



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET

Evaluacija kvaliteta pšeničnih sorti sa teritorije Vojvodine procenom reoloških karakteristika testa

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
dr Ljubica Dokić

Kandidat:
Slađana Rakita

Novi Sad, 2017.

UNIVERZITET U NOVOM SADU

TEHNOLOŠKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:	
RBR	
Identifikacioni broj:	
IBR	
Tip dokumentacije:	Monografska dokumentacija
TD	
Tip zapisa:	Tekstualni štampani materijal
TZ	
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.):	Doktorska disertacija
VR	
Ime i prezime autora:	Sladana Rakita, dipl. inženjer
AU	
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje):	Dr Ljubica Dokić, redovni profesor
MN	
Naslov rada:	Evaluacija kvaliteta pšeničnih sorti sa teritorije
NR	Vojvodine procenom reoloških karakteristika testa
Jezik publikacije:	Srpski, latinica
JP	
Jezik izvoda:	Srpski/Engleski
JI	
Zemlja publikovanja:	Republika Srbija
ZP	
Uže geografsko područje:	AP Vojvodina
UGP	
Godina:	2017.
GO	
Izdavač:	Autorski reprint
IZ	
Mesto i adresa:	Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija
MA	
Fizički opis rada:	7 poglavlja, 129 strana, 44 slike, 19 tabela, 155 literaturnih navoda
FO	
Naučna oblast:	Biotehničke nauke

NO

Naučna disciplina: Prehrambeno inženjerstvo

ND

Predmetna odrednica, ključne reči: Kvalitet brašna, pšenične sorte, glutopik,
PO reologija testa, hleb

UDK 664.641.12:664.661 (487.113)(043.3)

Čuva se: Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu,
ČU Bul. cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija

Važna napomena: Nema

VN

Izvod:

IZ

Uprkos brojnim tradicionalnim reološkim metodama koje se već dugi niz godina koriste u proceni kvaliteta brašna, postoji potreba za razvijanjem novih metoda, pomoću kojih bi se za kratko vreme i uz ograničenu količinu uzorka mogao uspešno predvideti kvalitet brašna i gotovog proizvoda. Na taj način selekcionerima bi bila omogućena procena tehnološkog kvaliteta linija pšenice čija je količina ograničena, dok bi se mlinarima obezbedio brz metod procene kvaliteta. Osnovni cilj istraživanja ove disertacije je ispitivanje mogućnosti primene novog reološkog uređaja glutopika u proceni kvaliteta brašna i finalnog proizvoda – hleba, kao i mogućnost zamene tradicionalnih dugotrajnih metoda novom reološkom metodom.

Kako bi se ispitale i iskoristile mogućnosti reološkog uređaja glutopik za procenu kvaliteta pšeničnog brašna definisani su optimalni uslovi merenja koji su podrazumevali upotrebu NaCl kao rastvarača i zadate parametre temperature (36 °C), obrtne brzine mešača (2700 rpm) i odnos brašna i rastvarača (8,5/9,5). Zabeležen je veliki broj korelacija između parametara glutopika i empirijskih reoloških pokazatelja kvaliteta brašna i testa. Takođe je utvrđena značajna korelacija između parametara glutopika i indikatora kvaliteta hleba u pogledu specifične zapremine i teksturnih karakteristika sredine hleba. Na osnovu parametara dobijenih merenjem na glutopiku definisane su granične vrednosti. Ustanovljeno je da se primenom glutopik metode može izvršiti klasifikacija sorti pšenice prema kvalitetu. Pored toga, utvrđeno je da glutopik ima veliki potencijal da zameni alveograf u proceni kvaliteta brašna u mlinarskoj i pekarskoj industriji. Reološki parametri koji zavise od sadržaja proteina kao što su moć upijanja vode i žilavost testa uspešno se mogu predvideti pomoću parametara glutopika. Primenom glutopik metode postignuta je umerena predikcija specifične zapremine hleba, dok je postignuta veoma dobra predikcija teksturnih karakteristika sredine hleba.

