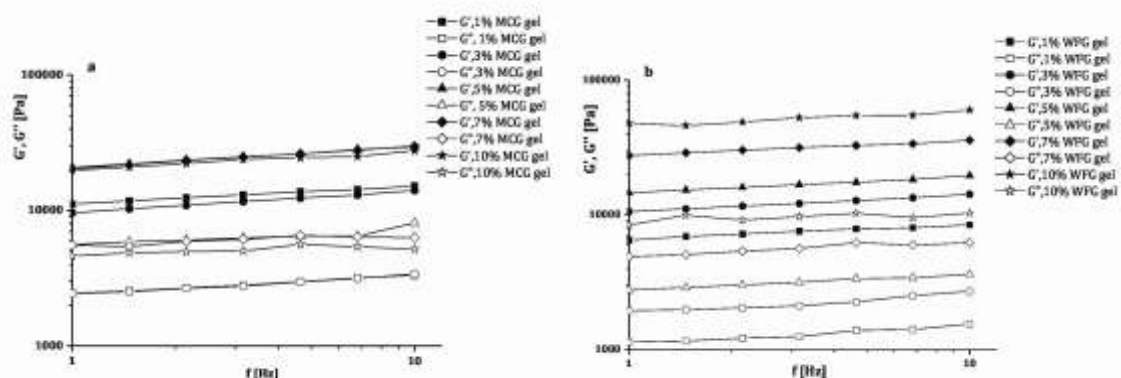
Kod vrednosti površina histerezisne petlje namaza sa WFG gelom, pored uticaja oba faktora, javlja se i uticaj interakcije između posmatranih faktora ($p < 0,05$). Usled ove interakcije uticaj koncentracije gela u zavisnosti je od porasta udela WFG gela. Namazi sa visokim udelom WFG gela od 80% odlikuju se izraženim porastom vrednosti površine petlje pri porastu koncentracije primenjenog gela. Međutim, opadanje udela WFG gela u namazu za 10% redukuje uticaj koncentracije gela, tako da se kod namaza sa 70% uočava mala promena vrednosti površina petlje, a kod namaza sa 60% i opadanje

vrednosti ovog parametra. Takođe, pri smanjenju sadržaja WFG gela na 60%, vrednosti površine histerezisne petlje su redukovane za ceo red veličina u odnosu na vrednosti kod namaza sa većim udelom gela.

Poređenjem krivih proticanja svih namaza mogu se izdvojiti izvesne sličnosti i razlike u tendencijama promene parametara krivih. Prinosni napon svih namaza se vrlo malo menja sa promenom udela zamenjivača masti u namazu i porastom koncentracije gela. Značajne promene prinosnog napona javljaju se tek kod namaza sa velikim udelom zamenjivača masti (80%) i pri visokim koncentracijama MCG gela (7 i 10%), odnosno WFG gela (10%). Visoke koncentracije hidratiranih vlakana u gelu, koji je prisutan u namazu u znatnoj količini, doprinose visokom stepenu umrežavanja i jačanju strukture, koja pruža veći otpor početnom proticanju. Karakteristika svih namaza je da povećanje udela zamenjivača masti doprinosi smanjenju površine histerezisne petlje. Veliki udeo kontinualne faze omogućava potpuno oblaganje i uklapanje čvrstih čestica brašna smanjujući mogućnost interakcije i frikcije između njih. Bolja svojstva proticanja uočljiva su kod namaza sa MCG zamenjivačem masti u odnosu na namaze sa WFG zamenjivačem masti. Struktura MCG gela omogućava oblaganje i uklapanje čvrste faze namaza pri svim udelima gela uz jačanje strukture i povećanje kompaktnosti namaza sa porastom koncentracije vlakana u gelu. Mali udeli WFG zamenjivača masti (60%) u namazu ne ostvaruju adekvatno ulogu kontinualne faze, tako da su frikционе sile izražene bez obzira na porast koncentracije WFG vlakana u gelu. Bolja svojstva proticanja ostvaruju se tek pri velikom udelu WFG zamenjivača masti i pri niskim koncentracijama vlakana.

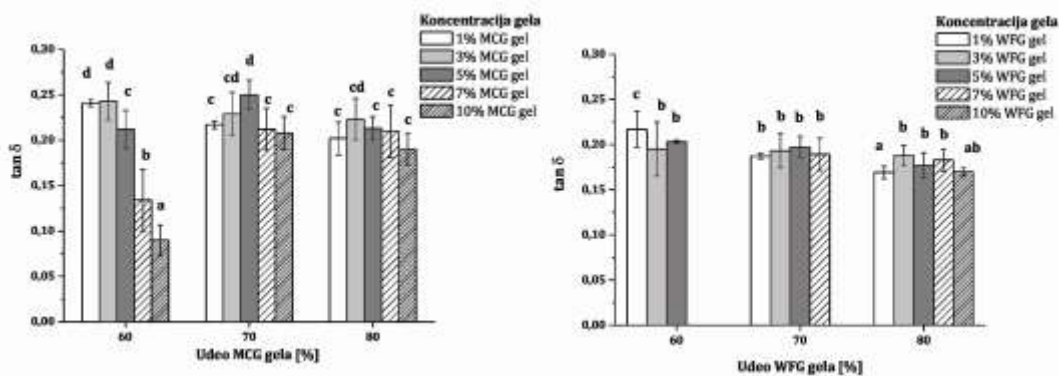
5.4.1.2. Viskoelastična svojstva namaza

Dinamičkim oscilatornim merenjima definisan je doprinos elastičnih i viskoznih komponenti viskoelastičnim svojstvima namaza. Uticaj promene frekvencije na viskoelastične komponente namaza prikazan je na slici 46. Bez obzira na primenjenu vrstu gela, kod svih namaza se uočavaju veće vrednosti modula elastičnosti G' u odnosu na vrednosti modula viskoznosti G'' , čime se ističe dominacija elastičnih svojstava namaza.



Slika 46. Moduli namaza sa a) 70% MCG gela i b) 80% WFG gela

U skladu sa tim i odnos između modula, definisan kao vrednost $\tan \delta = G''/G'$, je manji od jedinice kod svih namaza i nalazi se opsegu vrednosti od 0,09–0,250 (slika 47). Ispitivanjem reoloških karakteristika paste od pistaća, Shakerardekani i sar. (2013) takođe su utvrdili dominaciju elastičnog modula nad viskozim i vrednost njihovog odnosa od $\tan \delta = 0,15$. Opadanje vrednosti parametra $\tan \delta$ kod proizvoda tipa namaza generalno ukazuje na porast tendencije formiranja elastičnije strukture.



Slika 47. Promene vrednosti $\tan \delta$ sa promenom sastava namaza

Promene vrednosti $\tan \delta$ namaza sa MCG gelom u zavisnosti od promene sastava namaza, analizirane ANOVA metodom, prikazane su na slici 47. Statistički značajan uticaj porasta koncentracije MCG gela ($p < 0,05$) odražava se na pad vrednosti $\tan \delta$, što je najuočljivije pri malom udelu MCG gela od 60%. Primena MCG gela koncentracije 5% i viših koncentracija 7 i 10% u namazima sa 60% gela doprinosi opadanju vrednosti $\tan \delta$ za 12,76%, 36,79% i 32,84%, respektivno.

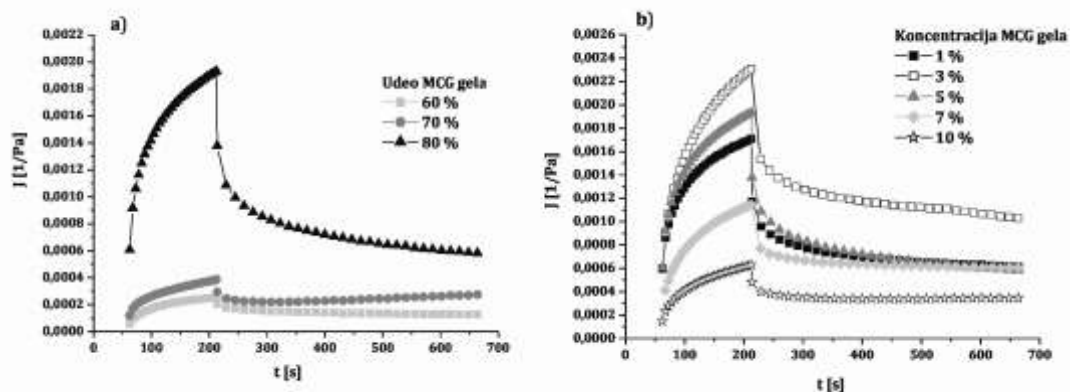
Veličina uticaja udela gela na osnovu Koenovog koeficijenta (0,722) i veličina uticaja interakcije između udela gela i koncentracije gela (0,716) su veće od veličine zasebnog uticaja koncentracije gela (0,484). Prema tome, veći udeli MCG gela u namazu značajno slabe uticaj koncentracije i doprinose adekvatnom balansu između elastičnih i viskoznih komponenti sistema. Vrednosti $\tan \delta$ namaza sa 70 i 80% MCG gela su u intervalu od 0,190–0,250 i statistički se međusobno malo razlikuju.

Kod namaza sa WFG gelom na osnovu primenjene ANOVA metode i Koenovog koeficijenta veličine uticaja ispoljava se samo slab (0,243) statistički značajan uticaj udela gela ($p < 0,05$). Ovaj uticaj se odražava na blag pad vrednosti $\tan \delta$ sa porastom udela WFG gela (slika 46). Povećanjem udela WFG gela za 10% pri konstantnoj koncentraciji WFG gela vrednosti $\tan \delta$ opadaju za 6,34% i 7,81%.

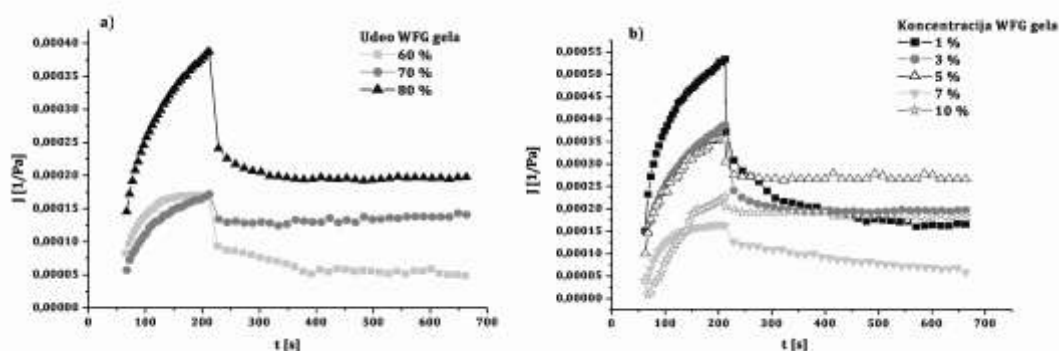
Konzistencija namaza može se definisati i na osnovu viskoelastičnog ponašanja namaza tokom delovanja konstantnog napona i nakon prestanka njegovog delovanja, a zatim izraziti u vidu puzavosti sistema. Puzavost namaza određena je pomoću nedestruktivnog merenja u okviru linearnog viskoelastičnog režima. U takvim uslovima utvrđena je sposobnost elastične deformacije sistema, pri čemu struktura namaza nije narušena, a iznos deformacije predstavlja puzavost sistema, J [1/Pa]. Krive puzanja dobijenih namaza predstavljene su na slikama 48 i 49. Sa porastom puzavosti sistema

raste i sposobnost sistema da se lako deformiše pod dejstvom primenjenog konstantnog napona, odnosno povećava se njegova popustljivost (Ghannam i Esmail, 1997). Kod svih namaza, i sa MCG i sa WFG gelom, uticaji udela gela u namazu i koncentracije primenjenog gela su suprotno usmereni. Porast koncentracije primenjenog gela redukuje popustljivost namaza jer doprinosi čvrstoći namaza, dok povećanje količine primenjenog gela povećava popustljivost namaza i ukazuje na meku konzistenciju podložnu deformacijama. Izražena čvrstoća pojedinih namaza sa malim udelima zamenjivača masti (60 i 70%) i visokim koncentracijama primenjenog gela (7 i 10%) onemogućila je puzavost ovih namaza i dobijanje krivih puzanja.

Iste tendencije promene puzavosti uočene su pri svim udelima i svim koncentracijama primenjenih gelova i u skladu su sa prethodno opisanim reološkim karakteristikama dobijenih namaza.



Slika 48. Uticaj a) udela MCG gela pri koncentraciji od 1% i uticaj b) koncentracije gela pri udelu od 80% na puzavost namaza sa MCG gelom



Slika 49. Uticaj a) udela WFG gela pri koncentraciji od 3% i uticaj b) koncentracije gela pri udelu od 80% na puzavost namaza sa WFG gelom

Parametri Burgers-ovog modela za puzavost sistema predstavljeni su u tabelama 26 i 27. Između krivih puzanja namaza i jednačina Burgers-ovog modela regresionom analizom utvrđen je visok koeficijent determinacije, $r > 0,99$.

Tabela 26. Parametri modela po Burgers-u za krive puzanja namaza sa MCG zamenjivačem masti

Sastav namaza sa MCG zamenjivačem masti		Faza delovanja napona					
Udeo [%]	Koncentracija gela [%]	$J_0 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-5}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_{max} \cdot 10^4 \pm SD$ [1/Pa]	
60	1	0,54±0,06 ^a	0,83±0,14 ^a	8,66±1,55 ^f	92,47±0,06 ^{cd}	2,51±0,43 ^b	
	3	0,86±0,11 ^a	0,61±0,17 ^a	10,26±1,37 ^f	92,09±0,34 ^b	1,92±0,52 ^a	
	5	0,57±0,17 ^a	0,54±0,08 ^a	11,41±1,95 ^f	92,17±0,33 ^c	1,88±0,21 ^b	
	7	/	/	/	/	/	
	10	/	/	/	/	/	
70	1	0,87±0,31 ^a	0,86±0,42 ^a	7,08±1,78 ^{de}	92,25±0,13 ^c	4,29±0,52 ^{bc}	
	3	1,27±0,41 ^a	1,55±0,48 ^a	3,90±0,11 ^c	92,14±0,05 ^{bc}	5,95±0,70 ^c	
	5	1,25±0,38 ^a	1,30±0,06 ^a	5,44±0,33 ^d	92,46±0,23 ^c	4,28±0,40 ^{bc}	
	7	0,93±0,15 ^a	1,08±0,30 ^a	7,21±2,31 ^{de}	92,17±0,11 ^c	2,83±0,75 ^b	
	10	0,85±0,21 ^a	1,05±0,19 ^a	5,861±1,90 ^d	92,46±0,13 ^c	3,171±0,58 ^b	
80	1	6,81±3,03 ^c	6,55±2,69 ^a	1,23±0,29 ^a	92,44±0,05 ^c	17,01±2,04 ^e	
	3	8,02±1,70 ^c	7,95±2,14 ^d	0,97±0,35 ^a	91,77±0,29 ^a	21,82±7,40 ^{ef}	
	5	6,22±2,60 ^c	5,82±1,58 ^c	1,77±0,23 ^b	92,24±0,10 ^c	19,04±4,61 ^e	
	7	4,04±0,07 ^b	3,90±0,10 ^b	1,84±0,06 ^b	92,22±0,10 ^c	10,93±0,57 ^d	
	10	1,98±0,45 ^a	2,47±0,48 ^b	3,12±0,22 ^c	92,31±0,21 ^c	7,24±1,02 ^d	
		Faza oporavka					
		$J_0 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-5}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_e/J_{max} \pm SD$ [%]	$J_v/J_{max} \pm SD$ [%]
60	1	2,03±0,42 ^b	1,60±1,09 ^c	5,01±2,76 ^d	288,67±0,06 ^b	56,97±6,80 ^c	43,03±6,80 ^b
	3	1,22±0,43 ^a	0,61±0,07 ^a	3,31±0,90 ^c	288,20±0,56 ^a	52,29±34,37 ^{bc}	47,71±34,37 ^{bc}
	5	0,85±0,13 ^a	0,85±0,14 ^b	6,88±2,46 ^e	288,57±0,06 ^b	65,24±24,11 ^d	34,75±24,12 ^a
	7	/	/	/	/	/	/
	10	/	/	/	/	/	/
70	1	1,98±0,96 ^b	1,00±0,17 ^b	3,67±1,13 ^c	288,63±0,06 ^b	37,93±17,48 ^{ab}	62,07±17,48 ^c
	3	4,39±0,88 ^c	0,84±0,16 ^b	2,52±0,34 ^c	288,47±0,15 ^a	64,81±6,52 ^d	35,19±6,52 ^a
	5	3,01±0,09 ^c	0,75±0,26 ^{ab}	3,09±1,43 ^c	288,53±0,11 ^b	57,92±15,25 ^c	42,07±15,25 ^b
	7	1,55±0,14 ^a	1,24±0,51 ^{bc}	7,38±2,08 ^e	288,43±0,06 ^a	68,27±6,60 ^d	31,73±6,60 ^a
	10	2,31±0,83 ^b	1,03±0,15 ^b	6,64±3,69 ^{de}	288,53±0,06 ^b	30,80±2,08 ^a	69,20±2,08 ^c
80	1	9,14±4,25 ^d	1,98±0,04 ^c	1,22±0,27 ^b	288,60±0,02 ^b	66,89±6,90 ^d	33,11±6,90 ^a
	3	8,98±2,86 ^d	4,02±1,70 ^e	1,07±0,22 ^b	287,47±0,06 ^a	42,09±13,23 ^b	57,90±13,23 ^c
	5	11,70±3,24 ^{de}	2,47±0,84 ^d	1,43±0,20 ^b	288,37±0,15 ^a	66,88±14,95 ^d	33,12±14,95 ^a
	7	6,19±1,44 ^d	1,95±0,08 ^c	1,09±0,05 ^a	288,37±0,06 ^a	55,93±13,35 ^c	44,07±13,35 ^b
	10	4,95±0,11 ^e	1,08±0,29 ^b	2,27±0,55 ^c	288,53±0,15 ^b	63,33±16,57 ^{cd}	36,67±16,57 ^{ab}

^{a-c} Srednje vrednosti praćene različitim slovom statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$)

U tabeli 26 su prikazane promene vrednosti maksimalne popustljivosti (J_{max}) namaza sa MCG gelom tokom faze delovanja konstantnog napona. Maksimalna popustljivost ovih namaza izrazito je povećana pri primeni visokih udela MCG gela od 80%, za ceo red veličine u odnosu na namaze sa nižim udelima gela, dok se primenom MCG gela visokih koncentracija iznad 5% uočava tendencija opadanja maksimalne popustljivosti sistema. Ove promene maksimalne popustljivosti odrazile su se i na vrednosti Njutnovskog viskoziteta koji opisuje viskozitet sistema tokom faze delovanja napona. Njutnovski viskozitet namaza opada sa porastom udela MCG gela u namazu i kod namaza sa 80% MCG gela je, u proseku, 7,63 puta manji u odnosu na namaze sa 60% MCG gela. Tendencija porasta Njutnovskog viskoziteta ispoljava se sa porastom koncentracije primenjenog gela. Vrednosti ovih parametara puzavosti namaza analizirane su ANOVA metodom i poređene primenom Duncan-ovog testa, na osnovu čega se uočava statistički značajan ($p < 0,05$) uticaj udela MCG gela i to u kombinaciji sa statistički značajnom interakcijom između udela i koncentracije gela, koja je uočljiva tek pri visokim udelima MCG gela.

Sposobnost namaza da se oporavi nakon prestanka dejstva napona uslovljena je doprinosom elastičnih komponenti maksimalnoj puzavosti namaza. Deo deformacija zaostalih nakon delovanja napona je viskozni deo u maksimalnoj popustljivosti (J_v/J_{max}), a deo obnovljivih, povratnih deformacija je elastični deo u maksimalnoj popustljivosti sistema (J_e/J_{max}) (Onyango i sar., 2009). Relativno ujednačena raspodela ovih deformacija nakon faze oporavka namaza ukazuje na ravnotežu između elastičnih i viskoznih komponenti sistema i dobru mogućnost delimičnog oporavka.

Dominantan uticaj povećanja udela gela u namazu na maksimalnu popustljivost J_{max} i Njutnovski viskozitet η_0 karakteristika je i namaza sa WFG gelom (tabela 27).

Tabela 27. Parametri modela po Burgers-u za krive puzanja namaza sa WFG zamenjivačem masti

Sastav namaza sa WFG zamenjivačem masti		Faza delovanja napona					
Udeo [%]	Koncentracija gela [%]	$J_0 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-5}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_{max} \cdot 10^4 \pm SD$ [1/Pa]	
60	1	0,46±0,05 ab	0,60±0,15 b	11,14±2,63 d	92,47±0,03 b	1,96±0,42 ab	
	3	0,52±0,30 b	0,39±0,19 a	9,64±2,54 d	91,89±0,23 a	1,55±0,53 a	
	5	0,47±0,08 b	0,89±0,19 c	8,68±1,55 cd	92,45±0,09 b	2,48±0,43 b	
	7	/	/	/	/	/	
	10	/	/	/	/	/	
70	1	0,94±0,27 c	0,86±0,06 bc	8,18±0,52 c	92,49±0,03 b	2,55±0,15 b	
	3	0,58±0,09 b	0,59±0,16 ab	10,71±1,51 d	92,36±0,05 b	1,59±0,15 a	
	5	0,51±0,34 b	1,24±0,41 cd	6,17±2,38 bc	92,33±0,04 b	3,76±1,24 c	
	7	/	/	/	/	/	
	10	/	/	/	/	/	
80	1	1,88±0,32 d	1,92±0,21 e	3,62±0,36 b	92,40±0,11 b	5,70±0,73 e	
	3	1,65±0,26 d	1,26±0,25 d	5,20±0,25 b	92,31±0,09 b	4,13±0,35 d	
	5	1,13±0,59 cd	1,38±0,33 d	4,49±1,34 b	92,27±0,04 b	4,61±0,54 d	
	7	0,53±0,10 b	0,29±0,16 a	1,86±0,21 a	92,32±0,09 b	1,97±0,32 b	
	10	0,39±0,03 a	0,94±0,20 c	6,13±3,15 b	92,35±0,06 b	2,93±0,62 bc	
Faza oporavka							
		$J_0 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$J_1 \pm SD \cdot 10^4$ [1/Pa]	$\eta_0 \pm SD \cdot 10^{-5}$ [Pas]	$\lambda_1 \pm SD$ [s]	$J_e/J_{max} \pm SD$ [%]	$J_v/J_{max} \pm SD$ [%]
60	1	1,65±0,54 bc	0,59±0,03 a	6,35±1,98 b	288,60±0,01 c	37,82±26,75 b	62,18±26,75 b
	3	1,22±0,39 b	0,88±0,06 b	10,26±2,78 b	287,47±0,15 b	61,53±8,65 d	38,47±8,65 a
	5	1,94±0,39 c	0,45±0,09 a	7,49±1,89 b	288,57±0,12 b	39,27±32,94 b	60,73±32,94 b
	7	/	/	/	/	/	/
	10	/	/	/	/	/	/
70	1	1,97±0,03 c	0,34±0,11 a	7,19±1,52 b	288,63±0,06 c	63,54±14,60 d	36,46±14,60 a
	3	1,23±0,12 b	0,52±0,05 a	4,46±1,32 a	288,53±0,06 b	49,87±28,06 bc	50,13±28,06 b
	5	3,43±1,21 d	1,33±0,58 b	1,94±0,05 a	288,50±0,01 b	10,52±2,31 a	89,48±2,31 d
	7	/	/	/	/	/	/
	10	/	/	/	/	/	/
80	1	4,21±0,61 c	0,69±0,17 a	3,24±0,75 a	288,57±0,06 c	66,27±6,04 d	33,73±6,04 a
	3	2,29±0,17 cd	0,64±0,08 a	3,19±0,18 a	287,37±0,06 a	58,57±8,67 cd	41,43±8,67 ab
	5	3,86±0,62 d	2,28±0,75 c	14,58±0,56 c	288,47±0,05 b	18,33±12,11 ab	81,67±12,11 cd
	7	0,42±0,04 a	0,37±0,22 a	33,51±5,36 c	288,53±0,06 b	26,91±16,34 b	73,09±16,34 bc
	10	2,78±0,67 d	0,94±0,12 b	26,15±3,38 c	288,57±0,05 c	15,35±6,73 a	90,65±6,73 d

a-c Srednje vrednosti praćene različitim slovom statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$)

Porast udela WFG gela za 10% povećava maksimalnu popustljivost namaza za 28,18–101,8%, odnosno smanjuje viskozitet namaza za 22,21–44,78%. Na osnovu toga uočava se manji doprinos porasta udela WFG gela na promene vrednosti parametara puzavosti u odnosu na namaze sa MCG gelom. Takođe, namazi sa WFG gelom imaju manju sposobnost oporavka tokom faze relaksacije sistema u poređenju sa namazima koji sadrže MCG gel. Ova osobina uočljiva je pri visokom udelu WFG gela (80%) i

njegovim koncentracijama većim od 3%, što se ispoljava u vidu slabog doprinosa elastičnih defomacija u maksimalnoj puzavosti ovih namaza.