U okviru ove disertacije je ispitan uticaj sorte i lokaliteta na tehnološki kvalitet brašna pšenice kako bi se utvrdilo koja od ispitivanih sorti ispoljava ujednačen kvalitet u različitim mikroklimatskim uslovima tokom dve proizvodne godine. U obe proizvodne godine pokazatelji kvaliteta brašna su dominantno sortno određeni, pri čemu je zabeležen određeni uticaj mikroklimatskih faktora na lokalitetima gajenja. Odličan i najstabilniji kvalitet brašna u 2011. godini je imala sorta Gordana koja je pokazala

najveću adaptabilnost na mikroklimatske uslove. Apač je uniformno imao najlošiji kvalitet duž svih ispitivanih lokaliteta. Domaće sorte su u 2012. godini imale promenljiv kvalitet u zavisnosti od lokaliteta gajenja. Hlebove proizvedene od domaćih pšeničnih sorti je karakterisala velika zapremina, rastresita struktura sredine sa izraženim velikim porama i mala čvrstoća sredine, dok je hleb proizveden od sorte Apač imao malu zapreminu, zbijenu strukturu sredine hleba sa velikim brojem malih pora kao posledicu velike čvrstoće. Dobra predikcija kvaliteta hleba od brašna iz 2011. godine je postignuta primenom jednog reološkog pokazatelja kvaliteta, dok je za uspešnu predikciju kvaliteta hleba od brašna iz 2012. godine neophodno izvesti nekoliko različitih reoloških merenja. Analizom tehnološkog kvaliteta brašna pšenice različitih sorti gajenih na različitim lokalitetima iz tri proizvodne godine zabeležene su velike varijacije u kvalitetu brašna i hleba na ispitivanim lokalitetima i u proizvodnim godinama, što jasno ukazuje na značajan uticaj interakcija između sortimenta i uslova gajenja (lokaliteta i godina), kao i značaj ispitivanja ovih interakcija i razvoja strategija koje imaju za cilj smanjenje uticaja spoljašnjih faktora na kvalitet pšenice.

Datum prihvatanja teme od strane 01.07.2017.

Senata:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

dr Dragana Šoronja Simović, vanredni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad, predsednik

dr Ljubica Dokić, redovni profesor, Tehnološki fakultet, Novi Sad, mentor

dr Tamara Dapčević Hadnađev, naučni saradnik, Naučni institut za prehrambene tehnologije, član

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF TEHNOLOGY

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number:
ANO
Identification number:
INO
Document type: Monograph documentation
DT
Type of record: Textual printed material
TR
Contents code: Doctoral dissertation
CC
Author: Slađana Rakita, MSc
AU
Mentor: Dr Ljubica Dokić, full professor
MN
Title: Quality evaluation of wheat varieties from
Vojvodina by assessing dough rheological
properties
TI
Language of text: Serbian, latin
LT
Language of abstract: Serbian/English
LA
Country of publication: Republic of Serbia
CP
Locality of publication: Vojvodina
LP
Publication year: 2017.
PY
Publisher: Author's reprint
PU
Publication place: Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia
PP
Physical description: 7 chapters, 129 pages, 44 figures, 19 tables, 155
PD references
Scientific field: Biotechnical sciences
SF
Scientific discipline: Food engineering
SD
Subject, Key words: Flour quality, wheat varieties, Glutopeak, dough
SKW rheology, bread

UC

664.641.12:664.661 (487.113)(043.3)

Holding data:

Library of Faculty of Technology, Bulevar cara

HD

Lazara 1, 21000 Novi Sad, Serbia

Note:

None

N

Abstract:

AB

Regardless the fact that numerous traditional rheological methods have been used for many years in the flour quality assessment, there is a need for developing new methods, which could, in a short time, and with a limited amount of sample, successfully predict the quality of flour and finished products. In this way, wheat breeders would be able to evaluate the technological quality of the wheat lines with a restricted sample quantity, while the millers would be provided with a quick method of the quality evaluation. The main goal of the research of this dissertation was to examine the possibility of using a new rheological device GlutoPeak in the quality evaluation of flour and final product – bread, as well as the possibility of replacing traditional time-consuming methods with a new rheological test.

In order to examine the possibility of using a GlutoPeak rheological device for the flour quality evaluation, the optimal measurement conditions were defined and included the use of NaCl as a solvent, the rotational speed of the mixer (2700 rpm), temperature (36 °C), the ratio of flour and solvent (8.5/9.5). Numerous correlations between GlutoPeak indices and empirical rheological parameters of dough behaviour were reported in this study. Significant correlations were also observed between GlutoPeak parameters and bread specific volume and breadcrumb textural properties. The limit values were defined according to the GlutoPeak parameters values. Moreover, it was found that the GlutoPeak test could be used for wheat variety differentiation according to the quality and has a great potential to replace Alveograph in the flour quality assessment in the milling and bakery industries. Parameters which depends on the protein content, such as, flour water absorption and dough tenacity, was successfully predicted by using parameters derived from GlutoPeak tester. A moderate prediction of loaf specific volume was achieved, while a very good prediction of breadcrumb textural characteristics was accomplished with the GlutoPeak parameters.

In addition, the influence of genotype and growing location on flour quality was examined in order to determine which of the tested varieties exhibited uniform quality across different microclimatic conditions in two production years. It was revealed that in both production years flour quality indicators were predominantly influenced by genotype, with a certain influence of microclimate factors on the growing locations. Gordana variety showed excellent and uniform quality with the highest adaptability to microclimate conditions in year 2011. Apache variety showed uniformly poor quality across all tested locations. In year 2012 domestic varieties exhibited variable quality depending on the growing locations. Bread produced from domestic wheat varieties was characterized by a large volume, loose breadcrumb structure with pronounced large pores and low hardness, while the bread produced from Apache variety had a small volume, dense breadcrumb structure with a large number of small pores as a result of high breadcrumb hardness. The quality of bread produced from wheat flour from year

2011 was well predicted based on one rheological quality parameter. On the other hand, several different rheological measurements was performed to successfully predict the quality of bread produced from wheat flour from 2012 year.

By analyzing the technological quality of wheat flour of different varieties cultivated at different locations from three production years, large variations in the quality of flour and bread was recorded. The variations in flour and bread quality indicated the significant influence of interactions between the variety and growing conditions (locations and years), as well as the importance of examining these interactions and developing strategies aimed at reducing the impact of external factors on wheat quality.

Accepted on Senate on: 01.07.2017.

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

dr Dragana Šoronja Simović, associate professor, Faculty of Technology, Novi Sad, chairman

dr Ljubica Dokić, full professor, Faculty of Technology, Novi Sad, menthor

dr Tamara Dapčević Hadnađev, research associate, Institute of food technology, Novi Sad, member

SADRŽAJ

POGLAVLJE 1: UVOD	1
POGLAVLJE 2: PREGLED LITERATURE	3
2.1. Proizvodnja pšenice	3
2.2. Osnovni sastav pšeničnog brašna	3
2.2.1. Skrob.....	3
2.2.2. Proteini	5
2.2.3. Lipidi.....	7
2.2.4. Neskrobni polisaharidi.....	8
2.3. Reološke karakteristike testa od pšeničnog brašna	9
2.4. Napon smicanja i napon rastezanja	9
2.5. Strukturne osobine odgovorne za reološko ponašanje testa	10
2.6. Ispitivanje reoloških karakteristika testa	12
2.6.1. Procena reoloških karakteristika testa primenom empirijskih metoda.....	13
2.6.2. Procena reoloških karakteristika testa primenom fundamentalnih testova ...	15
2.7. Uticaj faktora životne sredine i sortimenta na kvalitet pšeničnog brašna	20
POGLAVLJE 3: CILJ RADA	24
POGLAVLJE 4: MATERIJAL I METODE	26
4.1 Materijal.....	26
4.1.1. Uzorci pšeničnog brašna	26
4.1.2. Hidrometeorološki uslovi u 2011., 2012., i 2013. godini	27
4.2. Metode.....	33
4.2.1. Sadržaj vlage i proteina u brašna	33
4.2.2. Sadržaj vlažnog glutena i gluten indeksa.....	33
4.2.3. Ispitivanje reoloških karakteristika testa empirijskim metodama	33
4.2.4. Ispitivanje reoloških karakteristika testa fundamentalnim testovima.....	40
4.2.5. Laboratorijsko probno pečenje hleba	42
4.2.6. Određivanje specifične zapremine hleba.....	43
4.2.7. Određivanje teksture sredine hleba.....	43
4.2.8. Analiza strukture skenirajućom elektronskom mikroskopijom	44