Na osnovu determinacije viskoelastičnih svojstava svi dobijeni namazi su kompleksni viskoelastični sistemi sa dominantnim komponentama elastične prirode. Elastičnosti sistema pri malim deformacijama, odnosno smanjenju odnosa između G'' i G' , malo doprinosi porast koncentracije gela kod namaza sa MCG gelom i to pri niskom udelu gela, dok kod namaza sa WFG gelom elastičnost sistema se blago povećava sa porastom udela gela. Povećanje udela gela takođe značajno povećava popustljivost kod svih namaza, koja je uslovljena konzistencijom namaza. Čvrstoći konzistencije namaza doprinosi i porast koncentracije primenjenih gela, ali tek pri koncentracijama većim od 3%. Zahvaljujući ujednačenoj raspodeli elastičnih i viskoznih komponenti dobijeni namazi sa MCG gelom pokazali su sposobnost izvesnog oporavka tokom faze relaksacije, dok je kod namaza sa WFG gelom ova sposobnost slabo izražena.

5.4.2. Teksturalne karakteristike namaza

Pored reološkog određivanja, kompletno definisanje fizičkih i mehaničkih svojstava polučvrstih prehrambenih proizvoda tipa namaza uključuje i određivanje teksturalnih osobina (Janssen i sar., 2007). Izuzetno važna teksturalna svojstva proizvoda tipa namaza su čvrstoća i mazivost, jer definišu sposobnost namaza da se uniformno rasporedi po površini (Di Monaco i sar., 2008; Shakerardekani i sar., 2013b). Čvrstoća namaza se može izraziti silom potrebnom za postizanje određene deformacije ili iznosom deformacije pod datom silom i kao i mazivost je dinamičko svojstvo namaza. Uloženi rad pri ostvarenoj sili smicanja predstavlja mazivost namaza. Čvrstoća namaza i rad smicanja su vrlo usko povezani parametri teksture. Porast vrednosti čvrstoće uvek je praćen i porastom vrednosti rada smicanja. Niske vrednosti čvrstoće i rada smicanja ukazuju na veću mazivost proizvoda tipa namaza (Dubost i sar., 2003). Adhezivne sposobnosti namaza dodatno opisuju njegovu mazivost i definišu se na osnovu teksturalnih svojstava lepljivosti i rada adhezije, između kojih postoji visoka korelacija. Veća lepljivost zahteva veću silu pri povratku mernog pribora kroz uzorak i prouzrokuje veće vrednosti rada adhezije (TAHD, 2004). Teksturalne karakteristike namaza određene su adekvatnom instrumentalnom metodom opisanom u Poglavlju 4. Slična metoda primenjena je i pri određivanju teksturalnih svojstava namaza od pistaća (Shakerardekani et al. 2013a,b).

Radi određivanja jačine uticaja promenljivih faktora, koji definišu sastav namaza, na teksturalna svojstva dobijenih namaza primenjena je metoda planiranja eksperimenta koristeći potpuni faktorijalni dizajn. Posmatrana su tri ulazna faktora: udeo gela (oznaka A) je numerička promenljiva sa vrednostima na tri nivoa (60, 70 i 80%), zatim, takođe numerička promenljiva koncentracija gela (oznaka B) sa vrednostima na pet nivoa (1, 3, 5, 7 i 10%) i kategorička promenljiva vrsta gela (oznaka C) sa dva nivoa (MCG i WFG). Parametri teksturalnih osobina namaza predstavljaju izlazne veličine: čvrstoća namaza, rad smicanja, lepljivost i rad adhezije. Za svaku od izlaznih veličina izvršeno je po 30 merenja po unapred preporučenom redosledu.

Izmerene vrednosti teksturalnih parametara i deskriptivna statistika izlaznih veličina prikazane su u tabelama 28 i 29. Takođe je urađena analiza značajnosti uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na izlazne veličine pri čemu su primenjene statističke metode ANOVA i analiza ostataka (residual analysis). Uticaji ulaznih faktora i njihovih interakcija na posmatrane izlazne parametre teksture izraženi su procentualno na osnovu odgovarajućih suma kvadrata (sum of squares).

Tabela 28. Nivoi ulaznih faktora i vrednosti izlaznih veličina

R.b.	Ulazni faktori			Izlazni faktori			
	A	B	C	Čvrstoća [g]	Rad smicanja [gsec]	Lepljivost [g]	Rad adhezije [gsec]
28	60	1	MCG	2845,75	3142,89	-2174,00	-129,19
19	70	1	MCG	783,29	838,61	-500,52	-114,77
1	80	1	MCG	153,49	131,70	-155,44	-50,96
10	60	3	MCG	9099,23	9892,19	-3660,34	-185,21
2	70	3	MCG	1344,72	1422,65	-914,88	-199,86
24	80	3	MCG	222,76	248,01	-183,50	-59,36
29	60	5	MCG	12111,99	13761,93	-4158,91	-217,89
12	70	5	MCG	1979,29	2171,13	-1381,01	-284,97
11	80	5	MCG	429,80	477,43	-366,34	-112,67
22	60	7	MCG	14212,72	14801,40	-3812,12	-326,19
16	70	7	MCG	3149,01	3437,23	-2097,37	-261,62
6	80	7	MCG	962,27	1094,13	-801,75	-223,69
23	60	10	MCG	15886,50	16084,04	-4958,46	-423,81
18	70	10	MCG	3855,42	4336,48	-3564,95	-301,35
26	80	10	MCG	1601,59	1705,28	-880,47	-238,63
8	60	1	WFG	3219,67	3446,82	-1164,35	-116,52
27	70	1	WFG	968,81	991,31	-938,47	-96,22
3	80	1	WFG	272,32	250,27	-260,14	-72,65
4	60	3	WFG	4075,30	4589,26	-2723,93	-139,70
15	70	3	WFG	3997,49	4063,84	-1570,96	-105,60
13	80	3	WFG	1362,82	1247,90	-679,04	-88,74
17	60	5	WFG	4127,39	4491,12	-2393,01	-133,51
7	70	5	WFG	7231,46	7994,99	-2143,04	-136,93
5	80	5	WFG	2089,19	2045,37	-977,48	-87,54
14	60	7	WFG	14212,72	14801,40	-3812,12	-326,19
25	70	7	WFG	10851,33	12012,76	-2092,22	-138,33
9	80	7	WFG	3511,05	3954,75	-1294,12	-88,25
30	60	10	WFG	15069,00	16502,42	-4736,18	-319,36
20	70	10	WFG	11050,69	10374,40	-2527,03	-174,38
21	80	10	WFG	4075,30	4589,26	-1250,71	-103,48

Tabela 29. Deskriptivna statistika izlaznih veličina

Izlazne veličine	Minimum	Maximum	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Max/Min
Čvrstoća	153,49	15886,5	5158,41	4986,54	103,5
Rad smicanja	131,7	16502,42	5496,7	5264,17	125,3
Lepljivost	155,44	4958,46	1939,09	1394,55	31,9
Rad adhezije	50,96	423,81	175,25	94,83	8,32

Deskriptivna statistika izlaznih veličina obuhvata minimalne i maksimalne vrednosti, srednje vrednosti izlaznih veličina, standardnu devijaciju i odnos max/min, koji eventualno ukazuje na neophodnost transformacije vrednosti izlazne veličine (ukoliko je veći od 10). Prema tome, vrednosti za parametre čvrstoće i rada smicanja su podvrgnute logaritamskoj transformaciji, a kod parametra lepljivost rađena je transformacija kvadratni koren.

Ispitana je značajnost uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na čvrstoću namaza i rad smicanja i rezultati su prikazani u ANOVA tabelama 30 i 31. ANOVA tabele sadrže vrednosti sume kvadrata SS (sum of squares), broj stepeni slobode df (degree of freedom), MS (mean square), F vrednost i p vrednost. Na osnovu p vrednosti i kod čvrstoće namaza i kod rada smicanja kao statistički značajni se mogu izdvojiti uticaji faktora: udeo gela, koncentracija gela, vrsta gela i interakcija između udela i vrste gela.

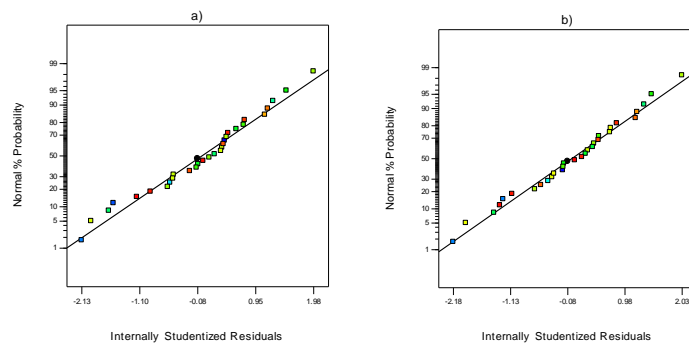
Tabela 30. ANOVA tabela za čvrstoću

Čvrstoća	SS	df	MS	F	p
Model	8,9	9	0,99	50,88	< 0,0001
A-A	4,57	2	2,28	117,41	< 0,0001
B-B	3,1	4	0,78	39,87	< 0,0001
C-C	0,54	1	0,54	27,8	< 0,0001
AC	0,7	2	0,35	17,88	< 0,0001
Ostatak	0,39	20	0,019		
Total	9,29	29			

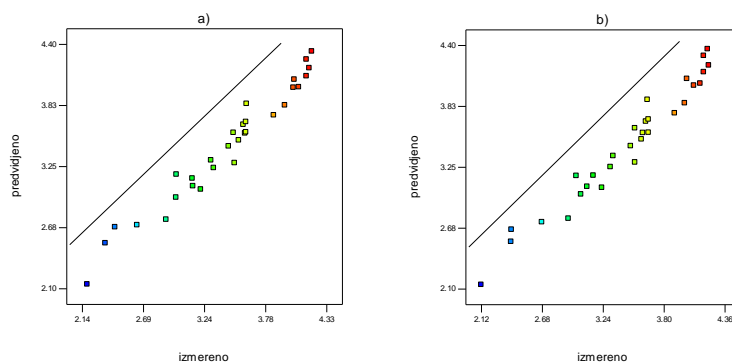
Tabela 31. ANOVA tabela za rad smicanja

Rad smicanja	SS	df	MS	F	p
Model	9,21	9	1,02	47,61	< 0,0001
A-A	4,77	2	2,38	110,82	< 0,0001
B-B	3,31	4	0,83	38,44	< 0,0001
C-C	0,49	1	0,49	22,96	< 0,0001
AC	0,65	2	0,32	15,07	< 0,0001
Ostatak	0,43	20	0,022		
Total	9,64	29			

Kao preduslov za primenu ANOVE proverena je pretpostavka normalnosti raspodele ostataka kod obe izlazne veličine (slika 50), koja je i potvrđena na osnovu raspodele vrednosti bliskih pravoj liniji. Takođe, visoke vrednosti koeficijenta $R^2=0,9581$ za čvrstoću i $R^2=0,9554$ za rad smicanja ukazuju na veliki stepen podudarnosti između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za obe posmatrane izlazne veličine, što potvrđuju i grafici odnosa izmerenih i predviđenih vrednosti (slika 51).

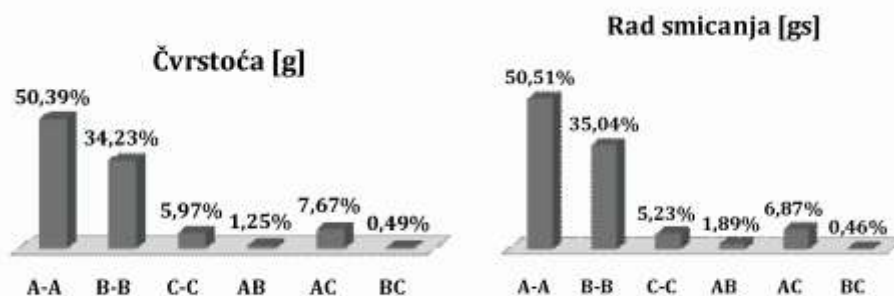


Slika 50. Grafici normalne raspodele ostataka kod izlazne veličine a) čvrstoće i b) rada smicanja



Slika 51. Grafici odnosa izmerenih i predviđenih vrednosti za izlaznu veličinu a) čvrstoću i b) rad smicanja

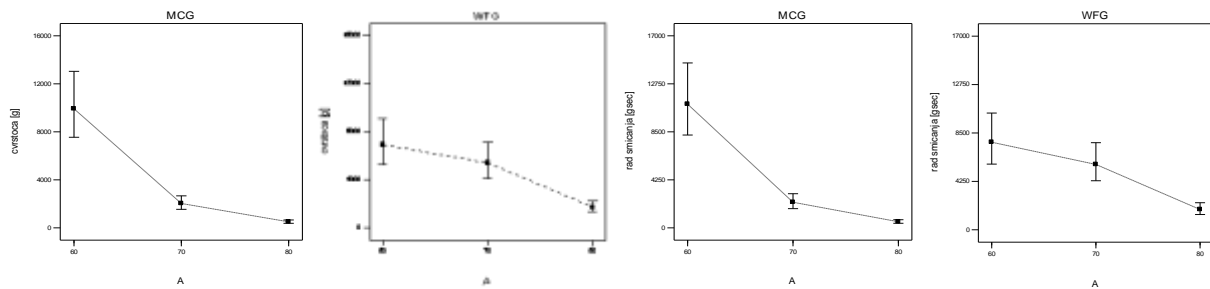
Procentualno izraženi uticaji ulaznih faktora na izlazne parametre teksture, čvrstoću i rad smicanja, su približno isti (slika 52). Pri tome je najjači uticaj udela gela na vrednosti čvrstoće i rada smicanja 50,39% i 50,51%, respektivno, dok je uticaj koncentracije gela slabiji, 34,23% i 35,04%.



Slika 52. Procentualno izraženi uticaji faktora i interakcije faktora na čvrstoću i rad smicanja

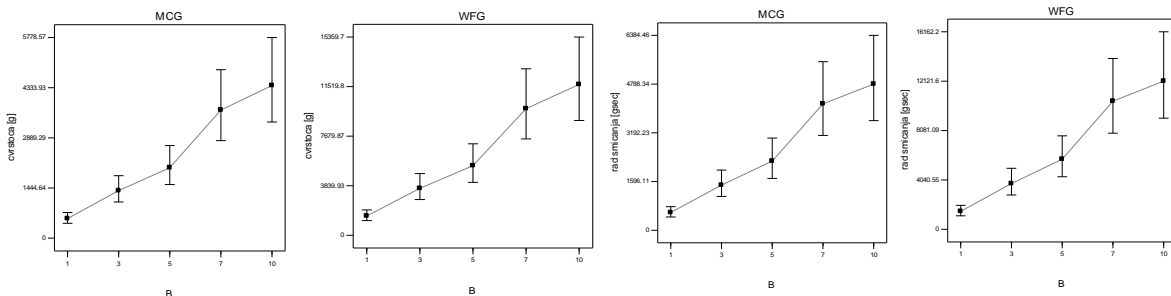
Tendencija promene čvrstoće namaza i vrednosti rada smicanja sa porastom udela MCG gela je jakog negativnog smera. Kod namaza sa WFG gelom porast udela gela od 60 do 70% ima slabiji negativan smer uticaja na vrednosti oba teksturalna parametra, dok sa porastom udela gela od 70 do 80% jačina negativnog uticaja se povećava, što je prikazano graficima na slici 53. Usled ovih razlika u promeni čvrstoće

namaza i promeni rada smicanja sa porastom udela gela kod namaza sa različitim vrstama gela, ispoljava se i slabiji ali statistički značajan uticaj interakcije između udela i vrste gela (7,67% i 6,87%).

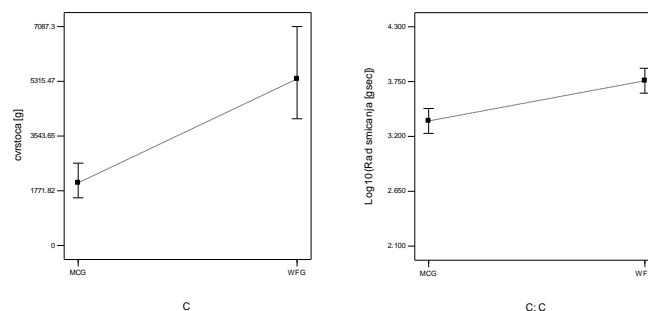


Slika 53. Jačina i smer uticaja udela gela na čvrstoću i rad smicanja kod namaza sa različitim vrstama gela (pri B=5%)

Uticaj porasta koncentracije gela na čvrstoću namaza i vrednost rada smicanja ima pozitivan smer i kod namaza sa MCG i kod namaza sa WFG gelom (slika 54). Takođe, slab uticaj vrste gela na vrednosti čvrstoće namaza i rada smicanja (5,97% i 5,23%) odlikuje se i pozitivnim smerom sa promenom vrste gela, usled nešto većih vrednosti teksturalnih parametara kod namaza sa WFG gelom u odnosu na vrednosti kod namaza sa MCG gelom (slika 55).



Slika 54. Jačina i smer uticaja koncentracije gela na čvrstoću i rad smicanja namaza sa različitim vrstama gela (pri A= 70%)



Slika 55. Jačina i smer uticaja vrste gela na čvrstoću namaza i rad smicanja (pri A=70% i B=5%)

Teksturalni parametri definisani pri povratku mernog pribora kroz namaz su lepljivost i rad adhezije. Ispitana značajnost uticaja ulaznih faktora i njihovih interakcija na lepljivost i rad adhezije prikazana je u ANOVA tabelama 32 i 33.

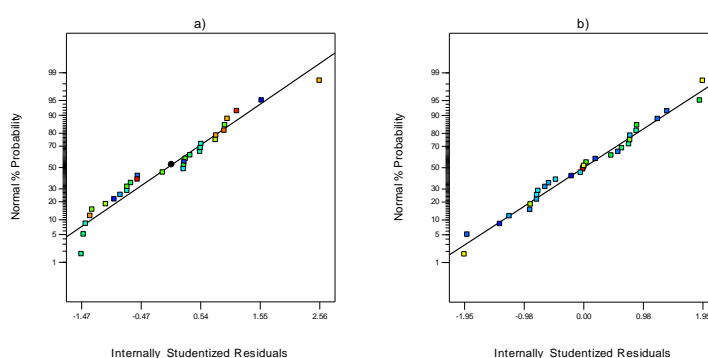
Tabela 32. ANOVA tabela za lepljivost

Lepljivost	SS	df	MS	F	p
Model	5,25	17	0,31	15,34	< 0,0001
A-A	2,17	2	1,08	53,83	< 0,0001
B-B	1,45	4	0,36	18,05	< 0,0001
C-C	0,071	1	0,071	3,52	0,0852
AB	1,35	8	0,17	8,38	0,0007
AC	0,21	2	0,1	5,17	0,024
Ostatak	0,24	12	0,02		
Total	5,49	29			

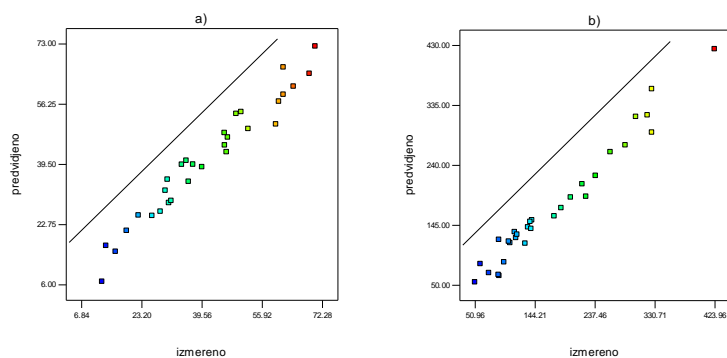
Tabela 33. ANOVA tabela za rad adhezije

Rad adhezije	SS	df	MS	F	p
Model	0,8	19	0,042	11,28	0,0002
A-A	0,2	2	0,098	26,14	0,0001
B-B	0,31	4	0,078	20,8	< 0,0001
C-C	0,091	1	0,091	24,39	0,0006
AB	0,15	8	0,019	4,98	0,0106
BC	0,055	4	0,014	3,67	0,0433
Ostatak	0,037	10	0,0037		
Total	0,84	29			

Na oba teksturalna parametra statistički značajno ($p < 0,05$) utiču udeo gela i koncentracija gela. Visoki koeficijenti $R^2 = 0,9531$ za lepljivost i $R^2 = 0,9655$ za rad adhezije ukazali su na veliku podudarnost između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za oba teksturalna parametra uz zadovoljene pretpostavke o normalnosti raspodele ostataka (slike 56 i 57).