4.2.9. Statistička obrada podataka	45
POGLAVLJE 5: REZULTATI I DISKUSIJA.....	47
5.1. Ispitivanje mogućnosti primene reološkog uređaja glutopik u proceni kvaliteta pšeničnog brašna.....	47
5.1.1. Razvoj glutopik metode.....	47
5.1.2. Korelacije između parametara glutopika i pokazatelja reoloških karakteristika testa i kvaliteta hleba	50
5.1.3. Klasifikacija pšeničnog brašna prema kvalitetu pomoću glutopika.....	56
5.1.4. Primena glutopika za klasifikaciju pšenice po sortimentu i lokalitetu gajenja	59
5.1.5. Regresioni modeli za predviđanje reoloških osobina testa i kvaliteta hleba primenom parametara glutopika	60
5.2. Uticaj sorte i lokaliteta na tehnološki kvalitet brašna iz dve proizvodne godine ...	64
5.2.1. Sadržaj proteina i glutena	65
5.2.2. Ispitivanje sposobnosti želatinizacije	67
5.2.3. Ispitivanje kvaliteta brašna farinografom	68
5.2.4. Ispitivanje kvaliteta brašna ekstenzografom	71
5.2.5. Ispitivanje kvaliteta brašna alveografom	72
5.2.6. Ispitivanje kvaliteta brašna pomoću miksolaba	74
5.2.7. Ispitivanje kvaliteta brašna pomoću glutopika.....	76
5.2.8. Ispitivanje kvaliteta brašna fundamentalnom reologijom.....	77
5.2.9. Kvalitet i teksturne karakteristike sredine hleba	81
5.2.10. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na pokazatelje kvaliteta brašna i hleba dobijenih od različitih sorti pšenice gajene na različitim lokalitetima iz dve proizvodne godine	86
5.2.11. Regresioni modeli za predviđanje kvaliteta hleba	92
5.3. Uticaj sorte, lokaliteta i proizvodne godine na tehnološki kvalitet brašna	97
5.3.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na pokazatelje kvaliteta brašna i hleba iz tri proizvodne godine	107
POGLAVLJE 6: ZAKLJUČAK.....	110
LITERATURA	115

Poglavlje 1

Uvod

Kvalitet pšenice je uslovljen sortnim karakteristikama, uslovima gajenja i njihovim interakcijama. Primarni cilj proizvođača pšenice je postizanje što većeg prinosa, dok najveći izazov predstavlja postizanje standarda kvaliteta pšeničnog brašna i funkcionalnih osobina zahtevanih od pekarske industrije. Da bi se postigla konzistentnost u kvalitetu brašna, što je od ključnog značaja za proizvodnju pekarskih proizvoda visokog kvaliteta, sortne karakteristike brašna pšenice dobrog kvaliteta treba da budu istovetne na svim lokalitetima gajenja.

Međutim, pecivni kvalitet pšenice ne zavisi samo od genetskih faktora, već i od uslova spoljne sredine, koji imaju veliku ulogu u ekspresiji osobina genotipa. Faktori spoljne sredine su retko optimalni i uvek neki od njih uslovljava kvalitet zrna. Razumevanje uticaja ovih faktora na kvalitet brašna je važno da bi se pomoglo proizvođačima pšenice da postave odgovarajuće strategije u cilju razvijanja sorti pšenice sa visokoprinosnim potencijalom i konzistentnim kvalitetom koje bi zadovoljile potrebe tržišta.