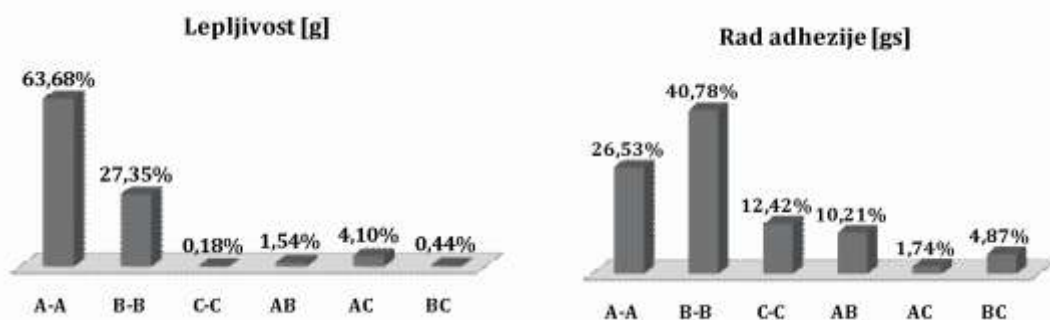


Slika 56. Grafici normalne raspodele ostataka kod izlazne veličine a) lepljivost i b) rad adhezije

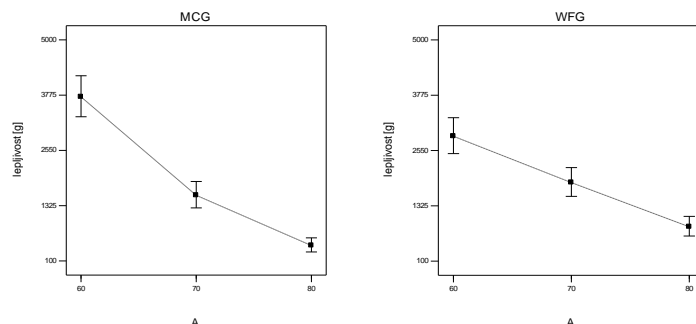


Slika 57. Grafici odnosa izmerenih i predviđenih vrednosti za izlaznu veličinu a) lepljivost i b) rad adhezije

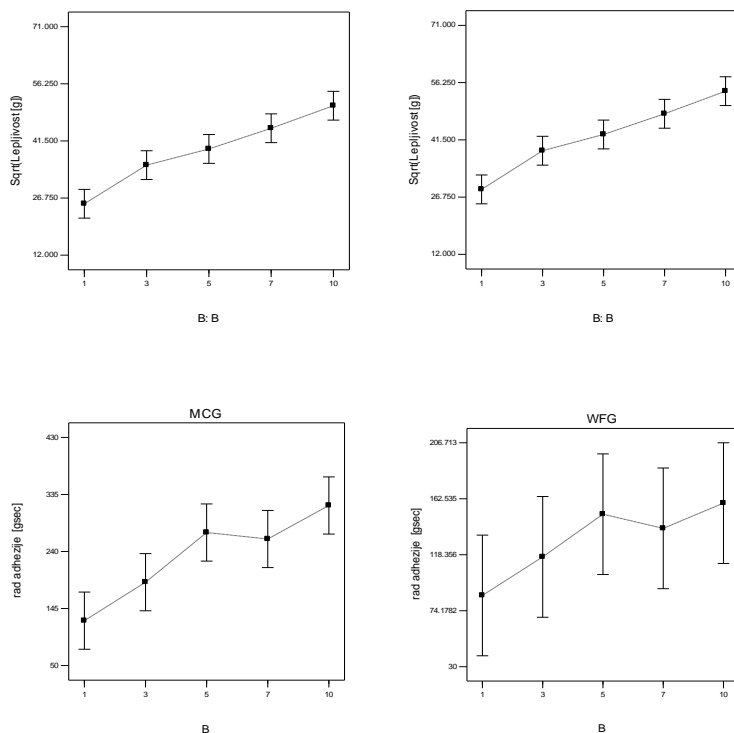
Pri tome je negativan uticaj porasta udela gela na lepljivost namaza i sa MCG i sa WFG gelom mnogo jači (63,68%) od uticaja koncentracije (27,35%) (slika 58 i 59). Koncentracija gela statistički značajano utiče i na lepljivost i na rad adhezije i pri porastu povećava vrednosti ovih parametara (slika 60). Doprinos porasta koncentracije na rad adhezije (40,78%) je veći od doprinosa udela gela (26,53%). Uticaj interakcije između udela gela i vrste gela na lepljivost namaza je slab (4,1%), ali takođe statistički značajan, zbog čega su promene rada adhezije sa porastom udela gela različite u zavisnosti od primene MCG gela ili WFG gela (slika 61).



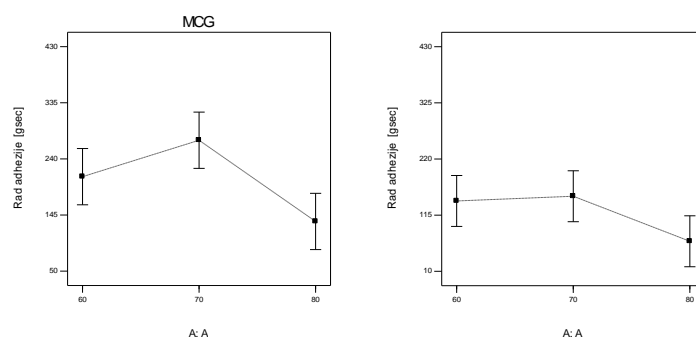
Slika 58. Vrednosti uticaja faktora i interakcije faktora na lepljivost namaza i na rad adhezije



Slika 59. Jačina i smer uticaja udela gela na lepljivost namaza sa MCG i sa WFG gelom (pri B=5%)



Slika 60. Jačina i smer uticaja koncentracije gela na lepljivost i rad adhezije kod namaza sa MCG i sa WFG gelom (pri A=70%)



Slika 61. Jačina i smer uticaja udela gela na rad adhezije pri primeni različite vrste gela (pri A=70% i B=5%)

Parametri teksture namaza potvrdili su rezultate reološkog posmatranja. Čvrstoća svih namaza je pod dominantnim uticajem udela gela u namazu i kao i rad smicanja se izrazito smanjuje sa porastom udela zamenjivača masti. Veličina uticaja porasta udela zamenjivača masti u namazu za 10% na smanjenje čvrstoće i rada smicanja je oko 50%. Složenoj strukturi namaza doprinosi visok stepen umreženosti primenjenog zamenjivača masti, tako da veće koncentracije primenjenog gela u namazu povećavaju čvrstoću i rad smicanja. Veličina tog uticaja na oba teksturalna parametra je nešto manja i iznosi oko 30%. Primenom MCG gela može se postići manja čvrstoća namaza u odnosu na namaze sa WFG gelom. Primenom većeg udela gela u namazu (80%) postiže se manja lepljivost namaza.

5.4.3. Boja namaza

Instrumentalno određivanje boje namaza obuhvata merenje parametara L^* (svetloće), a^* (udela crvene, odnosno zelene boje), b^* (udela žute, odnosno plave boje), C^* (zasićenosti boje), h (nijanse boje) i DW (dominantne talasne dužine). Nivoi ulaznih faktora i vrednosti izlaznih veličina za boju namaza izmerene po unapred preporučenom redosledu prikazane su u tabeli 34.

Tabela 34. Nivoi ulaznih faktora i vrednosti izlaznih veličina za boju namaza

R.b.	Ulazni faktori			Izlazni faktori					
	A	B	C	L^*	a^*	b^*	C^*	h	DW
3	60	1	MCG	55,00	-7,06	26,75	27,66	104,78	571,17
11	70	1	MCG	58,63	-7,07	26,07	27,01	105,17	571,20
28	80	1	MCG	61,77	-7,04	25,53	26,48	105,43	571,13
14	60	3	MCG	55,14	-7,03	26,50	27,42	104,87	571,15
22	70	3	MCG	57,48	-6,98	25,71	26,64	105,18	571,10
6	80	3	MCG	59,69	-7,02	25,74	26,69	105,26	571,10
20	60	5	MCG	53,51	-6,85	26,06	26,95	104,72	571,19
9	70	5	MCG	57,73	-7,06	25,81	26,76	105,29	571,06
18	80	5	MCG	59,24	-7,05	25,62	26,57	105,39	571,05
21	60	7	MCG	53,16	-6,80	25,56	26,45	104,91	571,14
16	70	7	MCG	56,68	-7,03	25,47	26,42	105,44	571,01
29	80	7	MCG	58,32	-6,97	26,15	26,15	105,45	571,03
25	60	10	MCG	52,68	-6,62	25,10	25,96	104,79	571,10
4	70	10	MCG	55,93	-6,89	24,81	25,75	105,52	571,03
17	80	10	MCG	58,30	-6,91	24,97	25,91	105,47	570,95
27	60	1	WFG	54,53	-7,01	26,84	27,74	104,63	571,15
5	70	1	WFG	56,04	-6,96	26,63	27,53	104,65	571,07
12	80	1	WFG	59,00	-7,15	26,07	27,03	105,34	571,10
2	60	3	WFG	54,21	-6,97	26,48	27,38	104,75	571,17
7	70	3	WFG	56,18	-7,07	26,03	26,97	105,19	571,07
1	80	3	WFG	59,08	-7,09	25,94	26,89	105,29	571,07
30	60	5	WFG	54,14	-6,75	26,71	27,55	104,19	571,37
10	70	5	WFG	55,58	-6,97	26,31	27,22	104,85	571,17
8	80	5	WFG	59,29	-7,13	25,93	26,89	105,38	571,04
26	60	7	WFG	49,24	-6,09	25,52	26,24	103,42	571,61
13	70	7	WFG	56,30	-6,96	26,09	27,00	104,94	571,15
19	80	7	WFG	55,98	-6,83	25,70	26,60	104,89	571,18
23	60	10	WFG	50,78	-6,00	26,03	26,71	102,98	571,57
24	70	10	WFG	56,59	-7,05	26,96	27,87	104,65	571,12
15	80	10	WFG	56,93	-7,00	25,95	26,88	105,09	571,06

Promene vrednosti ovih parametara sa promenom sastava namaza su male, što potvrđuju i male vrednosti standardnih devijacija i vrednosti odnosa max/min bliske jedinici dobijene u okviru deskriptivne statistike svih merenih veličina. Takođe, sve merene veličine se odlikuju visokim vrednostima koeficijenta R^2 , prikazanim u tabeli 35.

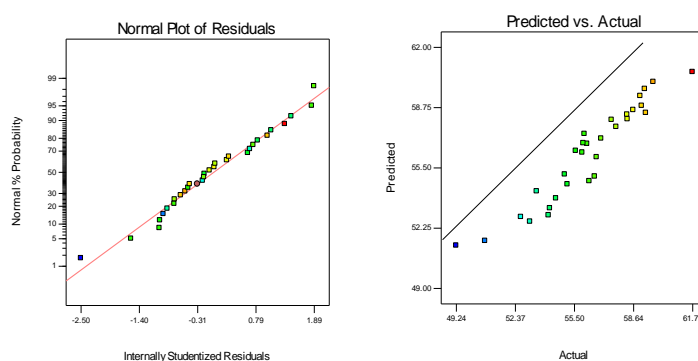
Tabela 35. Deskriptivna statistika izlaznih parametara boje namaza i koeficijenti R^2

Izlazne veličine	Minimum	Maximum	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Max/Min	R^2
L*	49,24	61,77	56,24	2,7	1,25	0,9066
a*	6	7,15	6,91	0,26	1,19	0,8663
b*	24,81	26,96	25,97	0,53	1,09	0,9450
C*	25,75	27,87	26,84	0,54	1,08	0,9491
h	102,98	105,52	104,93	0,57	1,02	0,8537
DW	570,95	571,61	571,14	0,14	1	0,8056

U okviru ANOVA tabele za svetloću namaza uočava se statistički značajan uticaj udela gela, koncentracije gela i vrste gela (tabela 36). Slika 62 prikazuje raspodelu vrednosti bliskih pravoj liniji, na osnovu čega je pretpostavka o normalnosti raspodele ostataka potvrđena, dok je između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti stepen podudarnosti visok i na to ukazuje i vrednost koeficijenta R^2 (tabela 35).

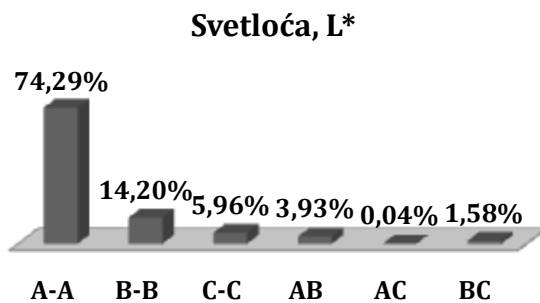
Tabela 36. ANOVA tabela za svetloću namaza

Svetloća	SS	df	MS	F	p
Model	198,11	7	28,3	30,5	< 0,0001
A-A	155,81	2	77,91	83,96	< 0,0001
B-B	29,79	4	7,45	8,02	0,0004
C-C	12,51	1	12,51	13,48	0,0013
Ostatak	20,41	22	0,93		
Total	218,52	29			

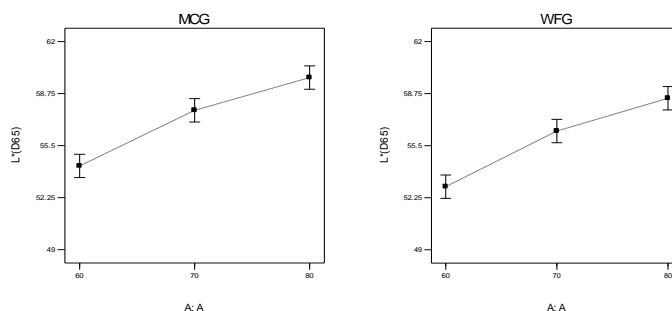


Slika 62. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za izlaznu veličinu svetloća namaza

Porast udela gela najjače utiče na svetloću namaza (74,29%), u odnosu na druge takođe statistički značajne uticaje koncentracije gela i vrste gela (slika 63). Pri tome, smer uticaja porasta udela gela je pozitivan i boja namaza je sa povećanjem sadržaja gela svetlija (slika 64).

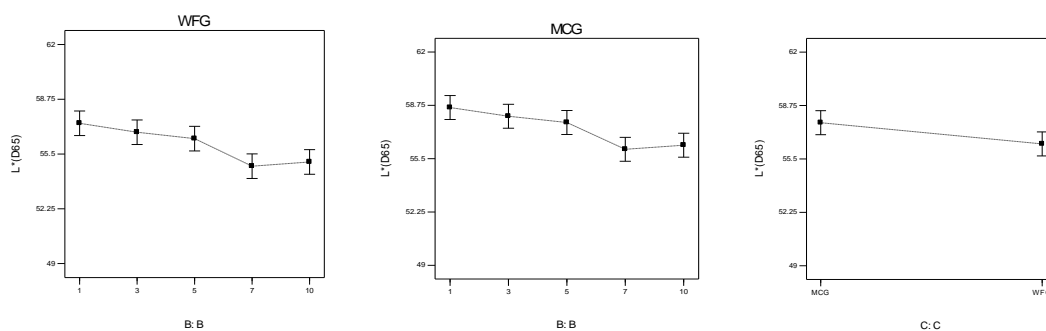


Slika 63. Jačina uticaja ulaznih faktora na svetloću namaza



Slika 64. Jačina i smer uticaja udela gela na svetloću namaza sa različitim vrstama gela (pri B=5%)

Doprinos koncentracije gela (14,20%) je mnogo manji od doprinosa udela gela i svetloća namaza blago opada sa porastom koncentracije gela. Namazi sa MCG gelom su svetliji od namaza sa WFG gelom usled malog doprinosa vrste gela (5,96%) (slika 65).

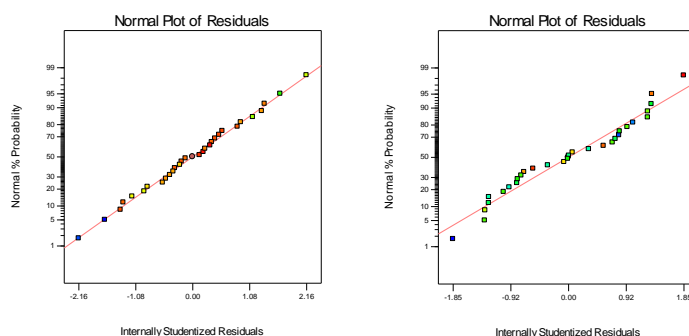


Slika 65. Jačina i smer uticaja koncentracije gela (pri A=70%) i uticaja vrste gela na svetloću namaza (pri A=70% i B=5%)

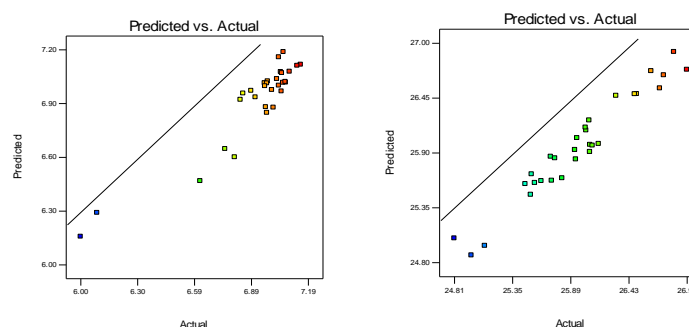
Na osnovu vrednosti parametara a^* i b^* zapaža se prisustvo zelenog i žutog tona u boji namaza, što je i u skladu sa primenjenim sirovinama. Statistički značajni uticaji udela gela, koncentracije gela i interakcije između udela gela i vrste gela na udeo zelene u boji namaza prikazani su ANOVA tabelom 37. Normalnost raspodele ostataka potvrđena je kod oba parametra boje (slika 66), a odnos između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti i za a^* i za b^* prikazani su graficima na slici 67.

Tabela 37. ANOVA tabela za udeo zelenog tona

a*	SS	df	MS	F	p
Model	1,74	17	0,1	4,57	0,0053
A-A	0,57	2	0,29	12,85	0,001
B-B	0,48	4	0,12	5,36	0,0103
C-C	0,062	1	0,062	2,77	0,1219
AB	0,44	8	0,055	2,46	0,078
AC	0,18	2	0,091	4,09	0,0442
Ostatak	0,27	12	0,022		
Total	2	29			

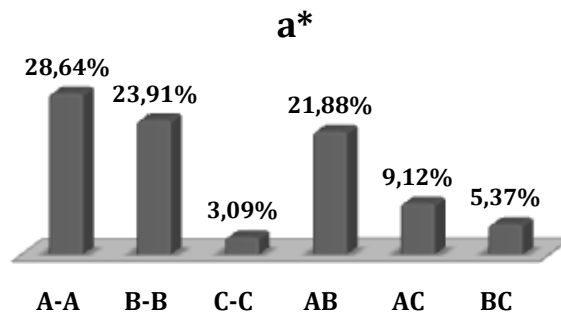


Slika 66. Grafici normalne raspodele ostataka za a) udeo zelenog tona i b) udeo žutog tona u boji namaza

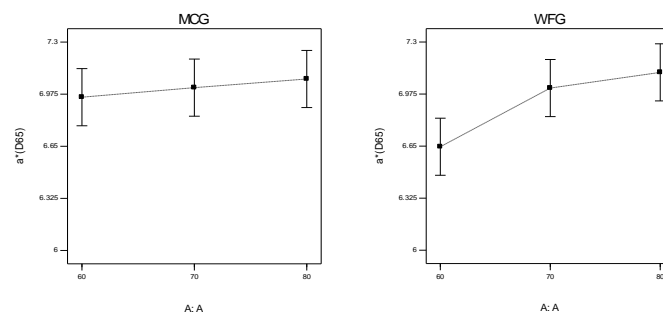


Slika 67. Grafici odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za a) udeo zelenog tona i b) udeo žutog tona u boji namaza

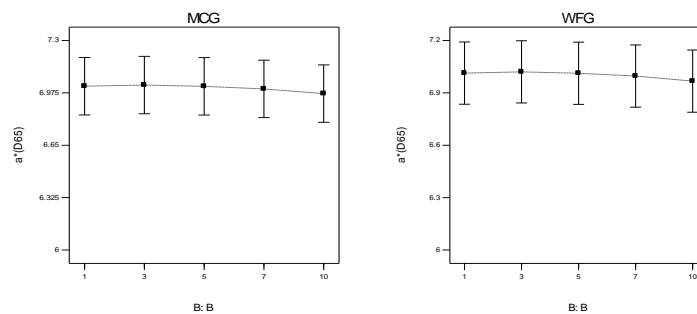
Na zastupljenost zelenog tona u boji namaza veći doprinos ima udeo gela (28,64%) u odnosu na doprinos koncentracije gela koji je 23,91% (slika 68). Sa porastom udela gela za 10% u sastavu namaza zastupljenost zelenog tona u boji namaza se povećava i ta promena je izraženija kod namaza sa WFG gelom nego kod namaza sa MCG gelom usled slabog (9,12%) statistički značajnog uticaja interakcije između udela gela i vrste gela (slika 69). Povećanje koncentracije odražava se na blagi pad udela zelenog tona u boji namaza (slika 70).



Slika 68. Doprinos ulaznih faktora na udeo zelenog tona u boji namaza



Slika 69. Jačina i smer uticaja udela gela na udeo zelenog tona kod namaza sa različitim vrstama gela (pri B=5%)



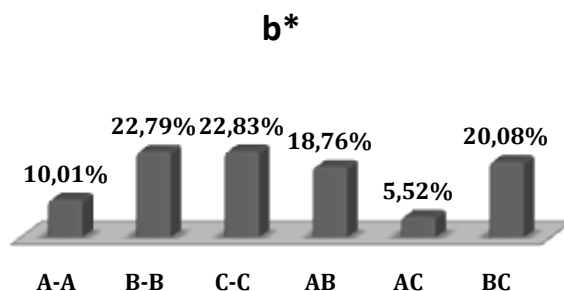
Slika 70. Jačina i smer uticaja koncentracije gela na udeo zelenog tona kod namaza sa različitim vrstama gela (pri A=70%)

Na udeo žutog tona u boji namaza statistički značajno utiču takođe udeo gela i koncentracija gela, pri čemu se može uočiti i statistički značajan uticaj vrste gela i interakcije između koncentracije i vrste gela (tabela 38).

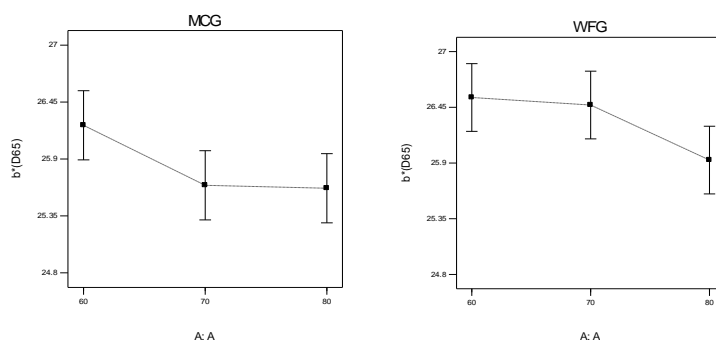
Tabela 38. ANOVA tabela za udeo žutog tona

b*	SS	df	MS	F	p
Model	7,87	21	0,37	6,54	0,0051
A-A	0,79	2	0,39	6,87	0,0183
B-B	1,79	4	0,45	7,83	0,0072
C-C	1,8	1	1,8	31,36	0,0005
AB	1,48	8	0,18	3,22	0,0591
AC	0,43	2	0,22	3,79	0,0695
BC	1,58	4	0,4	6,9	0,0105
Ostatak	0,46	8	0,057		
Total	8,33	29			

Udeo žutog tona u boji namaza je za razliku od udela zelenog tona pod većim uticajem porasta koncentracije gela (22,79%) u odnosu na uticaj porasta udela gela (10,01%) (slika 71). Pri primeni MCG gela uočava se intenzivniji pad udela žutog tona u namazu sa povećanjem udela gela sa 60 na 70%, nego pri povećanju sa 70 na 80%. Pri primeni WFG gela pad udela žutog tona je intenzivniji pri porastu udela gela sa 70 na 80% (slika 72).

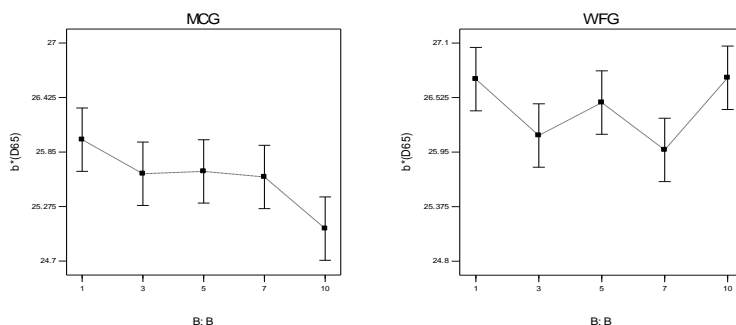


Slika 71. Doprinos ulaznih faktora na udeo žutog tona u boji namaza



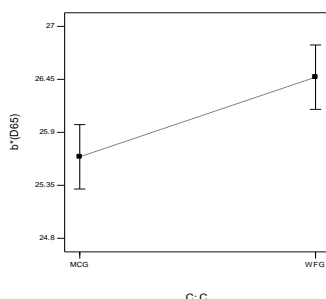
Slika 72. Jačina i smer uticaja udela gela na udeo žutog tona kod namaza sa različitim vrstama gela (pri B=5%)

Pri porastu koncentracije primenjenog gela udeo žutog tona ima tendenciju opadanja kod namaza sa MCG gelom (slika 73) i razlikuje se od promene udela žutog tona kod namaza sa WFG gelom usled statistički značajnog uticaja interakcije između koncentracije i vrste gela.