Kvalitet brašna u velikoj meri utiče na reološke karakteristike i ponašanje testa tokom svih faza proizvodnje, kao i na kvalitet gotovog proizvoda. Testo je složen biološki sistem čiji kvalitet zavisi ne samo od sadržaja i kvaliteta proteina i glutena, već je i rezultat kompleksnih interakcija između makromolekula koji su odgovorni za ponašanje testa. Kvalitet glutena je jedan od najvažnijih kriterijuma koji se uzima u obzir prilikom selekcije sorti i za procenu tehnološkog kvaliteta pšenice za potrebe pekarske industrije. Probni test pečenja je do sada najpouzdanija metoda za procenu kvaliteta brašna. Međutim, test pečenja je dogotrajan, zahteva iskusno i obučeno osoblje, veliku količinu

uzorka što predstavlja limitirajući faktor selekcionerima kod kojih postoji zahtev za procenu kvaliteta pšenice uz ograničenu količinu uzorka. Stoga i dalje postoji potreba za razvojem pouzdanih i brzih metoda za definisanje kvaliteta pšenice. Tokom poslednjih decenija razvile su se specifične reološke metode koje se primenjuju u pekarskoj industriji za definisanje kvaliteta brašna i procenu ponašanja testa tokom svih faza obrade. Primenom reoloških metoda i procenom reoloških karakteristika testa dobijaju se važne informacije o mehaničkim osobinama, strukturi i sastavu testa i omogućava se predviđanje ponašanja testa tokom obrade. Stoga je razvoj pouzdane metode koja bi omogućila predviđanje kvaliteta gotovog proizvoda za kratko vreme, kao i klasifikaciju pšenice po kvalitetu od velike važnosti za ceo lanac proizvodnje i prerade pšenice.

Poglavlje 2

Pregled literature

2.1. Proizvodnja pšenice

Pšenica je jedna od najznačajnijih žitarica koja se koristi u ishrani ljudi jer predstavlja važan izvor energije, proteina i mikronutrijenata. Prema FAO statističkim podacima godišnje se za ljudsku ishranu iskoristi oko 450 miliona tona pšenice (Svihus, 2014). U svetu se godišnje proizvede oko 700 miliona tona pšenice, dok je u Srbiji proizvodnja pšenice za period od 2005. do 2015. godine iznosila od 1,9 do 2,4 miliona tona godišnje (FAOSTAT, Statistički godišnjak Republike Srbije, 2016). Veliki prinos i sposobnost razvoja biljke pri različitim klimatskim uslovima doprinose masovnoj proizvodnji pšenice. Pored toga, jedinstvene karakteristike testa od pšeničnog brašna koje su neophodne za uspešnu proizvodnju različitih pekarskih proizvoda, pogotovo hleba, predstavljaju razlog široke rasprostanjenosti ove žitarice.

2.2. Osnovni sastav pšeničnog brašna

Hemijski sastav pšeničnog brašna čine: skrob (75–80 %), proteini (10–12 %), voda (14 %), kao i manje zastupljene komponente poput lipida (2 %), neskrobnih polisaharida (2–3%), prostih šećera i mineralnih materija (Goesaert i sar., 2005).

2.2.1. Skrob

Skrob kao najzastupljenija komponenta zrna pšenice čini oko 80% mase endosperma. Skrob predstavlja polimer monosaharida D-glukoze visokog stepena polimerizacije.