Slika 73. Jačina i smer uticaja koncentracije gela na udeo žutog tona kod namaza sa različitim vrstama gela (pri A=70%)

Primena WFG gela umesto MCG gela najviše se odrazila na zastupljenost žutog tona u boji namaza, tako da je uticaj ovog faktora najveći (22,83%). Pri tome su vrednosti udela žute boje za namaze sa WFG gelom veće za prosečno 1,9% od vrednosti b^* za namaze sa MCG gelom (slika 74).



Slika 74. Jačina i smer uticaja promene vrste gela na udeo žutog tona u namazu (pri $A=70\%$ i $B=5\%$)

Kombinacijom prethodno opisanih parametara boje dobijaju se izvedeni parametri boje namaza, zasićenost C^* i nijansa h . Zasićenost, odnosno stepen čistoće boje, statistički značajno zavisi od udela gela, koncentracije i vrste gela i od interakcije između koncentracije i vrste gela (tabela 39). Na nijansu boje, na osnovu rezultata prikazanih u ANOVA tabeli 40, statistički značajno utiču udeo gela i vrsta gela.

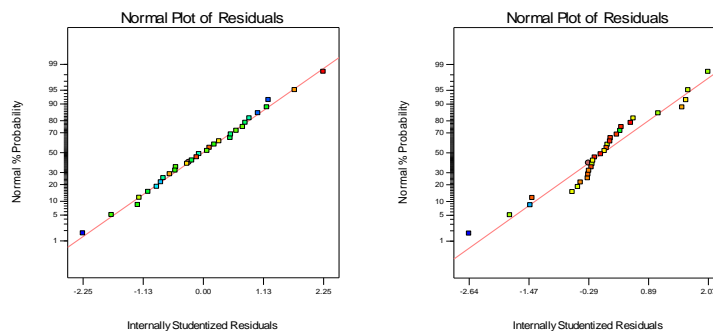
Tabela 39. ANOVA tabela za zasićenost boje

C^*	SS	df	MS	F	p
Model	8,32	21	0,4	7,11	0,0038
A-A	0,87	2	0,44	7,83	0,0131
B-B	2,69	4	0,67	12,08	0,0018
C-C	1,97	1	1,97	35,26	0,0003
AB	1,22	8	0,15	2,73	0,0882
AC	0,4	2	0,2	3,55	0,079
BC	1,17	4	0,29	5,26	0,0224
Ostatak	0,45	8	0,056		
Total	8,77	29			

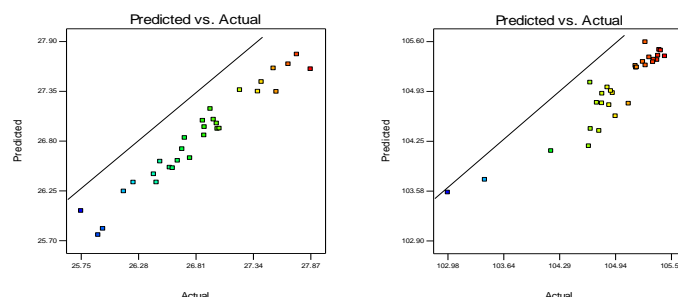
Tabela 40. ANOVA tabela za nijansu boje

h	SS	df	MS	F	p
Model	8,18	13	0,63	7,18	0,0002
A-A	4,37	2	2,19	24,96	<0,0001
B-B	0,43	4	0,11	1,24	0,335
C-C	1,84	1	1,84	21,03	0,0003
AC	0,48	2	0,24	2,74	0,0948
BC	1,05	4	0,26	3	0,0504
Ostatak	1,4	16	0,088		
Total	9,58	29			

Pretpostavka o normalnosti raspodele ostataka, kao preduslov za primenu ANOVE, kod obe izlazne veličine je potvrđena (slika 75), a između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti postoji velika podudarnost (slika 76), što je potvrđeno i visokim koeficijentima R^2 (tabela 35).

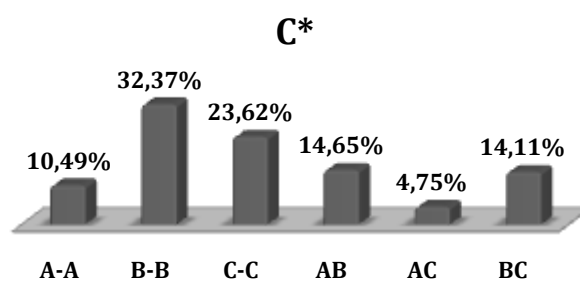


Slika 75. Grafici normalne raspodele ostataka za a) zasićenost i b) nijansu boje namaza

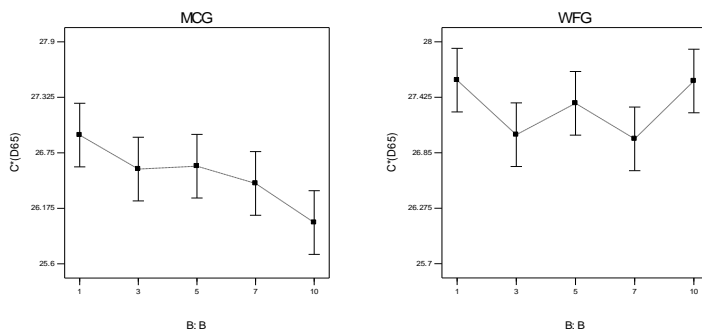


Slika 76. Grafici odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za a) zasićenost i b) nijansu boje namaza

Zasićenost, odnosno stepen čistoće boje, kao i udeo žutog tona u boji namaza uslovljena je najviše koncentracijom gela uz doprinos ovog faktora od 32,37% (slika 77) i uz tendenciju negativnog smera uticaja (slika 78). Uticaj interakcije između koncentracije i vrste gela odrazio se na razliku u promenama zasićenosti boje sa porastom koncentracije kod namaza sa MCG gelom i namaza sa WFG gelom.

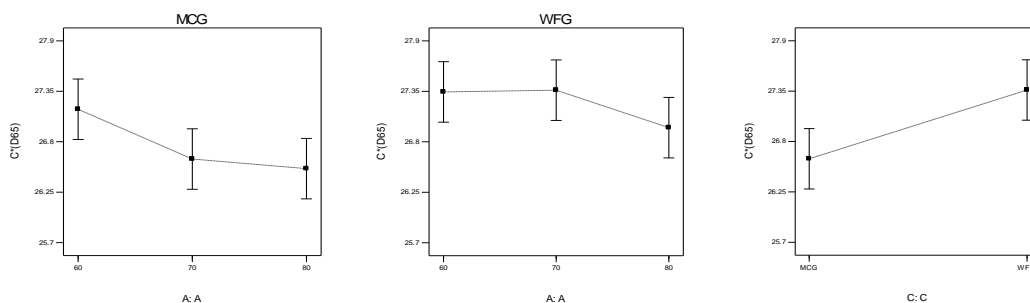


Slika 77. Doprinos ulaznih faktora na zasićenost boje namaza



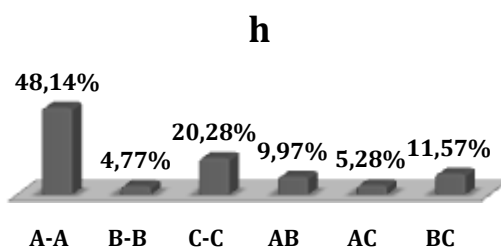
Slika 78. Jačina i smer uticaja koncentracije gela na zasićenost boje namaza sa različitim vrstama gela (pri A=70%)

Povećanje udela gela uslovljava pad zasićenosti boje namaza i, kao i kod udela žutog tona, pad zasićenosti boje namaza sa MCG gelom je intenzivan pri porastu udela sa 60 na 70%, a kod namaza sa WFG gelom pri porastu udela sa 70 na 80%. Znatan doprinos uticaja vrste gela (23,62%) na zasićenost boje odražava se u vidu veće zasićenosti boje namaza sa WFG gelom u odnosu na namaze sa MCG gelom, što odgovara porastu udela žutog tona sa primenom WFG gela (slika 79).

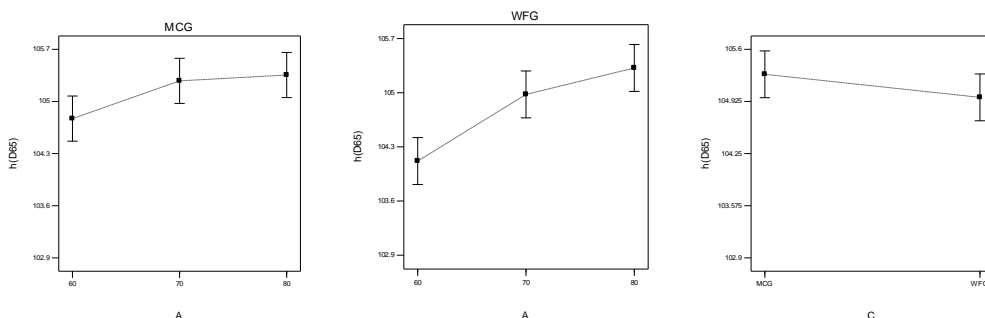


Slika 79. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na zasićenost boje namaza

Doprinos povećanja udela gela nijansi boje namaza je veliki, 48,14%, u odnosu na takođe statistički značajan uticaj vrste gela (20,28%) (slika 80). Pozitivan smer uticaja udela gela na nijansu boje namaza i opadanje nijanse boje namaza sa promenom MCG gela WFG gelom prikazani su na slici 81.



Slika 80. Doprinos ulaznih faktora na nijansu boje namaza



Slika 81. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na nijansu boje namaza

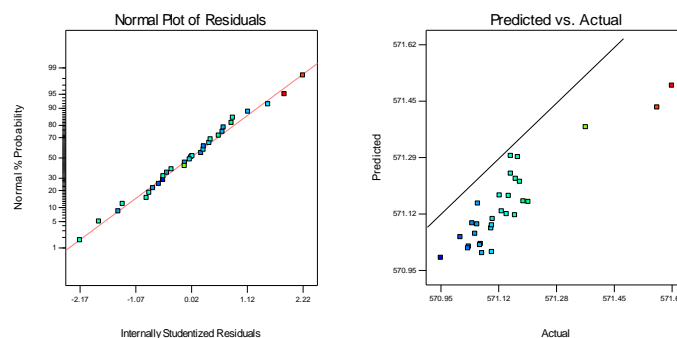
Na osnovu toga se može uočiti da primena WFG gela povećava udeo žutog tona i time umanjuje nijansu boje namaza, dok porast koncentracije gela smanjuje zasićenost boje namaza, koja je izraženija kod namaza sa WFG gelom. Povećanje udela gela u sastavu namaza povećava udeo zelenog tona i time doprinosi nijansi boje.

Sa ciljem preciznijeg određivanja boje izmerena je i dominantna talasna dužina (DW) u boji namaza. Ona se nalazi u opsegu vrednosti od 570,95 do 571,61 nm i odgovara boji na granici između žuto-zelene i zeleno-žute. Statistički značajni uticaji ulaznih faktora na vrednosti dominantne talasne dužine prikazani su ANOVA tabelom 41.

Tabela 41. ANOVA tabela za dominantnu talasnu dužinu

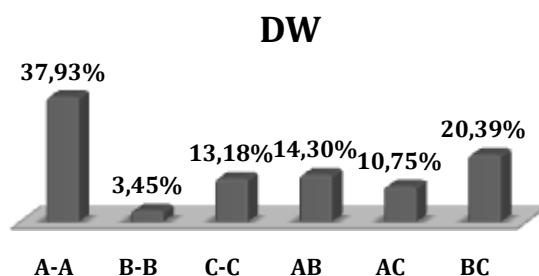
DW	SS	df	MS	F	p
Model	0,48	13	0,037	5,1	0,0014
A-A	0,21	2	0,11	14,67	0,0002
B-B	0,02	4	$4,88 \cdot 10^{-3}$	0,67	0,6234
C-C	0,074	1	0,074	10,2	0,0057
AC	0,061	2	0,03	4,16	0,0351
BC	0,12	4	0,029	3,94	0,0205
Ostatak	0,12	16	$7,3 \cdot 10^{-3}$		
Total	0,6	29			

Normalnost raspodele ostataka je zadovoljena, a koeficijent $R^2 = 0,8056$ ukazuje na podudarnost između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti (slika 82).

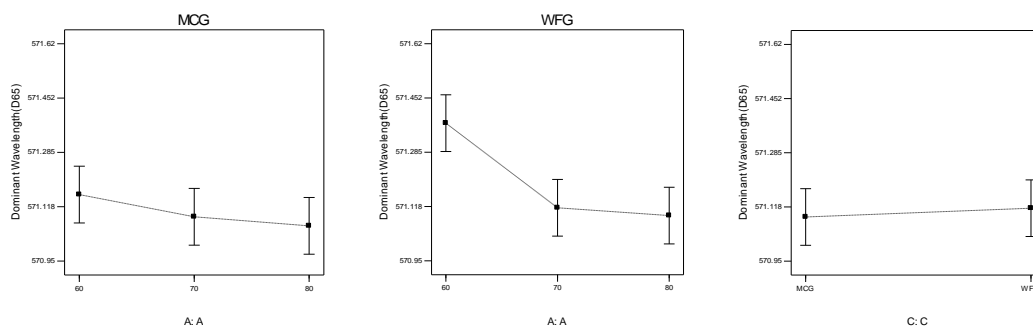


Slika 82. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za dominantnu talasnu dužinu boje namaza

Na vrednosti dominantne talasne dužine statistički značajno utiče udeo gela i vrsta primenjenog gela. Statistički su značajni i uticaji interakcija između udela gela i vrste gela, kao i koncentracije gela i vrste gela (tabela 41). Najveći je doprinos porasta udela gela na vrednosti dominantne talasne dužine (slika 83). Usled statistički značajne interakcije udela gela sa vrstom gela uticaj ovog faktora ispoljava se padom dominantne talasne dužine sa porastom udela gela, koji je izraženiji kod namaza sa WFG gelom u odnosu na namaze sa MCG gelom. Pri primeni WFG gela u sastavu namaza uočava se mali porast vrednosti dominantne talasne dužine usled slabijeg (13,18%) statistički značajnog uticaja vrste gela (slika 84).



Slika 83. Doprinos ulaznih faktora na vrednosti dominantne talasne dužine boje namaza



Slika 84. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na dominantnu talasnu dužinu boje namaza

Instrumentalno određivanje definisalo je boju namaza na granici između žuto-zelene i zeleno-žute. Vrsta primenjenog zamenjivača masti uslovljava udeo zelenog tona u boji namaza. Primena WFG zamenjivača masti doprinosi žutom tonu i pri tome umanjuje nijansu boje. Udeo gela u namazu je dominantan faktor uticaja na parametre boje. Kod svi namaza, porast udela gela u namazu doprinosi svetlijoj boji namaza.

5.4.4. Senzorska ocena namaza

Ocenjeni senzorski parametri namaza obuhvataju tri grupe senzorskih osobina koje se odnose na izgled namaza, njihovu teksturu, miris i ukus namaza. U tabeli 42 predstavljeni su nivoi ulaznih faktora i izmerene vrednosti izlaznih veličina, koje čine senzorske karakteristike namaza. Deskriptivna statistika merenih veličina prikazana je u tabeli 43.

Tabela 42. Nivoi ulaznih faktora i vrednosti izlaznih veličina za senzorsku ocenu namaza

R.b.	Ulazni faktori			Izlazni faktori*									
	A	B	C	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
28	60	1	MCG	5,833	3,833	4,000	6,500	5,500	5,500	1,833	6,000	6,000	2,667
17	70	1	MCG	6,167	3,667	4,000	6,000	5,000	4,833	2,500	6,000	6,000	3,000
11	80	1	MCG	6,833	4,000	3,000	6,167	2,000	2,000	1,833	6,000	6,000	3,833
14	60	3	MCG	6,000	3,833	4,000	6,667	5,500	5,500	2,000	5,833	6,000	2,333
26	70	3	MCG	6,000	3,667	3,833	6,167	5,000	4,833	2,333	6,000	6,000	3,333
15	80	3	MCG	7,000	4,000	3,000	6,333	2,000	2,000	1,833	6,333	6,000	3,500
12	60	5	MCG	6,000	4,000	4,000	6,667	5,667	5,833	2,333	6,000	5,833	2,333
25	70	5	MCG	6,667	4,167	4,000	6,000	5,167	4,500	3,333	5,667	6,167	4,667
29	80	5	MCG	7,000	4,000	3,000	6,167	2,500	2,833	3,333	5,833	6,167	4,167
23	60	7	MCG	5,833	4,000	4,000	6,833	6,000	6,000	2,667	6,333	6,000	2,000
16	70	7	MCG	6,000	3,167	4,000	5,833	5,167	5,000	3,167	5,000	6,000	5,000
9	80	7	MCG	7,000	4,000	3,000	6,667	3,833	4,000	4,000	5,167	6,333	5,833
6	60	10	MCG	5,667	4,333	4,000	5,333	6,667	6,167	3,167	6,167	6,000	2,167
2	70	10	MCG	6,167	3,333	3,833	5,833	5,500	5,167	3,500	5,167	6,000	5,000
10	80	10	MCG	7,000	4,000	3,000	6,667	4,833	4,500	4,167	5,333	6,000	5,333
30	60	1	WFG	4,000	4,667	4,167	2,000	5,833	5,000	2,000	6,167	6,000	2,167
20	70	1	WFG	5,000	4,167	4,000	2,000	5,000	5,000	2,167	6,167	6,000	1,500
7	80	1	WFG	5,000	3,333	4,000	2,333	3,000	3,500	1,333	6,000	5,000	1,833
5	60	3	WFG	4,167	4,833	4,000	2,000	5,667	5,333	2,000	6,000	5,667	2,500
3	70	3	WFG	5,167	4,000	4,000	2,333	5,000	5,000	2,333	6,333	6,000	1,833
4	80	3	WFG	5,000	3,167	4,000	2,000	4,667	5,000	1,833	6,333	5,000	1,500
8	60	5	WFG	4,500	5,000	4,167	2,000	6,000	5,833	2,333	6,167	5,833	2,167
18	70	5	WFG	5,000	4,000	4,000	2,333	5,667	5,500	2,333	6,167	5,333	1,667
13	80	5	WFG	5,167	3,000	4,000	2,667	4,833	5,667	2,000	6,000	5,000	2,000
24	60	7	WFG	3,833	5,000	4,333	1,833	6,000	7,000	2,667	6,667	6,000	2,000
27	70	7	WFG	4,000	4,167	4,167	2,000	6,000	6,833	2,667	6,167	5,000	2,000
19	80	7	WFG	4,167	3,333	4,000	2,167	5,000	6,500	2,167	6,833	6,000	2,000
22	60	10	WFG	3,333	4,833	4,333	1,500	6,667	7,000	3,000	6,833	5,833	1,833
1	70	10	WFG	3,000	4,500	4,333	2,000	6,167	7,000	2,833	6,500	5,000	2,000
21	80	10	WFG	4,167	3,500	4,000	2,000	5,167	6,167	2,167	6,667	5,667	2,000

* **R1** – Ujednačenost boje; **R2** – Svetloća; **R3** – Intenzitet zelene boje; **R4** – Homogenost površine; **R5** – Tvrdoća; **R6** – Mazivost; **R7** – Adhezivnost; **R8** – Zrnavost; **R9** – Miris; **R10** – Ukus

Tabela 43. Deskriptivna statistika izlaznih parametara senzorske analize i koeficijenti R^2

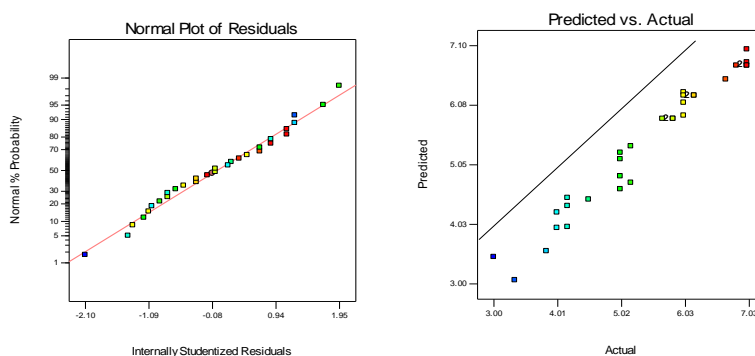
Izlazne veličine	Minimum	Maximum	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Max/Min	R^2
Ujednačenost boje	3	7	5,36	1,15	2,33	0,9634
Svetloća	3	5	3,98	0,53	1,67	0,8794
Intenzitet zelene boje	3	4,33	3,87	0,41	1,44	0,9822
Homogenost površine	1,5	6,83	4,17	2,12	4,56	0,9866
Tvrdoća	2	6,67	5,03	1,2	3,33	0,8975
Mazivost	2	7	5,17	1,29	3,5	0,8878
Adhezivnost	1,33	4,17	2,53	0,67	3,13	0,8040
Zrnavost	5	6,83	6,06	0,45	1,37	0,8613
Miris	5	6,33	5,79	0,39	1,27	0,3937
Ukus	1,5	5,83	2,81	1,24	3,89	0,8260

Na osnovu rezultata deskriptivne statistike izlaznih veličina za senzorsku ocenu namaza može se uočiti da odnos max/min za sve izlazne veličine nije veći od 10, tako da transformacije vrednosti nisu potrebne. Takođe, rezultati senzorske ocene namaza se odlikuju malim standardnim devijacijama.

U okviru izgleda namaza ocenjeni su ujednačenost boje, svetloća, intenzitet zelene boje i homogenost površine. Na ujednačenost boje namaza statistički značajno utiču udeo gela, koncentracija gela, vrsta gela i interakcija između koncentracije i vrste gela (tabela 44). Slika 85 prikazuje potvrdu pretpostavke o normalnosti raspodele, kao preduslov za primenu ANOVE, i visoku podudarnost između izmerenih i modelom predviđenih vrednosti.