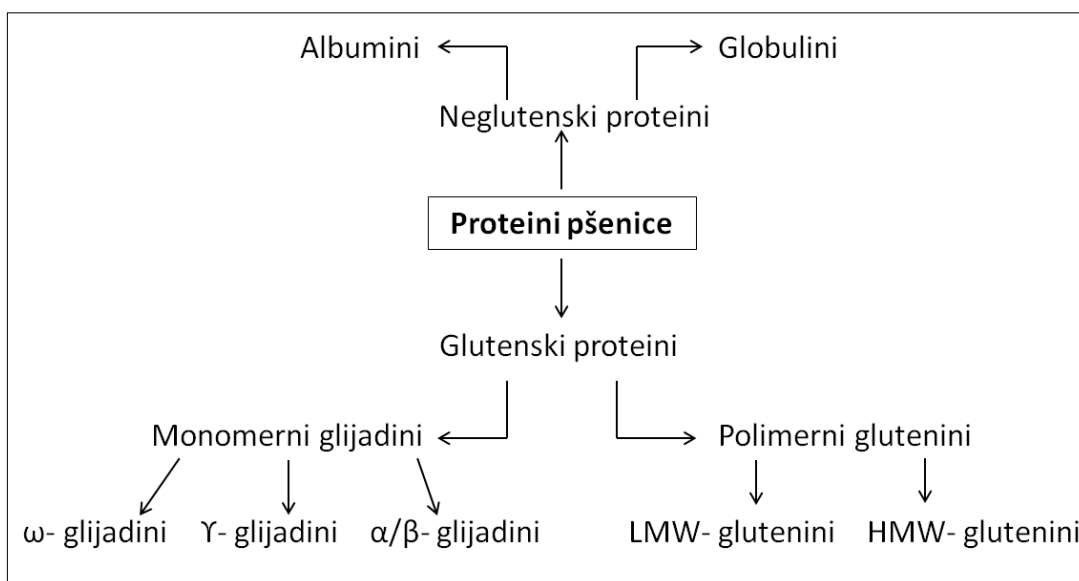
Ostaci D-glukoze su osnovni gradivni element skroba međusobno povezani α -glukozidnim vezama. Skrob se sastoji od dve osnovne polisaharidne frakcije, amiloze i amilopektina, koje se međusobno razlikuju po načinu povezivanja osnovnih gradivnih jedinica. Amiloza, kao uslovno linearna komponenta, predstavlja dugi, savitljiv molekul, molekulske mase 10^5 – 10^6 , koji se sastoji od 500–6000 D-glukopiranoznih jedinica međusobno povezanih α -(1–4) vezom (Goesaert i sar., 2005; Van De Borghet i sar., 2005). Danas je poznato da je frakcija amiloznog molekula blago razgranata putem α -(1–6) veza, ima 9–20 mesta grananja što je ekvivalentno 3–11 bočnih lanaca po molekulu (Tester i sar., 2004). Nasuprot amilozi, amilopektin je velik i veoma razgranat molekul stepena polimerizacije od 3×10^5 do 3×10^6 i molekulske mase veće od 10^8 . U molekulu amilopektina D-glukopiranozni ostaci su međusobno povezani α -(1–4) vezama, dok su lanci između sebe, na mestima grananja povezani α -(1–6) vezama, koje čine oko 5% ukupnog broja veza u molekulu. Prosečna dužina lanca amilopektina je 20–25 glukozidnih jedinica. Odnos amiloze i amilopektina varira u zavisnosti od botaničkog porekla skroba, a tipičan odnos ove dve frakcije u molekulu pšeničnog skroba je 25–28% amiloze, odnosno 72–75% amilopektina (Goesaert i sar., 2005; Van De Borghet i sar., 2005).

Skrob, zahvaljujući svojim jedinstvenim osobina ima višestruku funkciju u svim fazama proizvodnje hleba. Prilikom mlevenja zrna dolazi do oštećenja skrobnih granula, pri čemu se osobine skroba značajno menjaju (Hoseney, 1994). Oštećeni skrob ima sposobnost upijanja velike količine vode i upija četiri puta više vode u odnosu na neoštećenu granulu. Kao rezultat, povećava se apsorpcija vode od strane brašna i osetljivost skroba na delovanje enzima α -amilaze (Stauffer, 2007). Prilikom formiranja strukture testa skrobne granule su uklopljene u trodimenzionalnu glutensku strukturu. Skrob, delujući kao punilac strukture značajno doprinosi viskoelastičnim karakteristikama testa (Bloksma, 1990). Zbog podložnosti na delovanje amilolitičkih enzima skrob predstavlja supstrat za aktivnost ćelija kvasca. Zagrevanjem suspenzije skroba u vodi, dešava se niz promena koje dovode do ireverzibilnog narušavanja molekulske strukture skrobne granule. Naime, skrobna granula bubri, apsorbuje vodu, povećava se mobilnost kristalnih regija i raskidaju se vodonične veze u amorfnim regijama, gubi se kristalna uređenost kao posledica topljenja kristalne strukture (Singh i sar., 2003). Daljim zagrevanjem nova količina vode prodire u unutrašnjost granule,

narušava se njena struktura i molekuli amiloze prelaze iz granule u okolni medium. Kao posledica toga, povećava se viskozitet skrobne suspenzije i formira se skrobna pasta koja se sastoji od amorfnih skrobnih granula koje čine diskontinualnu fazu i rastvorenih makromolekula amiloze koji predstavljaju kontinualnu fazu. Ovaj proces promena u strukturi skrobne granule naziva se želatinizacija (Ai i sar., 2015; Vamadevan i Bertoft, 2015). Tokom faze pečenja hleba skrob pod uticajem visoke temperature i u prisustvu dovoljne količine vode želatinizuje i na taj način učestvuje u formiranju strukture hleba. Jedna od važnih osobina skroba je da prilikom starenja hleba skrobna komponenta utiče na očvršćavanje sredine usled retrogradacije frakcija skroba (Gray i Bemiller, 2003). Proces retrogradacije podrazumeva povezivanje molekula skroba u uređenu kristalnu strukturu vodiničnim vezama (Karim i sar., 2000).

2.2.2. Proteini

Prema tradicionalnoj Osborne-ovoj klasifikaciji prema rastvorljivosti, proteini pšenice se dele na: albumine (rastvorljivi u vodi), globuline (nerastvorljivi u vodi, ali se rastvaraju u slanim rastvorima), glutenine (rastvorljivi u 70-90% etanolu) i glijadine (rastvorljivi u razblaženim rastvorima kiselina i baza) (Gianibelli i sar., 2002). Prema funkcionalnoj ulozi koju imaju u proizvodnji hleba moguće je izvršiti podelu proteina na neglutenske, koji imaju malu ulogu u pekarstvu i glutenske proteine koji imaju značajnu ulogu u pekarstvu. Albumini i globulini pripadaju grupi neglutenskih proteina (15-20% ukupnih proteina pšenice), pretežno su raspoređeni u spoljašnjim slojevima zrna pšenice i u manjem procentu u endospermu. Po strukturi su monomerni i imaju metaboličku (enzimi) i strukturnu ulogu u zrnu. Iako se smatra da glutenski proteini u najvećoj meri određuju pecivni kvalitet brašna, neglutenski proteini takođe imaju ulogu u pekarstvu (Veraverbeke i Delcour, 2002). Albumini i globulini su značajni sa nutritivnog aspekta jer sadrže veliku količinu esencijalnih aminokiselina (Kuktaite, 2004). Endogeni enzimi pšenice (proteaze i endoksilanaze) i inhibitori enzima mogu da utiču na proces proizvodnje pekarskih proizvoda (Veraverbeke i Delcour, 2002).

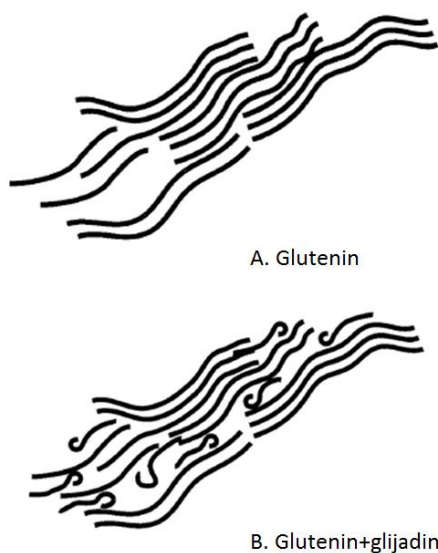


Slika 1. Kasifikacija proteina pšenice (Shewry i sar., 1986; Shewry i Tatham, 1990)