Tabela 44. ANOVA tabela za ujednačenost boje

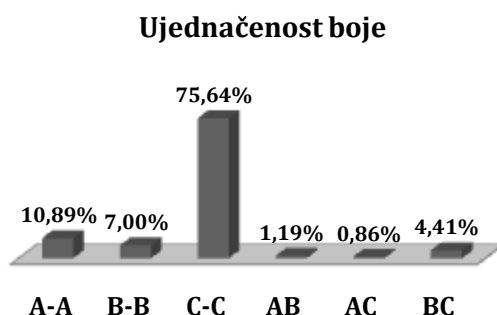
Ujednačenost boje	SS	df	MS	F	p
Model	37,99	11	3,45	43,09	<0,0001
A-A	4,22	2	2,11	26,35	<0,0001
B-B	2,72	4	0,68	8,47	0,0005
C-C	29,34	1	29,34	366,05	<0,0001
BC	1,71	4	0,43	5,33	0,0052
Ostatak	1,44	18	0,08		
Total	39,43	29			



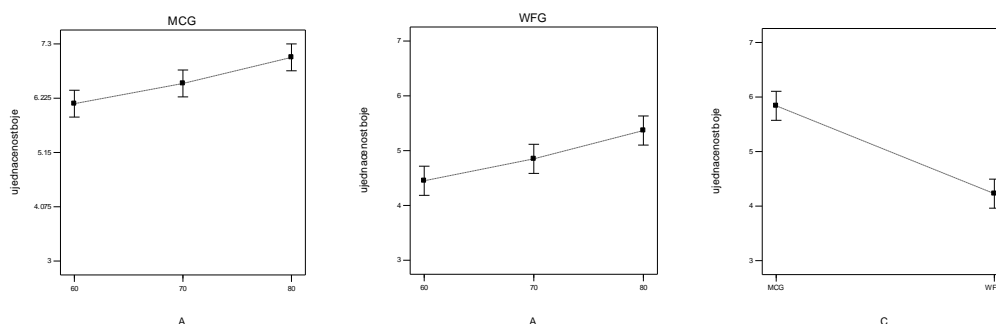
Slika 85. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za ujednačenost boje namaza

Doprinos vrste gela ujednačenosti boje namaza je najveći (75,64%) u odnosu na ostale statistički značajne faktore (slika 86). Skala ocena za ujednačenost boje namaza je u rasponu od ekstremno nehomogene (1) do ekstremno homogene (7) koja je ujedno i

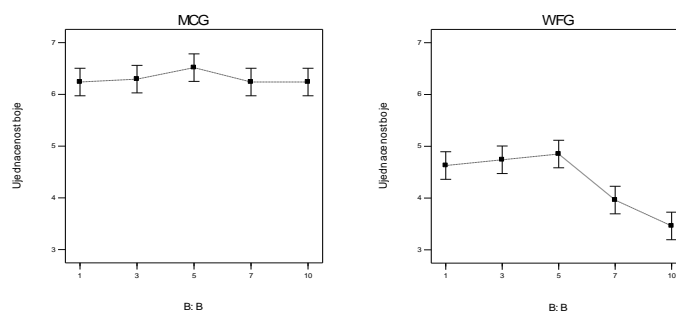
optimalna vrednost. Na osnovu promena ujednačenosti boje namaza sa promenom vrste gela, prikazanim na slici 87, može se uočiti da je ujednačenost boje namaza sa MCG gelom mnogo bliža optimalnoj vrednosti nego kod namaza sa WFG gelom. Porast udela gela takođe doprinosi približavanju ujednačenosti boje namaza optimalnoj vrednosti (slika 87). Povećanje koncentracije primenjenog gela malo doprinosi promeni ujednačenosti boje, svega 7,00%. Ovaj uticaj je usmeren ka optimalnoj vrednosti pri koncentracijama gela do 5%, a iznad 5% negativno utiče na ujednačenost boje. Takođe, usled statistički značajne interakcije između koncentracije i vrste gela, opadanje ujednačenosti boje sa porastom koncentracije je intenzivnije kod namaza sa WFG gelom koncentracija iznad 5% (slika 88).



Slika 86. Doprinosi ulaznih faktora ujednačenosti boje namaza



Slika 87. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na ujednačenost boje namaza

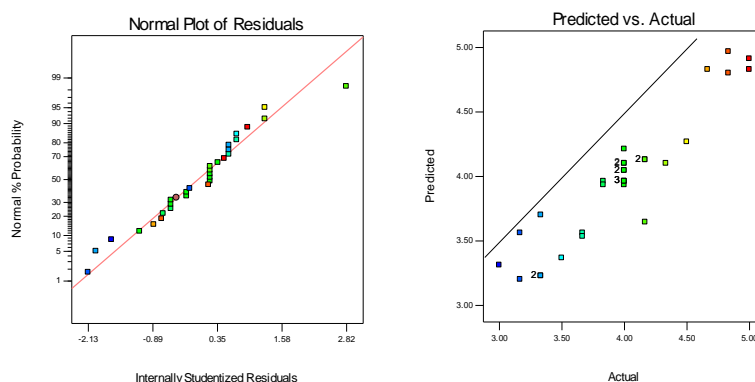


Slika 88. Jačina i smer uticaja koncentracije gela (pri A=70%) na ujednačenost boje namaza

Svetloća namaza opisuje stepen svetlog u boji namaza na skali koja je u rasponu od 1 (ekstremno svetlo) do 7 (ekstremno tamno), pri čemu se na vrednosti 4 nalazi optimalna svetloća boje namaza. Takođe, kod senzorski ocenjene svetloće namaza potvrđena je pretpostavka o normalnosti raspodele, a dobijene vrednosti se odlikuju visokim koeficijentima R^2 (slika 89). Na svetloću boje namaza statistički značajno utiču udeo gela, vrsta gela i interakcija između udela i vrste gela (tabela 45).

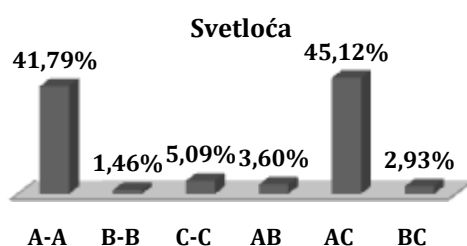
Tabela 45. ANOVA tabela za svetloću boje namaza

Svetloća	SS	df	MS	F	p
Model	7,49	9	0,83	16,2	<0,0001
A-A	3,35	2	1,67	32,59	<0,0001
B-B	0,12	4	0,029	0,57	0,6891
C-C	0,41	1	0,41	7,95	0,0106
AC	3,62	2	1,81	35,19	<0,0001
Ostatak	1,03	20	0,051		
Total	8,52	29			

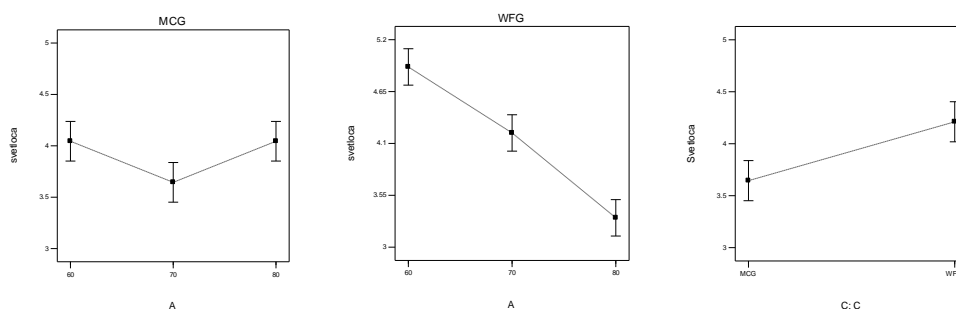


Slika 89. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za svetloću boje namaza

Doprinos udela gela na svetloću boje namaza je 41,79% i u interakciji sa vrstom gela se dodatno povećava (slika 90). Prema tome, boja namaza sa WFG gelom pri porastu udela gela za 10% postaje svetlija, što je u skladu sa vrednostima instrumentalno određene svetloće ovih namaza. Kod namaza sa MCG gelom smer uticaja povećanja udela gela je promenljiv, ali se svetloća boje namaza kreće u blizini optimalne vrednosti ovog parametra izgleda. Namazi sa MCG gelom su svetliji od namaza sa WFG gelom (slika 91).



Slika 90. Doprinosi ulaznih faktora svetloći boje namaza

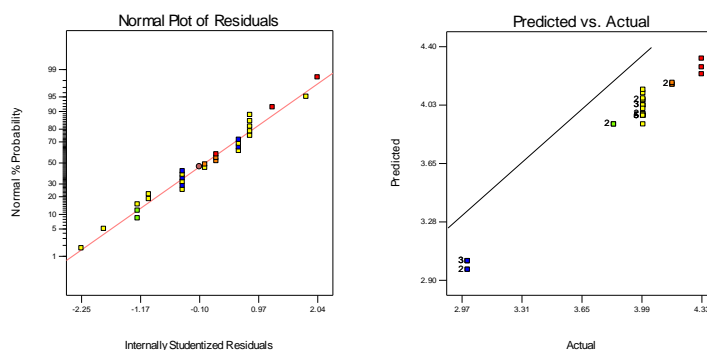


Slika 91. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na svetloću boje namaza

Udeo gela, vrsta gela i interakcija između udela i vrste gela takođe statistički značajno utiču na intenzitet zelene boje (tabela 46), uz potvrđenu pretpostavku o normalnosti raspodele ostataka i veliku vrednost koeficijenta R^2 (slika 92).

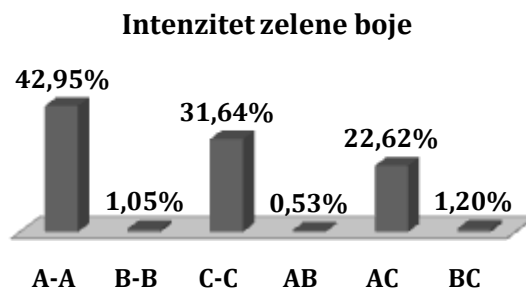
Tabela 46. ANOVA tabela za intenzitet zelene boje namaza

Intenzitet zelene boje	SS	df	MS	F	p
Model	4,89	13	0,38	67,76	<0,0001
A-A	2,11	2	1,06	190,17	<0,0001
B-B	0,052	4	0,013	2,33	0,0999
C-C	1,56	1	1,56	280,17	<0,0001
AC	1,11	2	0,56	100,17	<0,0001
BC	0,059	4	0,015	2,67	0,0705
Ostatak	0,089	16	$5,56 \cdot 10^{-3}$		
Total	4,98	29			



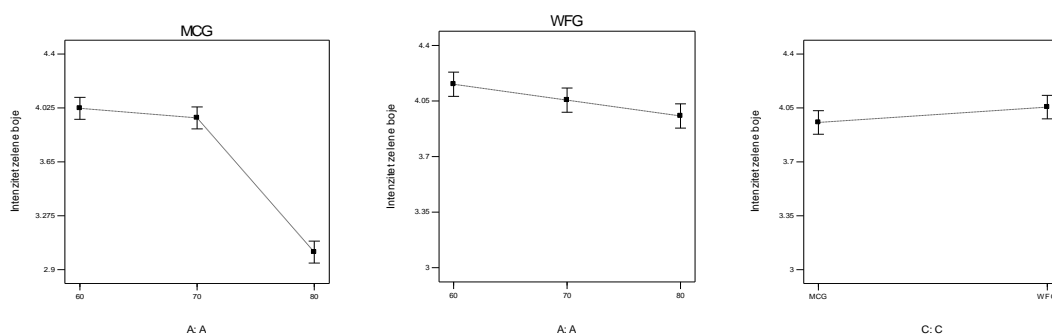
Slika 92. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za intenzitet zelene boje namaza

Povećanje udela gela u namazu doprinosi intenzitetu zelene boje (42,95%). Doprinosi vrste gela i interakcije između udela i vrste gela su takođe izraženi (slika 93).



Slika 93. Veličine uticaja ulaznih faktora na intenzitet zelene boje namaza

Povećanje udela gela u sastavu namaza sa WFG gelom dovodi do slabog opadanja intenziteta zelene boje između vrednosti 4,2 i 4,0. Kod namaza sa MCG gelom, usled doprinosa interakcije između udela i vrste gela, pad intenziteta zelene boje namaza sa porastom udela gela sa 60 na 70% je mali, dok je sa porastom udela gela sa 70 na 80% taj pad intenziteta zelene boje izraženo veći. Intenzitet zelene boje namaza sa WFG gelom je malo izraženiji u odnosu na namaze sa MCG gelom (slika 94).

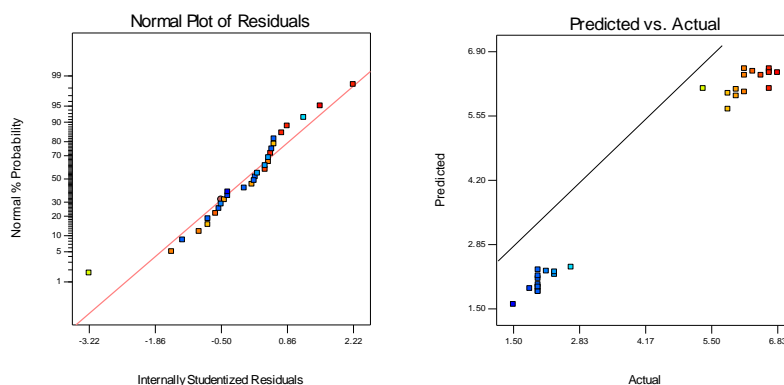


Slika 94. Jačina i smer uticaja udela gela (pri B=5%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na intenzitet zelene boje namaza

Homogenost površine namaza kojom se opisuje izgled površine, pojava separacije faza i slično, ocenjena je skalom ocena od 1 (nehomogena) do 7 (homogena–optimalna). Na homogenost površine namaza statistički značajno utiče samo vrsta gela (tabela 47), uz zadovoljenu pretpostavku o normalnosti raspodele ostataka. Takođe, izmerene vrednosti se podudaraju sa modelom predviđenih vrednosti (slika 95).

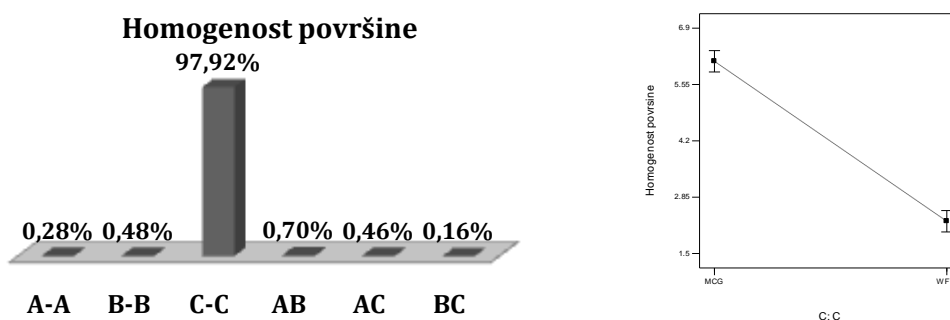
Tabela 47. ANOVA tabela za homogenost površine namaza

Homogenost površine	SS	df	MS	F	p
Model	132,53	9	14,73	163,11	<0,0001
A-A	0,37	2	0,19	2,06	0,1535
B-B	0,64	4	0,16	1,77	0,1747
C-C	130,9	1	130,9	1450,01	<0,0001
AC	0,61	2	0,31	3,39	0,0538
Ostatak	1,81	20	0,09		
Total	134,33	29			



Slika 95. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za homogenost površine namaza

Vrsta gela ima izuzetno veliki doprinos homogenosti površine namaza (97,92 %) i pri tome površina namaza sa MCG gelom je mnogo homogenija i bliža optimalnoj vrednosti ocene ovog parametra nego površina namaza sa WFG gelom (slika 96).

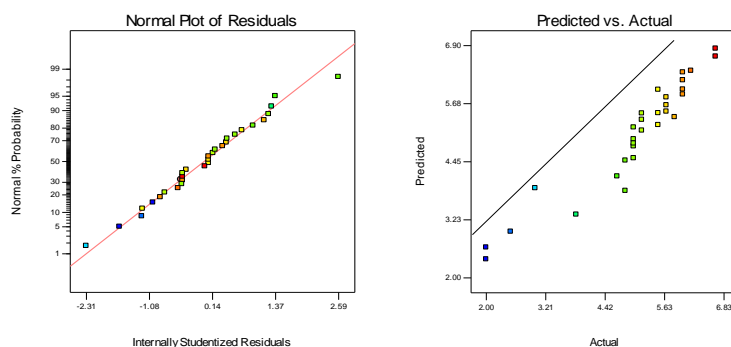


Slika 96. Doprinos i smer uticaja vrste gela (pri A=70% i B=5%) na homogenost površine namaza

Teksturalna svojstva namaza ocenjena senzorskom analizom su tvrdoća namaza, mazivost, adhezivnost i zrnavost. Za ocenu tvrdoće namaza primenjena je skala ocena od 1 (ekstremno meko) do 7 (ekstremno tvrdo) pri čemu je optimalna tvrdoća namaza definisana vrednošću 4. Statistički značajan uticaj na tvrdoću namaza ima nekoliko ulaznih faktora, udeo gela, koncentracija gela, vrsta gela i interakcija između udela i vrste gela (tabela 48), uz potvrđenu pretpostavku o normalnosti raspodele ostataka i visoku vrednost koeficijenta R^2 (slika 97).

Tabela 48. ANOVA tabela za tvrdoću namaza

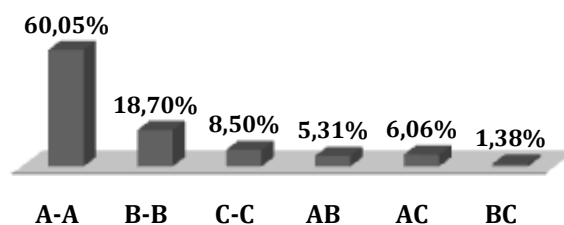
Tvrdoća	SS	df	MS	F	p
Model	39,06	9	4,34	19,46	<0,0001
A-A	25,14	2	12,57	56,35	<0,0001
B-B	7,83	4	1,96	8,77	0,0003
C-C	3,56	1	3,56	15,96	0,0007
AC	2,54	2	1,27	5,68	0,0111
Ostatak	4,46	20	0,22		
Total	43,52	29			



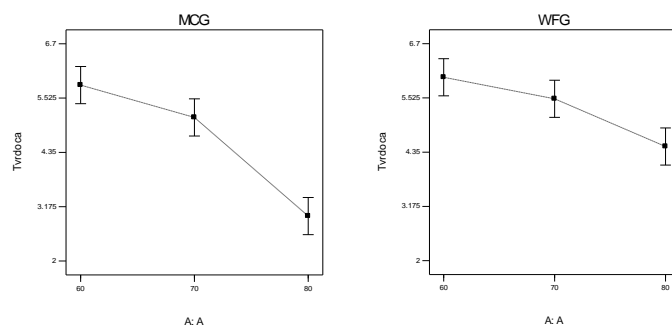
Slika 97. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za tvrdoću namaza

Na tvrdoću namaza najviše utiče porast udela gela, 60,05% (slika 98), uz negativan smer uticaja. Povećanje udela gela u namazu umanjuje tvrdoću namaza i to umanjeno je najveće pri porastu udela gela sa 70 na 80% kod namaza sa MCG gelom (slika 99). Razlike u intenzitetu opadanja tvrdoće namaza sa porastom udela gela različitih vrsta posledica su statistički značajnog uticaja interakcije između udela gela i vrste gela. Povećanje koncentracije gela doprinosi povećanju tvrdoće namaza. Tvrdoća namaza sa WFG gelom je veća od tvrdoće namaza sa MCG gelom u proseku za 14,71% (slika 100). Senzorski ocenjena tvrdoća namaza je u potpunoj saglasnosti sa instrumentalno određenom čvrstoćom namaza.

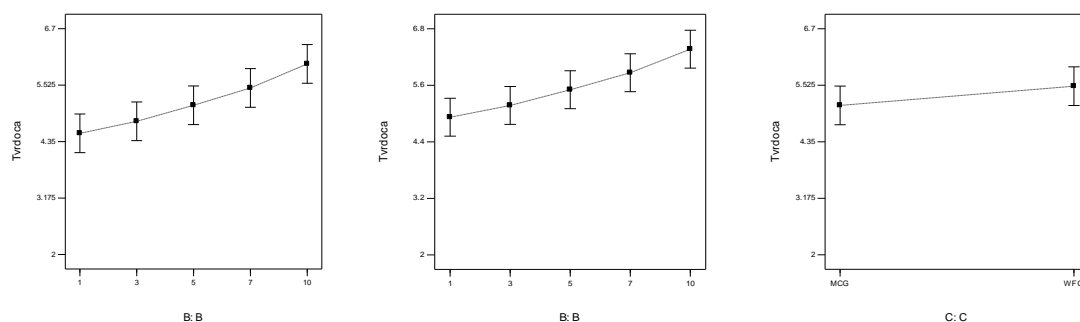
Tvrdoća



Slika 98. Vrednosti uticaja ulaznih faktora na senzorski ocenjenu tvrdoću namaza



Slika 99. Jačina i smer uticaja porasta udela gela (pri B=5%) u namazima na tvrdoću namaza

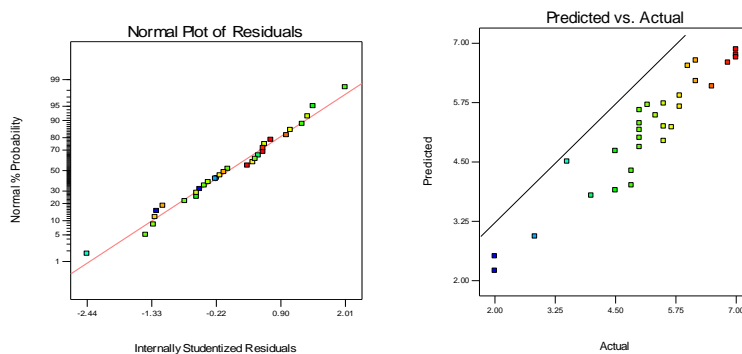


Slika 100. Uticaj porasta koncentracije gela (pri A=70%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na tvrdoću namaza

Mazivost namaza je uslovljena tvrdoćom namaza i njene promene su suprotnog smera od promena tvrdoće. Mazivost je ocenjena skalom od 1 (ekstremno razmazivo) do 7 (nemazivo), uz optimalnu vrednost na oceni 4. Isti ulazni faktori, koji utiču na tvrdoću, statistički značajno utiču i na mazivost namaza (tabela 49), uz potvrđenu pretpostavku o normalnosti raspodele i veliku podudarnost između merenih i modelom predviđenih vrednosti (slika 101).

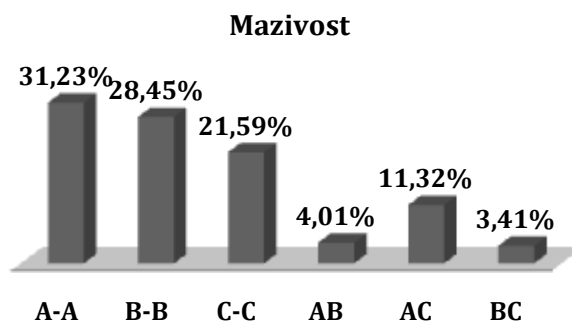
Tabela 49. ANOVA tabela za mazivost namaza

Mazivost	SS	df	MS	F	p
Model	44,62	9	4,96	19,45	<0,0001
A-A	15,05	2	7,53	29,52	<0,0001
B-B	13,71	4	3,43	13,45	<0,0001
C-C	10,4	1	10,4	40,81	<0,0001
AC	5,46	2	2,73	10,7	0,0007
Ostatak	5,1	20	0,25		
Total	49,72	29			

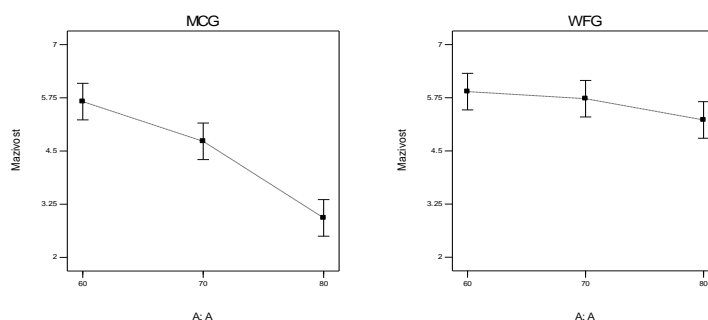


Slika 101. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za mazivost namaza

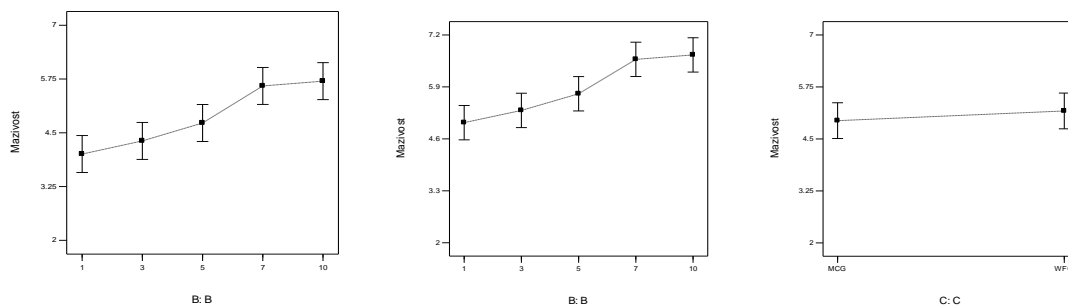
Doprinosi uticaja ulaznih faktora na mazivost namaza prikazani su na slici 102. Povećanje udela gela u namazu najviše doprinosi povećanju mazivosti namaza (31,23%). To se intenzivnije odrazilo kod namaza sa MCG gelom, usled statistički značajnog uticaja interakcije između udela i vrste gela (slika 103). Porast koncentracije doprineo je smanjenju mazivosti namaza bez obzira na vrstu gela. Namazi sa MCG gelom ispoljili su veću mazivost od namaza sa WFG gelom, koja pri tome teži optimalnoj vrednosti (slika 104).



Slika 102. Uticaji ulaznih faktora na senzorski ocenjenu mazivost namaza



Slika 103. Uticaj porasta udela gela (pri B=5%) u namazima na mazivost namaza

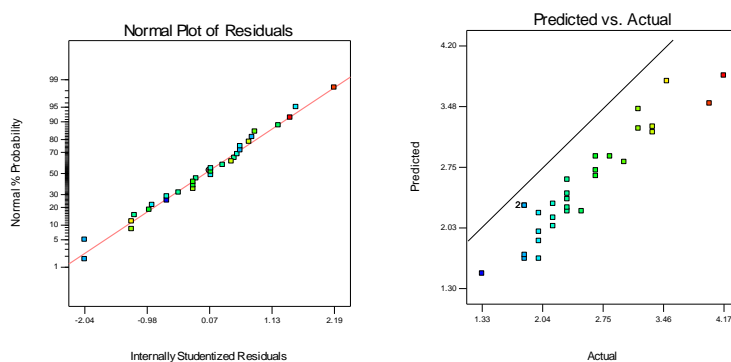


Slika 104. Uticaj porasta koncentracije gela (pri A=70%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) u namazima na mazivost namaza

Adhezivnost namaza definiše sposobnost namaza da prijanja na površinu. Skala senzorskih ocena za ovaj parametar je između 1 (ne lepi se) i 7 (lepljivo) sa optimalnom vrednošću adhezivnosti na oceni 4. Koncentracija i vrsta gela, kao i interakcija između udela i vrste gela statistički značajno utiču na adhezivnost namaza (tabela 50), uz normalnu raspodelu ostataka i veliki koeficijent R^2 (slika 105).

Tabela 50. ANOVA tabela za adhezivnost namaza

Adhezivnost	SS	df	MS	F	p
Model	11,84	13	0,91	9,74	<0,0001
A-A	0,56	2	0,28	2,98	0,0794
B-B	6,44	4	1,61	17,23	<0,0001
C-C	2,22	1	2,22	23,77	0,0002
AC	1,61	2	0,81	8,62	0,0029
BC	1	4	0,25	2,68	0,0694
Ostatak	1,5	16	0,094		
Total	13,34	29			

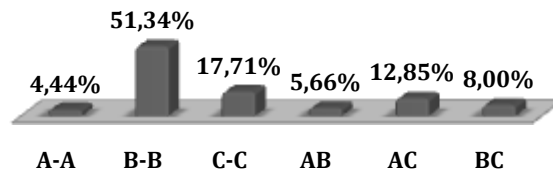


Slika 105. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za adhezivnost namaza

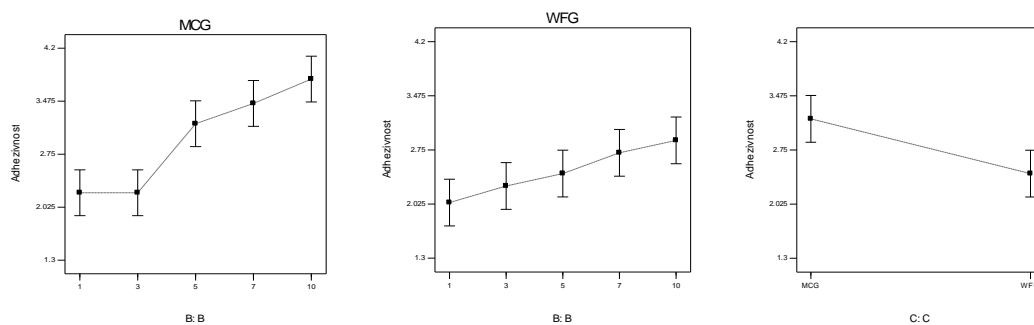
Udeo gela ne utiče statistički značajno na adhezivnost namaza, ali se njegov slab uticaj ispoljava u interakciji sa vrstom gela (12,85%). Koncentracija gela najviše doprinosi adhezivnosti namaza, 51,34%, (slika 106) i odražava se na porast adhezivnosti namaza sa porastom koncentracije primenjenog gela. Zbog uticaja vrste gela na adhezivnost namaza uz doprinos od 17,71% ova senzorska karakteristika je

izraženija kod namaza sa MCG gelom i mnogo bliža optimalnoj vrednosti nego kod namaza sa WFG gelom (slika 107).

Adhezivnost



Slika 106. Uticaji ulaznih faktora na senzorski ocenjenu adhezivnost namaza

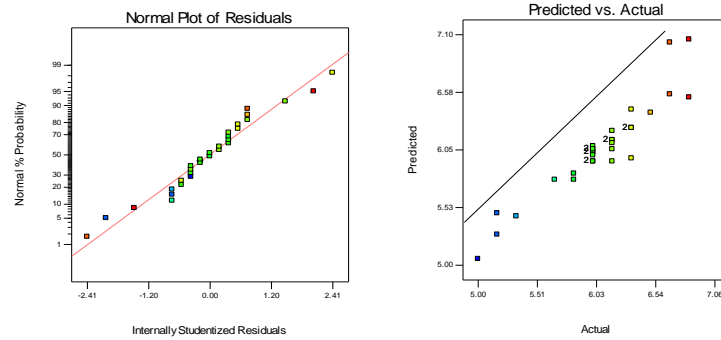


Slika 107. Uticaj koncentracije gela (pri A=70%) i vrste gela (pri A=70% i B=5%) na adhezivnost namaza

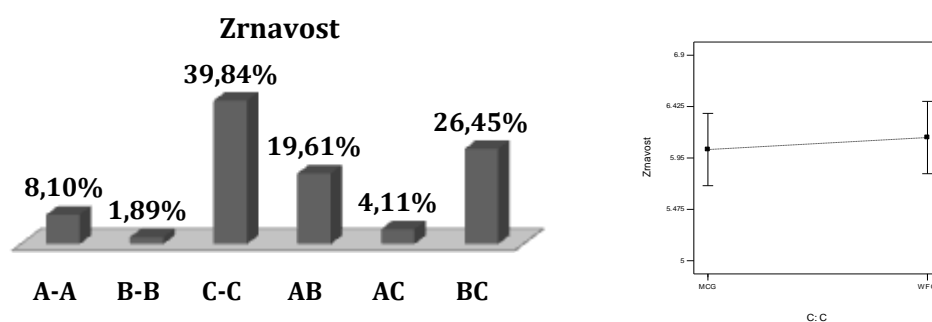
Rezultati primenjene ANOVE na senzorske ocene zrnivosti namaza prikazani su u tabeli 51 i na slici 108. Zrnivost namaza ne zavisi od udela i koncentracije gela, ali statistički značajno zavisi od vrste gela uz doprinos ovog faktora od 39,84%. Zrnivost namaza sa WFG gelom je veća od zrnivosti namaza sa MCG gelom i dodatno se povećava u interakciji sa koncentracijom gela usled statistički značajnog uticaja ovog ulaznog faktora (slika 109). Zrnivost je ocenjena visokim vrednostima koje ukazuju na grubu zrnivost, što je uslovljeno granulacijom primenjenog brašna i zastupljenim veličinama čestica do 1 mm.

Tabela 51. ANOVA tabela za zrnivost namaza

Zrnivost	SS	df	MS	F	p
Model	5,35	19	0,28	4,17	0,0126
A-A	0,45	2	0,23	3,34	0,0773
B-B	0,11	4	0,026	0,39	0,811
C-C	2,22	1	2,22	32,89	0,0002
AB	1,09	8	0,14	2,02	0,1468
BC	1,48	4	0,37	5,46	0,0135
Ostatak	0,68	10	0,068		
Total	6,03	29			



Slika 108. Grafik normalne raspodele ostataka i grafik odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za zrnavost namaza



Slika 109. Uticaji promenljivih ulaznih faktora na zrnavost namaza i grafik jačine i smera uticaja vrste gela (pri A=70% i B=5%) na zrnavost namaza

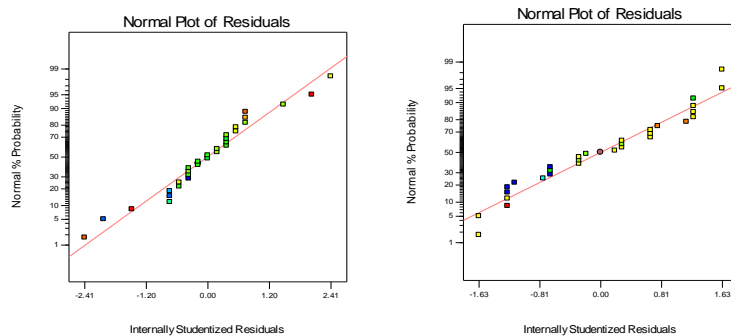
Uticaji promenljivih ulaznih faktora na senzorske karakteristike miris i ukus prikazani su ANOVA tabelama 52 i 53. Preduslov primene ANOVE je potvrđen i oba parametra se odlikuju velikim koeficijentima R^2 (slika 110 i 111).

Tabela 52. ANOVA tabela za miris namaza

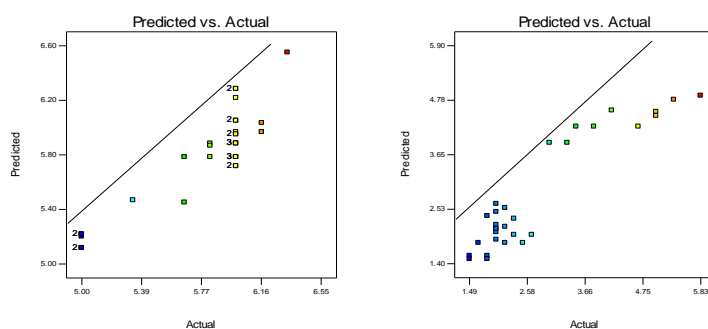
Miris	SS	df	MS	F	p
Model	3,74	17	0,22	2,9	0,0333
A-A	0,23	2	0,11	1,51	0,2596
B-B	0,11	4	0,027	0,35	0,8366
C-C	1,71	1	1,71	22,55	0,0005
AB	1,1	8	0,14	1,82	0,1693
AC	0,59	2	0,29	3,85	0,051
Ostatak	0,91	12	0,076		
Total	4,65	29			

Tabela 53. ANOVA tabela za ukus namaza

Ukus	SS	df	MS	F	p
Model	39,82	9	4,42	13,8	<0,0001
A-A	5,4	2	2,7	8,43	0,0022
B-B	2,17	4	0,54	1,69	0,1918
C-C	22,82	1	22,82	71,2	<0,0001
AC	9,42	2	4,71	14,7	0,0001
Ostatak	6,41	20	0,32		
Total	46,23	29			

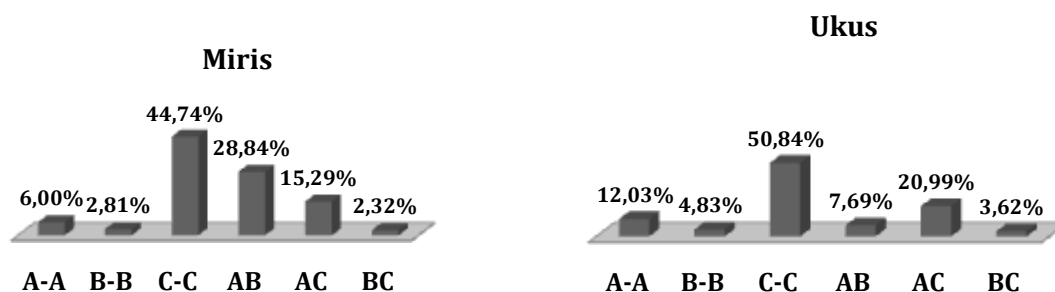


Slika 110. Grafici normalne raspodele ostataka za miris i ukus namaza

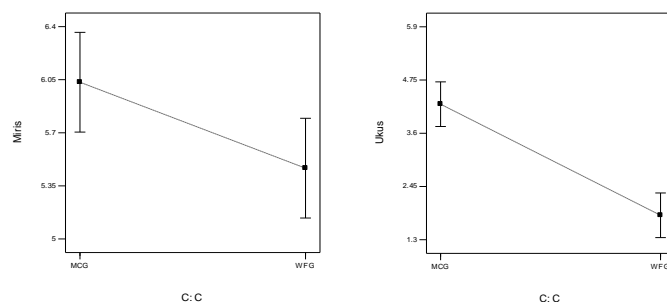


Slika 111. Grafici odnosa izmerenih i modelom predviđenih vrednosti za miris i ukus namaza

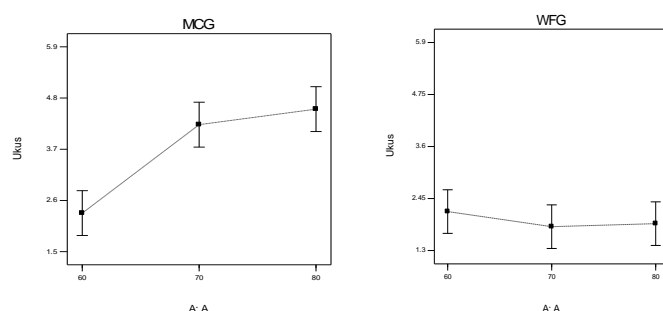
Vrsta gela statistički značajno utiče na miris i ukus namaza, uz velike doprinose ovog ulaznog faktora (slika 112). Obe senzorske osobine kod namaza sa MCG gelom su ocenjene većim ocenama koje teže optimalnom ukusu i mirisu u odnosu na namaze sa WFG gelom (slika 113). Primenom MCG gela više se ističe tipičnost mirisa i ukusa primenjene sirovine, odnosno brašna od semena tikve golice. Srednje vrednosti ocena za miris i ukus namaza sa MCG gelom su 6,0 i 4,7 respektivno, dok je kod namaza sa WFG srednja ocena za miris 5,6 i za ukus 3,1. Na ukus namaza statistički značajno utiče i udeo gela, ali je ovaj uticaj uslovljen i interakcijom sa vrstom gela. Na osnovu toga, porast udela gela u namazima sa MCG gelom doprinosi približavanju ukusa optimalnoj vrednosti, dok kod namaza sa WFG gelom umanjuje ocenu ukusa namaza (slika 114).



Slika 112. Doprinosi ulaznih faktora mirisu i ukusu namaza



Slika 113. Smer i jačina uticaja vrste gela (pri A=70% i B=5%) na ocene mirisa i ukusa namaza



Slika 114. Smer i jačina uticaja udela gela (pri B=5%) na ocenu ukusa namaza

Presudan uticaj na senzorske karakteristike namaza ima vrsta primenjenog zamenjivača masti, zbog dominantnog uticaja na senzorske parametre izgleda namaza, mirisa i ukusa. Primenom MCG zamenjivača masti postiže se homogenost namaza, ujednačenost boje, manja zrnastost, miris i ukus koji teže optimalnom i koji ističu specifičnu aromu semena tikve. Povećanje udela zamenjivača masti u strukturi namaza značajno utiče na senzorske karakteristike namaza. Na osnovu senzorske analize, karakteristike namaza koje su bliske optimalnim vrednostima postižu se visokim udelom zamenjivača masti u namazu od 80%. Manje izražen uticaj na senzorske karakteristike ima koncentracija primenjenog gela zamenjivača masti. Visokom koncentracijom primenjenog gela omogućeno je dodatno usmeravanje senzorskih karakteristika ka optimalnim vrednostima. Teksturalna svojstva, koja definišu mazivost namaza, su bliska optimalnim vrednostima kod namaza sa 80% zamenjivača masti koncentracije gela 5–7%.

Kompletan senzorski utisak o namazima određuje prihvatljivost namaza. Prema rezultatima senzorske ocene namaza izdvojio se namaz sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije 7%. Ocene senzorskih osobina ovog namaza su bliske optimalnim i optimalne, u zavisnosti od posmatrane karakteristike, i prikazane su u tabeli 54. Na osnovu toga, adekvatna senzorska svojstva znatno doprinose prihvatljivosti ovog namaza i čine ga optimalnim.

Tabela 54. Senzorske ocene namaza optimalnih svojstava

Senzorska svojstva namaza	Vrednosti optimalnih osobina	Ocene namaza sa 80 % MCG gela koncentracije 7 %
Ujednačenost boje	7	7,0
Svetloća	4	4,0
Intenzitet zelene boje	1-7*	3,0
Homogenost površine	7	6,7
Tvrdoća	4	3,8
Mazivost	4	4,0
Adhezivnost	4	4,0
Zrnavost	4	5,2
Miris	7	6,3
Ukus	7	5,8

* Skala ocene intenziteta zelene boje od 1 do 7 bez optimalne vrednosti

5.5. Karakteristike optimalnog namaza

Instrumentalne metode procene teksture i senzorski definsana svojstva teksture su od izuzetne važnosti u procesu razvoja nove vrste proizvoda ili optimizacije procesnih parametara. Korelacija između rezultata instrumentalnog određivanja i senzorske percepcije teksture generalno se primenjuje u predviđanju prihvatljivosti proizvoda od strane potrošača i pri definisanju i kontroli kvaliteta (Meullenet, 1998).

Linearna međuzavisnost parametara teksture određenih instrumentalno odlikuje se očekivanim relativno visokim pozitivnim koeficijentima korelacije od 0,6424 do 0,9949 (tabela 55). Najveća povezanost je između čvrstoće i rada smicanja, a uočljiva je i pozitivna korelacija između ovih parametara i lepljivosti namaza (0,8834 i 0,8838).

Linearna međuzavisnost većine instrumentalnih parametara teksture i senzorskih svojstava teksture je takođe statistički značajna ($p < 0,05$). Instrumentalno određena čvrstoća i senzorski ocenjena tvrdoća korespodiraju uz visok koeficijent korelacije (0,6835). Senzorski definisana mazivost, koja se posmatra u opsegu od ekstremno razmazive do potpuno nemazive ostvaruje visoku pozitivnu korelaciju sa instrumentalnim parametrima teksture (0,4075–0,8877), ukazujući da mazivost namaza teži optimalnoj pri odgovarajućem porastu instrumentalnih parametara teksture. Visoki pozitivni koeficijenti korelacije uočljivi su između instrumentalno određene čvrstoće i rada smicanja i senzorski definisane mazivosti namaza (0,7048 i 0,7020). Takođe, postoji i statistički značajna manja povezanost rada adhezije i lepljivosti namaza sa senzorski određenom mazivošću namaza (0,4075 i 0,6572). Zrnavost namaza određuje u manjoj meri čvrstoću, rad smicanja, mazivost i adhezivnost namaza i na to ukazuju statistički značajni pozitivni koeficijenti korelacije (0,3624–0,3764) i negativan koeficijent korelacije (-0,4574).

Tabela 55. Korelacija instrumentalnih parametara i senzorskih svojstava teksture namaza

Svojstva namaza	Instrumentalna teksturalna svojstva				Senzorska svojstva			
	Čvrstoća	Rad smicanja	Lepljivost	Rad adhezije	Tvrdoća	Mazivost	Adhezivnost	Zrnavost
Čvrstoća	1,0000	0,9949	0,8834	0,6486	0,6835	0,7048	0,1546	0,3638
Rad smicanja		1,0000	0,8838	0,6424	0,6820	0,7020	0,1476	0,3624
Lepljivost			1,0000	0,7201	0,7271	0,6572	0,1996	0,1277
Rad adhezije				1,0000	0,5469	0,4075	0,6123	-0,1614
Tvrdoća					1,0000	0,8877	0,1718	0,2039
Mazivost						1,0000	0,0804	0,3764
Adhezivnost							1,0000	-0,4574
Zrnavost								1,0000

Statistički značajne korelacije, pri pragu značajnosti $p=0,05$, su označene crvenom bojom

Veliki broj parametara koji se odnose na boju i na izgled namaza imali su statistički značajnu međusobnu linearnu zavisnost. Senzorski definisana svojstva koja obuhvataju ujednačenost boje namaza, svetloću i intenzitet zelene u boji namaza statistički značajno su povezana sa parametrima instrumentalnog određivanja boje, a koeficijenti korelacije se kreću od 0,2333 do 0,6646 (tabela 56). Pri tome se mogu istaknuti visoke korelacije između parametra L^* i senzorski određene svetloće (0,5610), zatim između nijanse boje h i ujednačenosti boje (0,6450) i između zasićenosti boje C^* i intenziteta zelene boje (0,4065).

Tabela 56. Korelacija instrumentalnih i senzorskih parametara boje i izgleda namaza

Svojstva namaza	Instrumentalni parametri boje						Senzorska svojstva		
	L^*	a^*	b^*	C^*	h	DW	Ujedn. boje	Svetloća	Int. zelene
L^*	1,0000	-0,7652	-0,1278	-0,0347	0,8073	-0,6757	0,5303	-0,5610	-0,5992
a^*		1,0000	-0,2169	-0,3254	-0,8450	0,8013	-0,3860	0,5192	0,2876
b^*			1,0000	0,9936	-0,3385	0,2264	-0,4962	0,3031	0,4544
C^*				1,0000	-0,2304	0,1270	-0,4359	0,2333	0,4065
h					1,0000	-0,8981	0,6450	-0,6646	-0,5281
DW						1,0000	-0,5046	0,5873	0,4483
Ujedn. boje							1,0000	-0,3465	-0,7314
Svetloća								1,0000	0,1777
Int. zelene									1,0000

Statistički značajne korelacije, pri pragu značajnosti $p=0,05$, su označene crvenom bojom

Na osnovu prikazanih korelacija između instrumentalno određenih i senzorski definisanih parametara namaza može se uočiti da korelaciona analiza daje pouzdanu potvrdu da ono što je utvrđeno senzorskim definisanjem da je određeno i instrumentalno i obrnuto. Zahvaljujući tome, na bazi senzorske analize može se pouzdano definisati i odabrati kvalitet optimalnog namaza samo preko instrumentalno definisanih parametara.

Rezultati senzorske analize posmatranih namaza izdvojili su namaz sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije gela 7% kao namaz sa zadovoljavajućim karakteristikama bliskim optimalnim svojstvima namaza. Ujednačenost boje, svetloća, mazivost i adhezivnost ovog namaza su ocenjeni kao optimalni, dok su homogenost površine, tvrdoća, miris i ukus opisane visokim ocenama vrlo bliskim optimalnim vrednostima. Instrumentalno određeni parametri ovog namaza prikazani su u tabeli 57.

Tabela 57. Vrednosti instrumentalno određenih parametara

Namaz sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije 7%	
Instrumentalni parametri	Vrednosti
Čvrstoća [g]	962,273±27,43
Rad smicanja [gs]	1094,134±86,46
Lepljivost [g]	-801,753±21,58
Rad adhezije [gs]	-223,694±25,09
L*	58,32±1,05
a*	-6,97±0,11
b*	25,20±0,41
C*	26,15±0,42
h	105,45±0,14
DW	571,03±0,039

Na osnovu prethodnih korelacionih analiza može se zaključiti da prikazane vrednosti instrumentalno određenih parametara odgovaraju optimalnim osobinama namaza. Prema tome, sastav namaza sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije 7% obezbeđuje adekvatan kvalitet namaza.

Prethodno predstavljene reološke karakteristike namaza potvrđuju optimalne osobine ovog namaza. Primenom MCG zamenjivača masti postižu se tiksotropna svojstva proticanja namaza. Visoka koncentracija MCG zamenjivača masti omogućava visok stepen umrežavanja i izraženu strukturiranost sistema. Takođe, visoka koncentracija gela redukuje negativne efekte velikog udela zamenjivača masti u namazu, koji pri tome ostvaruje ulogu kontinualne faze i obezbeđuje potpuno oblaganje čvrstih čestica. Sistem je viskoelastične prirode, čijoj elastičnosti doprinosi visoka koncentracija gela. Pri datom odnosu čvrstih čestica brašna i MCG zamenjivača masti postiže se adekvatna konzistencija namaza sa izraženom sposobnošću oporavka nakon delovanja sile.

5.5.1. Raspodela veličina čestica i mikrostrukturalne karakteristike optimalnog namaza

Raspodela veličina čestica namaza optimalnih osobina, koji je prethodno definisan prikazana je na slici 115 i u tabeli 58.



Slika 115. Grafički prikaz raspodele veličina čestica namaza optimalnih svojstava

Tabela 58. *Raspodela veličina čestica optimalnog namaza*

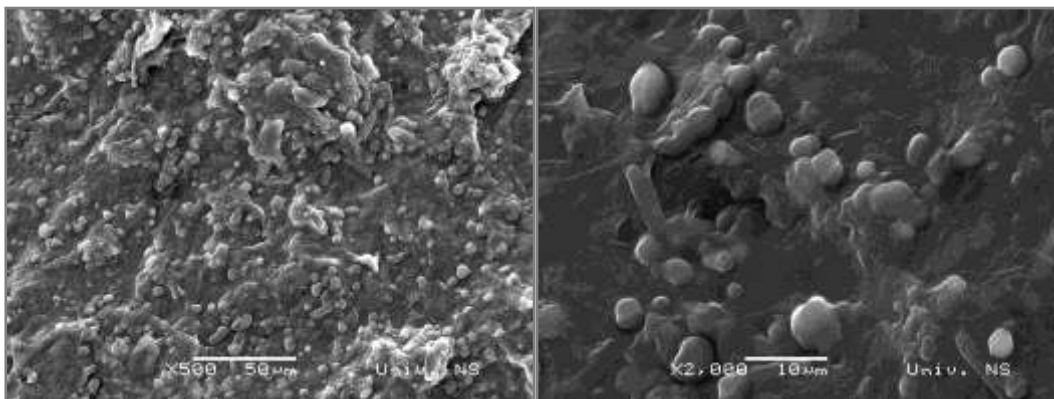
Namaz sa 80 % MCG zamenjivača masti koncentracije 7 %	
Veličina čestica [μm]	Udeo [%]
< 1	1,39
1-10	14,41
10-50	28,36
50-100	17,48
100-500	26,99
500-1000	8,93
> 1000	2,44

Sastavne komponente namaza i njihov udeo u strukturi namaza uslovile su raspodelu i zastupljenost veličina čestica. U posmatranom namazu najzastupljeniji je MCG zamenjivač masti u udelu od 80%. Stoga je i najveća zastupljenost od 44,47% čestica dimenzija od 50 do 500 μm . Ova veličina čestica obuhvata i srednji zapreminski prečnik MCG gela koncentracije 7% i deo prečnika čestica brašna, koje su najzastupljenije u dimenzijama od 500–600 μm . Čestice većih dimenzija od 500 μm su preostale čestice brašna uklopljene u sistem, s obzirom da su primenjene frakcije brašna koje su prošle kroz sito sa prečnikom otvora 1 mm. Određeni udeo čestica od 1 do 50 μm može se pripisati malim dimenzijama hidratisanih MCG vlakana u strukturi zamenjivača masti, što je u skladu sa raspodelom veličina čestica MCG gela koncentracije 7% prikazanoj na slici 116.

**Slika 116.** *Raspodela veličina čestica MCG gela koncentracije 7 %*

Izražena polidisperznost optimalnog namaza omogućava dobro organizovanje čestica u prostoru. Kompaktibilnost najzastupljenijih čestica brašna i hidratisanih struktura MCG gela obezbedila je usklađeno uklapanje primenjene količine brašna (20% na masu namaza) u umreženu kontinuiranu strukturu zamenjivača masti. Tome dodatno doprinosi značajan udeo zamenjivača (80% na masu namaza) obezbeđujući potpuno oblaganje čestica brašna. Zastupljene čestice malih dimenzija (ispod 50 μm) ispunjavaju međuprostor u sistemu i ojačavaju strukturu sistema. Čestice brašna imaju i određeni kapacitet apsorpcije vode, koji dovodi do slabog bubrenja i dobijanja glatke zaobljene površine čestica, što doprinosi smanjenju frikcije (slika 117). Zahvaljujući takvoj

organizaciji i strukturaciji sistema optimalni namaz ispoljava dobre reološke karakteristike, koje se odnose na tiksotropni tip proticanja, izraženu viskoelastičnost sistema i zadovoljavajuću sposobnost oporavka. Takva reološka svojstva omogućavaju optimalnu mazivost namaza, dobro prijanjanje na površinu i laku manipulaciju namazom tokom proizvodnje i tokom primene.



Slika 117. Mikrostrukturalne karakteristike namaza optimalnih svojstava

5.5.2. Održivost optimalnog namaza

U cilju predviđanja održivosti optimalnog namaza određena je oksidativna stabilnost i mikrobiološka analiza optimalnog namaza. Oksidativna stabilnost optimalnog namaza predstavljena je u vidu indukcionog perioda i za namaz sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije gela 7% iznosi $47,89 \pm 0,95$ h.

Mikrobiološka analiza obuhvatila je i prethodnu analizu MCG gela koncentracije 7 % u cilju definisanja mikrobiološke ispravnosti sastavnih komponenti namaza. Na osnovu rezultata mikrobiološke analize prikazanih u tabeli 59. Uočava se prisustvo 10^5 cfu/g aerobnih bakterija u zamenjivaču masti. Aerobne bakterije su posledica kontaminacije tokom homogenizovanja disperznog sistema MCG vlakana u vodi, odnosno pripreme gela koji stoji 24 h pre upotrebe. U samom optimalnom namazu uočene su takođe aerobne bakterije ($4 \cdot 10^3$ cfu/g) i prisutni su kvasci i plesni (10^2 cfu/g), takođe usled kontaminacije tokom pripreme namaza. Prisustvo patogenih mikroorganizama iz porodice *Enterobacteriaceae* i prisustvo vrsta *Bacillus cereus* i *Clostridium perfringens*, koji su izazivači toksikoinfekcija, nije uočeno.

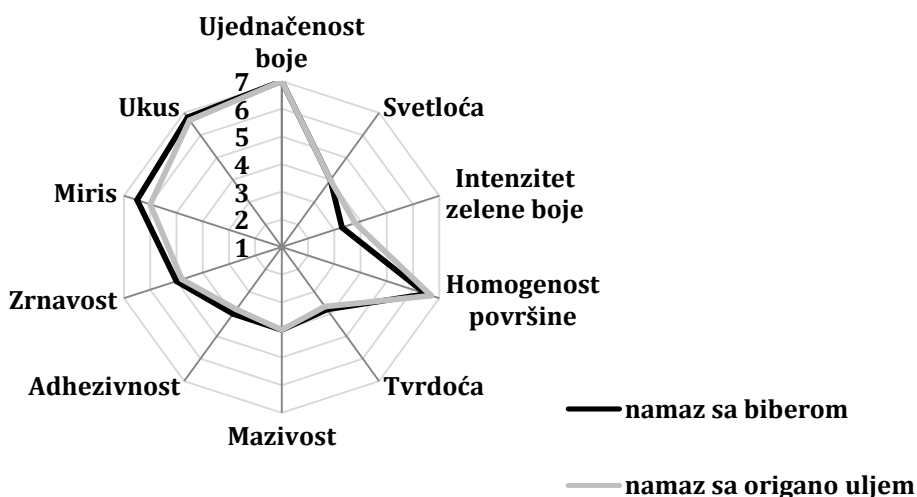
Tabela 59. Mikrobiološke karakteristike MCG zamenjivača masti koncentracije 7% i namaza optimalnih svojstava

Mikroorganizmi [cfu/g]	MCG gel (7%)	Optimalni namaz
Ukupan broj bakterija		
• anaerobne	0	0
• aerobne	10 ⁵	4·10 ³
Kvasci i plesni	0	10 ²
<i>Enterobacteriaceae</i>	0	0
<i>Bacillus cereus</i>	0	0
<i>Clostridium perfringens</i>	0	0
Sporogeni aerobni	0	0
Sporogeni anaerobni	0	0

Prisustvo zamenjivača masti, koji sadrži znatnu količinu vode, u sastavu namaza uslovljava visoku a_w vrednost namaza ($a_w=1,005$) i pH vrednost 6,44, koji obezbeđuju pogodnu sredinu za razvoj mikroorganizama. Na osnovu svih parametara, održivost namaza je mala i nakon 48 h čuvanja namaza na temperaturi frižidera ($\sim 4^\circ\text{C}$) mogu se uočiti prve promene namaza u vidu promene boje, pojave plesnivih naslaga i povećanja kiselosti namaza. U cilju povećanja održivosti, namazu je dodata smeša konzervanasa koju čine natrijumova so askorbinske kiseline E 301 u količini od 0,150 g, trinatrijum citrat E 331 u količini od 0,150 g i natrijum acetat E 262 u količini od 0,200 g na 100 g proizvoda. Usled uticaja konzervansa na reološke i teksturalne karakteristike primenjenog zamenjivača masti, opisanog u ovom Poglavlju, pomenuta smeša konzervanasa dodata je pre faze homogenizacije namaza.

Međutim, primena konzervansa nije povećala održivost proizvoda. Alerativne mogućnosti povećanja održivosti namaza su dodatak bibera ili origano ulja u osnovni sastav optimalnog namaza. Sastav, struktura i prisustvo određenih funkcionalnih grupa u sastavu eteričnog ulja origana, kao i drugih vrsta eteričnih ulja, imaju značajnu ulogu u antimikrobnoj aktivnosti. Obično su komponente sa fenolnim grupama najefektivnije. Takođe, brojni začini, kao što su anis, crni biber, korijander, crveni i beli biber, kari i drugi, ispoljavaju izvesnu antimikrobnu aktivnost (Holley i Patel, 2005). Na primer, crni biber ima ukupan sadržaj fenolnih komponenti (izražen u g ekvivalenta galne kiseline-GAE) 0,3 g GAE/ 100 g SM, a eterično ulje origana 10,2 g GAE/ 100 g SM (Shan i sar., 2007).

Dodatak ovih aromatičnih komponenti u sastav namaza svakako utiče na senzorna svojstva ukusa i mirisa namaza. U cilju definisanja prihvatljivosti ovih namaza urađena je i senzorska analiza optimalnog namaza sa dodatkom 0,25 g crnog bibera i optimalnog namaza sa dodatkom 12,5 μl eteričnog ulja origana na 100 g namaza. Rezultati senzorske analize prikazani su na slici 118.



Slika 118. Ocene senzorske analize optimalnih namaza sa dodatkom bibera i origano ulja

Senzorski parametri izgleda i teksture kod oba namaza su visoko ocenjeni i odgovaraju optimalnim svojstvima namaza. Takođe, miris i ukus namaza u kojima preovlađuju aromatične komponente ali pri tome ne eliminišu specifičnu aromu brašna od semena tikve, su ocenjene visokim ocenama. Na osnovu senzorske ocene, prihvatljivost oba namaza je velika.

Dodatni uticaj na povećanje održivosti namaza moguć je i konzerviranjem namaza u hermetičkoj ambalaži termičkom sterilizacijom. Ovaj postupak je pogodan i zbog moguće kontaminacije namaza aerobnim mikroorganizmima tokom proizvodnje, kojima je za rast i razvoj neophodan kiseonik. Ovaj postupak je neophodno primeniti za slabokisele namirnice (pH= 5,3–7,0) u koje spada i namaz optimalnih svojstava (Vereš, 1991).

5.5.3. Energetska vrednost optimalnog namaza

Energetska vrednost namaza optimalnih svojstava koji se sastoji od 80% MCG zamenjivača masti koncentracije gela 7% i 20% brašna od semena tikve goliće na osnovu Atwater-ovog metoda računanja ima energetska vrednost 423,25 kcal/100 g namaza, odnosno 1771,72 kJ/100 g namaza.



Poglavlje 6

Zaključci

Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja u okviru ove doktorske disertacije izvedeni su sledeći zaključci, koji se odnose na:

Karakteristike sirovina

1. Na osnovu analize fizičkih, hemijskih i funkcionalnih svojstava, brašno od semena tikve golice je nutritivno i biološki vrlo vredna sirovina. Odlikuje se visokim sadržajem minerala i značajnim prisustvom ω -6 i ω -9 masnih kiselina. Ispoljava dobru održivost, ne sadrži patogene mikroorganizme i čine ga čestice veličine do 1 mm asimetričnog oblika sa grubom neravnom površinom. Ove karakteristike otvaraju mogućnost primene brašna od semena tikve golice u proizvodnji namaza.
2. Posmatrani hidrokolidni sistemi na bazi celuloznih vlakana formiraju umrežene stabilne gel strukture tek pri koncentracijama vlakana iznad 1%. Pri ovim koncentracijama predstavljaju viskoelastične sisteme sa dominantnim elastičnim komponentama, koji se mogu primeniti u ulozi zamenjivača masti.
3. Zamenjivač masti Vivapur MCG 611F sa vlaknima mikrokristalne celuloze i natrijum karbokitil celuloze može adekvatno da ostvari ulogu kontinualne faze u proizvodu tipa namaza. Ovaj zamenjivač masti se odlikuje povoljnijim reološkim i teksturalnim svojstvima od zamenjivača masti Vitacel WFG HS73 na bazi pšeničnih vlakana, jer tiksotropno protiče, ima veći stepen uređenosti i povezanosti strukture sa izraženom elastičnom prirodom koja mu omogućava manju podložnost deformacijama.
4. Konzervans, kao jedna od potrebnih komponenti namaza, ne primenjuje se pre ili tokom formiranja gela zamenjivača masti, usled izraženog uticaja na hidrataciju i umrežavanje. Konzervans se dodaje namazu pre faze homogenizacije namaza zajedno sa ostalim sastavnim komponentama namaza.

Karakteristike namaza

5. Namazi na bazi brašna semena tikve golice i hidrokoloida celuloznog porekla su realni reološki sistemi. Reološke karakteristike namaza značajno zavise od sastava namaza. Namazi sa MCG zamenjivačem masti imaju bolja svojstva proticanja, izraženiju elastičnost, stabilniju konzistenciju i veću prilagodljivost uticaju sile u odnosu na namaze sa WFG zamenjivačem masti. Oblaganje i uklapanje čestica brašna u namazima sa MCG zamenjivačem masti moguće je pri svim posmatranim udelima hidrokolidnog gela uz jačanje strukture i povećanje kompaktnosti namaza sa porastom koncentracije vlakana u gelu.

6. Reološka svojstva namaza odredila su i teksturalne karakteristike namaza, koje su pod dominantnim uticajem udela gela u namazu. Složenoj strukturi namaza doprinosi i visok stepen umreženosti primenjenog zamenjivača masti. Primenom velikog udela gela u namazu (80%) postiže se manja lepljivost namaza, a dodatno se na smanjenje lepljivosti namaza utiče primenom MCG zamenjivača masti.
7. Instrumentalno definisana boja namaza u skladu je sa bojom primenjene sirovine i nalazi se na granici između žuto–zelene i zeleno–žute. Primena WFG zamenjivača masti doprinosi žutom tonu i pri tome umanjuje nijansu boje. Namazi sa velikim udelom gela odlikuju se svetlijom bojom u odnosu na namaze sa manjim sadržajem zamenjivača masti.
8. Namazi sa MCG zamenjivačem masti su znatno prihvatljiviji od namaza sa WFG zamenjivačem masti na osnovu senzorske analize namaza. Adekvatna senzorska svojstva, a samim tim i najveću prihvatljivost ima namaz sa 80% MCG zamenjivača masti koncentracije gela 7%.
9. Rezultati senzorske analize, metodom korelacije, potvrdili su prethodno instrumentalno definisanje reoloških, teksturalnih i kolorimetrijskih svojstava namaza.
10. Namaz optimalnih svojstava je polidisperzan sistem sa uređenom strukturom u kojoj su čestice primenjene količine brašna (20% na masu namaza) uklopljene u kontinuiranu mrežu hidratiranih MCG vlakana i potpuno obložene dostupnom količinom zamenjivača masti (80% na masu namaza). Zahvaljujući takvoj organizaciji i strukturi sistema optimalni namaz ispoljava dobre reološke karakteristike, optimalnu mazivost, dobro prijanjanje na površinu i laku manipulaciju namazom tokom proizvodnje i tokom primene.
11. Namaz optimalnih svojstava ima malu održivost do 48 h. Primena konzervanasa nije doprinela povećanju održivosti namaza. Alternativne mogućnosti povećanja održivosti su dodatak prirodnih antimikrobnih komponenti, kao što su crni biber ili eterično ulje origana, jer se njihova primena odrazila pozitivno na senzorska svojstva optimalnog namaza i njegovu prihvatljivost. Tome se može dodati i metoda konzerviranja namaza u hermetičkoj ambalaži termičkom sterilizacijom.
12. Na osnovu sprovedenih istraživanja zaključuje se da je moguća proizvodnja niskoenergetskog namaza na bazi brašna od semena tikve goliće. Pri tome namaz treba da sadrži 80% MCG zamenjivača masti (na masu namaza) koncentracije hidrokoloidnog gela 7% i 20% brašna od semena tikve goliće (na masu namaza). Dobijeni namaz predstavlja nutritivno vredan proizvod koji se na osnovu sastava i zdravstvenog uticaja komponenti može svrstati u funkcionalne prehrambene proizvode.

Poglavlje 7

Literatura

Abu-Jdayil, B., Al-Mahal, K., Asoud, H. (2002), *Rheological characterization of milled sesame (tehineh)*, Food Hydrocolloids, 16, 55–61.

Akoh, C.C. (1998). *Fat replacer*, Food Technology, 52 (3), 47–52.

Andjelković, M., Van Camp, J., Trawka, A., Verhé, R. (2010), *Phenolic compounds and some quality parameters of pumpkin seed oil*, European Journal of Lipid Science Technology, 112, 208–217.

Angioloni, A., Collar, C. (2009). *Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties*, Food Hydrocolloids, 23, 742–748.

Antony, J. (2003), *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Butterworth-Heinemann, New York.

AOAC, (2000), *Official Methods of Analysis*, Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.

Barnes, H. A. (2000). *A Handbook of Elementary Rheology*, University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Aberystwyth, Wales.

BeMiller, J. N. (2007), *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, pp. 222–243, AACC International.

Berenji, Đ. (2010), *Uljana tikva i njena proizvodnja*, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, str. 60–62.

Borderias, A. J., Sanchez-Alonso, I., Perez-Mateos, M. (2005), *New Applications of Fibres in Foods: Addition to Fishery products*, Trends in Food Science and Tehnology, 16 (10), 458–465

Bouchera, J., Steiner, L., Marison, I. W. (2007), *Bio-sorption of atrazine in the press-cake from oilseeds*, Water Research, 41, 3209–3216.

Bourne, M. C. (2002), *Texture, Viscosity and Food*, In Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Chapter 1, Elsevier Science & Technology Books.

Bourne, M. C. (2002a), *Sensory Methods of Texture and Viscosity Measurement*, In Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Chapter 7, Elsevier Science & Technology Books.

Bourne, M. C. (2002b), *Principles of Objective Texture Measurement*, In Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Chapter 4, Elsevier Science & Technology Books.

Cash, M. J., Caputo, S. J. (2010), *Cellulose Derivatives*, In Food Stabilizers, Thickeners and Gelling Agents (A. Imeson, ed.), Chapter 6, Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Charrondiere, U. R., Chevassus-Agnes, S., Marroni, S., Burlingame, B. (2004), *Impact of different macronutrient definitions and energy conversion factors on energy supply estimations*, Journal of Food Composition and Analysis, 17, 339–360.

Chen, P. S., Toribara, T. Y., Warner, H. (1956), *Microdetermination of Phosphorus*, Analytical Chemistry, 28 (11), 1756–1758.

Cho, S. S., Prosky, L. (1999), *Application of complex carbohydrates to food products fat mimetics*, In Complex Carbohydrates in Food (S.S. Cho, L. Prosky i M.L. Dreher, eds.), pp. 411–429, Marcel Dekker, Inc, New York.

- Choi, S.J., Chang, H.G., Yoo, B. (2008).** *Rheological properties of hot pepper–soybean pastes mixed with acetylated starches.* Food Science and Biotechnology, 17 (4), 780–786.
- CIE (1976),** *International Commission on Illumination, Colorimetry: Official Recommendation of the International Commission on Illumination Publication CIE No. (E-1.31),* Paris, France, Bureau Central de la CIE.
- Cienniewska–Zytkiewicz, H., Ratusz, K., Brys', J., Reder, M., Koczon, P. (2014),** *Determination of the oxidative stability of hazelnut oils by PDSC and Rancimat methods,* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 118 (2), 875–881.
- Commission Regulation (EC) No. 2073 on Microbiological Criteria for Foodstuffs (2005),** *Comparison between NMKL methods and EN/ISO methods using PT–data*
- Compaoré, W. R., Nikiéma, P. A. Bassole, H. I. N. Savadogo, A. Hounhouigan, D. J., Mouecoucou, J., Traoré, S. A. (2011),** *Nutritional Properties of Enriched Local Complementary Flours,* Advance Journal of Food Science and Technology, 3 (1), 31–39.
- Čorbo, S., Škaljić, S., Bijelić, H. (2007),** *Characteristics of growing and quality oil of oil pumpkin seed (Cucurbita pepo),* 48. Savetovanje industrije ulja Proizvodnja i prerada uljarica, Herceg Novi, Crna Gora, Zbornik radova, str. 129–134.
- Daubert, C. R., Tkachuk, J. A., Truong, V. D. (1998),** *Quantitative measurement of food spreadability using the vane method,* Journal of Texture Studies, 29, 427–435.
- Decker, D.S. (1988),** *Origin(s), evaluation and systematics of cucurbita pepo (Cucurbitaceae),* Economic Botany, 42(1), 4–15.
- Dimić, E. (2005),** *Hladno ceđena ulja,* Tehnološki fakultet, Novi Sad, str. 53–136.
- Dreher, M. (1999),** *Food Sources and Uses of Dietary Fiber,* In Complex Carbohydrates in Foods (S.S. Cho, L. Prosky i M.L. Dreher., eds.), pp. 327–371, Marcel Dekker, Inc., New York.
- DeMan, J. M. (1975).** *Texture of foods.* Lebensmittel–Wissenschaft & Technologie, 8, 101–107.
- DeMariscal, P., Bell, D. A. (1996),** *Fiber–Based Fat Mimetics: Methylcellulose Gums,* In Handbook of Fat Replacers (S. Roller i S. Jones, eds.), CRC Press, Boca Raton, New York.
- Di Monaco, R., Giacone, T., Cavella, S., Masi, P. (2008),** *Predicting texture attributes from microstructural, rheological and thermal properties of hazelnut spreads,* Journal of Texture Studies, 39, 460–479.
- Dokić, Lj. (1992),** *Prilog ispitivanju nekih fiziko-hemijskih osobina maltodekstrina kukuruznog skroba,* Diplomski rad, Tehnološki fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu.
- Dubost, N. J., Shewfelth, R. L., Eitenmiller, R. R. (2003),** *Consumer acceptability, sensory and instrumental analysis of peanut soy spreads,* Journal of Food Quality, 26, 27–42.
- Đaković, Lj. (1990),** *Koloidna hemija,* Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- El–Adawy, T.A., Taha, K.M. (2001),** *Characteristics and composition of different seed oils and flours,* Food Chemistry, 74, 47–54.
- El–Soukkary, F. A. (2001),** *Evaluation of pumpkin seed products for bread fortification,* Plant Foods for Human Nutrition, 56, 365–384.
- Evageliou, V., Alevisopoulos, S., Kasapis, S. (1997),** *Application of stress-controlled analysis to the development of low fat spreads,* Journal of Texture Studies, 28, 319–335.

- FAO**, (2003), *Food energy–methods of analysis and conversion factors*. Food and Agricultural Organization of the United Nation, Rome.
- Figoni**, P. I., Shoemaker, C. F. (1983), *Characterization of time dependent flow properties of mayonnaise under steady shear*, Journal of Texture Studies, 14 (4), 431–442.
- Fiske**, C. H., Subbarow, Y. (1925), *The colorimetric determination of phosphorous*, Journal of Biological Chemistry, 66, 375-400.
- Fruhworth**, G. O., Hermetter, A. (2007), *Seeds and oil of the Styrian oil pumpkin: Components and biological activities*, European Journal of Lipid Science and Technology, 109, 1128–1140.
- Ghannam**, M. T., Esmail, M. N. (1997), *Rheological properties of carboxymethyl cellulose*, Journal of Applied Polymer Science, 64 (2), 289–301.
- Ghotra**, B. S., Vasanthan, T., Temelli, F. (2009), *Rheological properties of aqueous blends of high purity barley β -glucan with high purity commercial food gums*, Food Chemistry, 117, 417–425.
- Giami**, S. (2003), *Effect of germination on bread–making properties of wheat–fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) seed flour blends*, Plant Foods for Human Nutrition, 58, 1–9.
- Gomez-Diaz**, D., Navaza, J. M. (2003), *Rheology of aqueous solutions of food additives Effect of concentration, temperature and blending*, Journal of Food Engineering, 56, 387–392.
- Gómez**, M., Moraleta, A., Oliete B. (2010), *Effect of fibre size on the quality of fibre–enriched layer cakes*, LWT–Food Science and Technology, 43, 33–38.
- Hayati**, I. N., Man, Y. B. C., Tan, C. P., Aini, I. N. (2007), *Stability and rheology of concentrated O/W emulsions based on soybean oil/palm kernel olein blends*, Food Research International, 40, 1051–1061.
- Heath**, M.R., Lucas, P.W. (1987), *Mastication: the Need for Collaborative Research*, Journal of Texture Studies 18, 111–123.
- Hoefler**, C. A. (2004), *Hydrocolloids*, Eagan Press Handbook Series, Eagan Press, Minnesota, USA.
- Holley**, R. A., Patel, D. (2005), *Improvement in shelf–life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials*, Food Microbiology, 22, 273–292.
- Huang**, X., Kakuda, Y., Cui, W. (2001), *Hydrocolloids in emulsion: particle size distribution and interfacial activity*, Food Hydrocolloids, 15, 533–542.
- Huggins**, M. L. (1942), *The Viscosity of Dilute Solutions of Long-Chain Molecules. IV. Dependence on Concentration*, Journal of American Chemical Society, 64 (11), 2716–2718.
- Humphreys**, W. M. (1996), *Fiber–Based Fat Mimetics: Microcrystalline Cellulose*, In Handbook of Fat Replacers (S. Roller i S. Jones, eds.), Chapter 7A, CRC Press, Boca Raton, New York.
- İşikli**, N.D., Karababa, E. (2005). *Rheological characterization of fenugreek paste (çemen)*, Journal of Food Engineering, 69, 185–190.
- Izydorczyk**, M., Cui, W. S., Wang Q. (2005). *Polysaccharide Gums: Structures, Functional Properties and Applications*, In Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties and Application (S.W., Cui, ed.), pp. 269–313, CRC Press, Boca Raton.

- ISO 6886** (2006), *Animal and vegetable fats and oils–Determination of oxidative stability (accelerated oxidation test)*, International Organization for Standardization.
- ISO 8589** (2007), *Sensory analysis–General guidance for the design of test rooms*. International Organization for Standardization.
- ISO 8586-2** (2008), *Sensory analysis–General guidance for the selection, training and monitoring of assessors–Part 2: Expert sensory assessors*. International Organization for Standardization.
- ISO 4121** (2003), *Sensory analysis–Guidelines for the use of quantitative response scales*. International Organization for Standardization.
- ISO 6658** (2005), *Sensory analysis–Methodology–General guidance*, International Organization for Standardization.
- Jafari**, M., Goli, S. A. H., Rahimmalek, M. (2012), *The chemical composition of the seeds of Iranian pumpkin cultivars and physicochemical characteristics of the oil extract*, European Journal of Lipid Science and Technology, 114, 161–167.
- Janssen**, A. M., Terpstra, M. E. J., De Wijk, R. A., Prinz, J. F. (2007), *Relations between rheological properties, saliva-induced structure breakdown and sensory texture attributes of custards*, Journal of Texture Studies, 38, 42–69.
- Jones**, P. J., Jew, S. (2007), *Functional food development: concept to reality*, Trends in Food Science & Technology, 18, 387–390.
- Jowitt**, R. (1974). *The terminology of food texture*. Journal of Texture Studies, 5, 351–358.
- Kreft**, J., Stibilj, V., Trkov, Z. (2002), *Iodine and selenium contents in pumpkin (Cucurbita pepo L.) oil and oil-cake*, European Food Research and Technology, 215, 279–281.
- Kim**, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y. N., Choi, C., Lee, B. H. (2012), *Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts*, Nutrition Research and Practice, 6(1), 21–27.
- King**, A. H. (2011), *Hydrocolloids in Salad Dressings*, In Hydrocolloids in Food Processing (T.R., Laaman, ed.), Chapter 2, Wiley-Blackwell.
- Klemm**, D., Heublein, B., Fink, H. P., Bohn, A. (2005), *Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material*, Angewandte Chemie International Edition in English, 44 (22), 3358–3393.
- Konica Minolta** (2007), *Precise colour communication–Colour control from perception to instrumentation*. Konica Minolta Sensing Inc., Japan.
- Kulić**, G. J., Radojičić, V. B. (2011), *Analysis of cellulose content in stalks and leaves of large leaf tobacco*, Journal of Agricultural Science, 56 (3), 207–215.
- Kwaambwa**, H. M., Goodwin, J. W., Hughes, R. W., Reynolds, P. A., (2007), *Viscosity, molecular weight and concentration relationships at 298 K of low molecular weight cis-polyisoprene in a good solvent*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 294, 14–19.
- Lawless**, H., Heymann, H. (2010), *Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices, Second Edition*, Springer, New York.
- Lazaridou**, A., Biliaderis, C. (2009), *Gluten-free doughs: rheological properties, testing procedures–methods and potential problems*, In Gluten-Free Food Science and Technology (E. Gallagher ed.), pp. 52–83, Blackwell Publishing Ltd, United Kingdom.

- Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Izydorczyk, M.S.** (2003), Molecular size effects on rheological properties of oat β -glucans in solution and gels, *Food Hydrocolloids*, 17, 693–712.
- Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., Sosulski, F. W.** (1974). *Certain functional properties of sunflower meal products*, *Journal of Food Science*, 39, 368–370.
- Lončarević, I.** (2013), *Uticaj lecitina različitog porekla na kristalizaciona svojstva masne faze i kvalitet mazivog krem proizvoda sa dodatkom funkcionalnih biljnih ulja*, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Luckham, P. F., Ukeje, M. A.** (1999), *Effect of Particle Size Distribution on the Rheology of Dispersed Systems*, *Journal of Colloid and Interface Science* 220, 347–356.
- Luukkonen, P., Newton, J. M., Podczek, F., Yliruusi, J.** (2001), *Use of a capillary rheometer to evaluate the rheological properties of microcrystalline cellulose and silicified microcrystalline cellulose wet masses*, *International Journal of Pharmaceutics*, 216, 147–157.
- Maache-Rezzoug, Z., Zarguili, I., Loisel, C., Doublier, J.-L.** (2010), *Study of DIC hydrothermal treatment effect on rheological properties of standard maize (SMS), waxy maize (WMS), wheat (WTS) and potato (PTS) starches*, *Journal of Food Engineering*, 99, 452–458.
- McCarthy, O. J.** (1987). *Large deformation testing of solid foods*, *Food Technology in New Zealand*, 40–43.
- McGuire, R. G.** (1992), *Reporting of Objective Color Measurements*, *Hort Science*, 27, 12, 1254–1255.
- Mermel, V. L.** (2004), *Old paths new directions: the use of functional foods in the treatment of obesity*, *Trends in Food Science & Technology*, 15, 532–540.
- Meullenet, J. F.** (1998), *Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes*, *Journal of Sensory Studies*, 13, 77–93.
- Mezger, T.** (2002), *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillation rheometers*, Vincentz Verlag, Hannover.
- Montgomery, D. C., Runger, G. C.** (2011), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York.
- Muir, D. D., Williams, S. A. R., Tamime, A. Y., Shenana, M. E.** (1997). *Comparison of the sensory profiles of regular and reduced-fat commercial processed cheese spreads*, *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 279–287.
- Murray, J. M., Delahunty, C.M., Baxter, I. A.** (2001), *Descriptive sensory analysis: past, present and future*, *Food Research International*, 34, 461–471.
- Nandi, P., Bhattarai, A., Das, B.** (2007), *Intrinsic Viscosities of Sodium Carboxymethylcellulose in Acetonitrile–Water Mixed Solvent Media Using Isoionic Dilution Method*, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, 45, 1765–1770.
- Nkosi, C.Z., Opoku, A.R., Terblanche, S.E.** (2006), *In vitro antioxidative activity of pumpkin seed (Cucurbita pepo) protein isolate and its in vivo effect on alanine transaminase and aspartate transaminase in acetaminophen-induced liver injury in low protein fed rats*. *Phytotherapy Research*, 20, 780–783.

- NMKL No. 86**, 5th Ed., (2013), *Aerobic microorganisms. Determination in foods at 37 °C, 30 °C, 25 °C, 20 °C, 17/7 °C or 6.5 °C by the colony count method*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- NMKL No. 189**, (2008), *Aerobic or anaerobic microorganisms or bacterial spores. Enumeration on Blood Agar*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- NMKL No. 95**, 5th Ed., (2009), *Clostridium perfringens. Determination in foods, feed and environmental samples*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- NMKL No. 144**, 3rd Ed., (2005), *Enterobacteriaceae. Determination in foods and feeds*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- NMKL No. 98**, 4th Ed., (2005), *Mould and yeasts. Determination in foods and feed*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- NMKL No. 67**, 6th Ed., (2010), *Presumptive Bacillus cereus. Determination in foods*, Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- Ogden**, C. F., Darie, N., Ogden, M. (2006), *Fat Replacers*, Journal of Agroalimentary Process and Technologies, 12 (2), 433–442.
- Onwulata**, C. I., Konstance, R. P., Smith, P. W., Halsinger, V.H. (1998), *Physical properties of extruded products as affected by cheese whey*, Journal of Food Science, 63, 814–818.
- Onyango**, C., Unbehend, G. Lindhauer, M. G. (2009), *Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinized cassava starch*, Food Research International, 42, 949–955.
- Pallant**, J. (2007), *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using SPSS for Windows, Third Edition*, Allen & Unwin, UK.
- Palzer**, S. (2009), *Food structures for nutrition, health and wellness*, Trends in Food Science & Technology, 20, 194–200.
- Pamies**, R., Cifre, J G. H., Martínez, M. C. L., Torre, J., G. (2008), *Determination of intrinsic viscosities of macromolecules and nanoparticles. Comparison of single-point and dilution procedures*, Colloid and Polymer Science, 286, 1223–1231.
- Parry**, J. W., Cheng, Z., Moore, J., Yu, L. L. (2008), *Fatty acid composition, antioxidant properties and antiproliferative capacity of selected cold-pressed seed flours*, Journal of American Oil Chemists' Society, 85, 457–464.
- Pasephol**, T., Small, D. M., Sherkat, F. (2008), *Rheology and texture of set yoghurt as affected by inulin addition*, Journal of Texture Studies, 39, 617–634.
- Peričin**, D., Krimer V., Trivić, S., Radulović, Lj. (2009), *The distribution of phenolic acids in pumpkin's hull-less seed, skin, oil cake meal, dehulled kernel and hull*, Food Chemistry, 113, 450–456.
- Peričin**, D., Radulović, Lj., Trivić, S., Dimić, E. (2008), *Evaluation of solubility of pumpkin seed globulins by response surface method*, Journal of Food Engineering, 84, 591–594.
- Piggott**, J. R., Simpson, S. J., Williams, S. A. R. (1998), *Sensory analysis*, International Journal of Food Science and Technology, 33, 7–18.
- Popović**, S., Lazić, V., Popović, Lj., Vaštag, Ž., Peričin, D. (2010), *Effect of the addition of pumpkin oil cake to gelatin to produce biodegradable composite films*, International Journal of Food Science & Technology, 45, 1184–1190.
- Popović**, S., Peričin, D., Vaštag, Ž., Lazić, V., Popović, Lj. (2012), *Pumpkin oil cake protein isolate films as potential gas barrier coating*, Journal of Food Engineering, 110, 374–379.

- Popović, S., Peričin, D., Vaštag, Ž., Popović, Lj., Lazić, V.** (2011), *Evaluation of edible film-forming ability of pumpkin oil cake; effect of pH and temperature*, Food Hydrocolloids, 25, 470–476.
- Prakasha, O., Talat, M., Hasan, S. H.** (2009), *Response surface design for the optimization of enzymatic detection of mercury in aqueous solution using immobilized urease from vegetable waste*, Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 56, 265–271.
- Pravilnik** o maksimalno dozvoljenim količinama ostataka sredstava za zaštitu bilja u hrani i hrani za životinje i o hrani i hrani za životinje za koju se utvrđuju maksimalno dozvoljene količine ostataka sredstava za zaštitu bilja, („Sl. glasnik RS”, br. 29/2014, 37/2014–isp., 39/2014 i 72/2014).
- Pravilnik** o prehranbenim aditivima, („Sl. glasnik RS”, br. 63/2013)
- Radočaj, O.** (2011), *Optimizacija tehnološkog procesa proizvodnje namaza sa vosokim sadržajem omega masnih kiselina upotrebom pogače semena uljane tikve golice*, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Radočaj, O., Vujasinović, V., Dimić, E.** (2013), *Sensory characteristics of hull-less pumpkin (Cucurbita pepo L.) oil press-cake spreads*, Journal of edible oil industry, 44 (1), 51–60.
- Razavi, S. M. A., Najafi, M. B. H., Alaei, Z.** (2008), *Rheological Characterization of Low Fat Sesame Paste Blended With Date Syrup*, International Journal of Food Properties, 11, (1), 92–101.
- Roopa, B. S., Bhattacharya, S.** (2008), *Alginate gels: I. Characterization of textural attributes*, Journal of Food Engineering, 85, 123–131.
- Sabadoš, V., Berenji, J., Martinov, M.** (2003), *Proizvodnja uljane tikve golice*, 44. Savetovanje industrije ulja Proizvodnja i prerada uljarica, Herceg Novi, Crna Gora, Zbornik radova, str. 105–111.
- Sabadoš, V., Berenji, J., Sekulić, O.** (2004), *Rezultati ispitivanja sorti i hibrida uljane tikve*, 45. Savetovanje industrije ulja Proizvodnja i prerada uljarica, Petrovac na moru, Crna Gora, Zbornik radova, str. 155–159.
- Savić, D.** (2013), *Primena metoda analize faktora i odzivne površine pri ispitivanju uticaja parametara usitnjavanja na utrošak energije kugličnog mlina*, Master rad, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Sánchez-González, I., Rodríguez-Casado, A., Careche, M., Carmona, P.** (2009), *Raman analysis of surimi gelation by addition of wheat dietary fibre*, Food Chemistry, 112, 162–168.
- Schramm, G.** (1998), *A Practical Approach to Rheology and Rheometry (2nd Ed)*. Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, Germany.
- Segura, J. A., Herrera, M. L., Añón, M.C.** (1995), *Margarines: a rheological study*, Journal of the American Oil Chemists' Society, 72, 375–378.
- Servais, C., Jones, R., Roberts, I.** (2002), *The influence of particle size distribution on the processing of food*, Journal of Food Engineering, 51, 201–208.
- Shakerardekani, A., Karim, R., Ghazali, H., M. Chin, N. L.** (2013a), *Development of pistachio (Pistacia vera L.) spread*, Journal of Food Science, 78(3), S484–S489.
- Shakerardekani, A., Karim, R., Ghazali, H., M., Chin, N. L.** (2013). *Textural, rheological and sensory properties and oxidative stability of nut spreads—a review*. International Journal of Molecular Sciences, 14, 4223–4241.

- Shakerardekani**, A., Karim, R., Ghazali, H., M., Chin, N. L. (2013b), *The effect of monoglyceride addition on the rheological properties of pistachio spread*, Journal of American Oil Chemists' Society, 90, 1517–1521.
- Shan**, B., Cai, Y., Brooks, J. D., Corke, H. (2007), *The in vitro antibacterial activity of dietary spice and medicinal herb extracts*, International Journal of Food Microbiology 117, 112–119.
- Singh**, S. K., Castell–Perez, M. E., Moreira, R. G. (2000), *Viscosity and textural attributes of reduced–fat peanut pastes*, Journal of Food Science, 65 (5), 849–853.
- Skupień**, K. (2006), *Chemical composition of selected cultivars of highbush blueberry fruit (Vaccinium corymbosum L.)*, Folia Horticulturae, 18 (2), 47–56.
- Sozer**, N. (2009), *Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums*, Food Hydrocolloids, 23, 849–855.
- SRPS EN ISO5492** (2012). *Senzorske analize*. Rečnik.
- Steffe**, F. J. (1996), *Rheological methods in food process engineering*, 2nd ed. Freeman Press, Still Valley.
- Stevenson**, D. G., Eller, F. J., Wang, L., Jane, J. L., Wang, T., Inglett, G. E. (2007), *Oil and Tocopherol Content and Composition of Pumpkin Seed Oil in 12 Cultivars*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, 4005–4013.
- Stojanović**, Z., Marković, S., Uskoković, D. (2010), *Merenje raspodele veličina čestica metodom difrakcije laserske svetlosti*, Novi Materijali, 19 (5), 1–15.
- Škaljac**, S. (2014), *Uticaj različitih tehnoloških parametara na formiranje boje tradicionalne fermentisane kobasice (Petrovačka kobasica) tokom standardizacije bezbednosti i kvaliteta*, Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univezitet u Novom Sadu.
- Tabilo–Munizaga**, G., Barbosa–Cànovas G. (2005). *Rheology for the food industry*, Journal of Food Engineering, 67 (1–2), 147–156.
- Tadros**, T. (2004), *Application of rheology for assessment and prediction of the long–term physical stability of emulsions*, Advances in Colloid and Interface Science, 108–109, 227–258.
- Taghizadeh**, M., Razavi, S. M. A. (2009), *Modeling Time–Independent Rheological Behavior of Pistachio Butter*, International Journal of Food Properties, 12 (2), 331–340.
- TA.HD**, (2004), *Texture Analyser Product Specification*, Stable Micro Systems Ltd., Godalming Surrey, Vienna.
- Talat**, M. (2009), *Detection of Copper (II) in Aqueous Solution by Immobilized Urease Obtained from Agro–waste: Optimization of Process Variables*, Biotechnology and Bioprocess Engineering, 14, 474–481.
- Vasić**, N., Markuš K. (2008), *Ispitivanje mogućnosti primene pogače uljane tikve golice u pojedinim proizvodima industrije mesa*, 49. Savetovanje industrije ulja Proizvodnja i prerada uljarica, Herceg Novi, Crna Gora, Zbornik radova, str. 165–173.
- Vaštag**, Ž., Popović, Lj., Popović, S., Krimer V., Peričin, D. (2010), *Hydrolysis of pumpkin oil cake protein isolate and free radical scavenging activity of hydrolysates: Influence of temperature, enzyme/substrate ratio and time*, Food and Bioproducts Processing, 88, 277–282.

- Vaštag, Ž.**, Popović, Lj., Popović, S., Krimer, V. Peričin, D. (2011), *Production of enzymatic hydrolysates with antioxidant and angiotensin-I converting enzyme inhibitory activity from pumpkin oil cake protein isolate*, Food Chemistry, 124, 1316–1321.
- Vatanasuchart, N.**, Stonsaovapak S. (2000), *Oatrim-5 as Fat Substitute in Low Calorie Salad Cream: Nutritional and Microbiological Qualities*, Kasetsart Journal (Natural Science), 34, 500–509.
- Vereš, M.** (1991), *Osnovi konzervisanja namirnica*, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Vidosavljević, S.** (2014), *Primena metoda analize faktora pri ispitivanju uticaja dodatka obezmašćene pšenične klice na pokazatelje kvaliteta testa i hleba*, Master rad, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Wang, B.**, Wang, L., Dong, L., Zhou, Y., Özkan, N. (2011), *Shear-thickening properties of waxy maize starch dispersions*, Journal of Food Engineering, 107, 415–423.
- Warner, K.**, Inglett, G. E. (1997), *Flavor and Texture Characteristics of Foods Containing Z-Trim Corn and Oat Fibers as Fat and Flour Replacers*, Cereal Foods World, 42 (10), 821–825.
www.nmkl.org/attachments/article/30/NMKLvsISOmethods.pdf
www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/konzervansi-uvod-i-podela
- Wilkinson, C.**, Dijksterhuis, G.B., Minekusy, M. (2000), *From food structure to texture*, Trends in Food Science & Technology, 11, 442–450.
- Xanthopoulou, M.N.**, Nomikos, T., Fragopoulou, E., Antonopoulou, S. (2009), *Antioxidant and lipoxygenase inhibitory activities of pumpkin seed extracts*, Food Research International, 42, 641–646.
- Yokoyama, W. H.**, Fraser, M. S., Khatri, L. L. (1987), *Reduced calorie Peanut Butter Product*, Patent US4814195 A, Winters Canning Co., Fullerton, California.
- Zdunczyk, Z.**, Minakowski, D, Frajnagel, S., Fils, M. (1999). *Comparative study of the chemical composition and nutritional value of pumpkin seed cake, soybean meal and casein*, Nahrung, 43 (6), 392–395.