Grupi glutenskih proteina pripadaju monomerni glijadini i polimerni glutenini (80–85% ukupnih proteina pšenice). To su skladišni proteini koji su zastupljeni u endospermu zrna i imaju osobinu da formiraju kontinualni matriks u koji su uklopljene skrobne granule. Glijadini predstavljaju heterogenu smešu monomernih glutenskih proteina molekulske mase između 30,000 i 80,000 Da. Prema elektroforetskoj pokretljivosti dele se na: α/β - (najbrži), γ - i ω -glijadine (sporiji) (Shewry i sar., 1986; Veraverbeke i Delcour, 2002). Glutenini su smeša polimera molekulske mase od 80,000 Da pa do nekoliko miliona. Poznato je da se glutenin sastoji od gluteninskih podjedinica (GS) povezanih disulfidnim vezama. Pored toga što se povezuju intermolekulskim disulfidnim vezama, glutenini, kao i glijadini imaju sposobnost formiranja intramolekulskih disulfidnih veza. Na osnovu molekulske mase razlikuju se grupe gluteninskih podjedinica: gluteninske podjedinice velikih molekulske masa (HMW-GS) (od 65,000 do 90,000 Da), i gluteninske podjedinice malih molekulske masa (LMW-GS) (od 30,000 do 60,000 Da) (Goesaert i sar., 2005).

Sa tehnološkog aspekta glutenski proteini su veoma značajni u procesu proizvodnje hleba jer određuju viskoelastične osobine testa. Prilikom mešenja brašna sa vodom glutenini koji su dugi polimerni proteini, međusobno su isprepleteni i nasumično orijentisani. Kako se mešenje nastavlja, glutenini se hidratišu i orijentišu u pravcu delovanja sile. Povezivanjem proteina disulfidnim vezama formira se trodimenzionalna

glutenska mreža. Pri optimalnom razvoju testa interakcije između umreženih polimera postaju jače što dovodi do povećanja jačine testa i maksimalne otpornosti na rastezanje. Monomerni glijadini formiraju matriks unutar polimerne mreže glutena. Smatra se da glijadini i glutenini imaju različit doprinos reološkim osobinama testa. Glutenini doprinose jačini testa (otpor na rastezanje) i elastičnosti, dok glijadinska frakcija deluje kao plastikator koji slabi interakcije između gluteninskih jedinica, odnosno doprinosi viskoznom ponašanju i rastegljivosti glutena (Abang Zaidel i sar., 2010). Veruje se da kvalitet glutenskih proteina isključivo zavisi od odnosa glijadina i glutenina i kvaliteta gluteninske frakcije. Razlike u funkcionalnosti glutenina u pekarstvu potiču od razlike u strukturi, sastavu i raspodeli veličina gluteninskih polimera (Goesaert i sar., 2005).



Slika 2. Model strukture glutena. A) glutenin, B) povezivanje glijadina u strukturu

2.2.3. Lipidi

Lipidi su zastupljeni u pšeničnom brašnu u količini oko 2–2,5% i čine sastavni deo membrana, organela i sferozoma. Na osnovu rastvorljivosti lipidi se mogu podeliti na skrobne i slobodne i vezane neskrobne lipide (Elliason i Larson, 1993, Pareyt i sar., 2011). Skrobni lipidi se nalaze unutar strukture skrobne granule i formiraju komplekse sa amilozom, dok neskrobni lipidi potiču iz endosperma, aleurskog sloja i klice i učestvuju u svim fizičkim, hemijskim i biohemijskim reakcijama u brašnu i testu tako što se vezuju za gluten (Morrison, 1988). U zavisnosti od toga da li stupaju u interakciju sa

vodom, može se izvršiti klasifikacija lipida pšeničnog brašna na polarne (fosfolipidi, galaktolipidi) koji čine oko 75% ukupnih lipida pšeničnog brašna i nepolarne lipide (trigliceridi, slobodne masne kiseline) (Eliason i Larson, 1993).

Uprkos maloj zastupljenosti u brašnu, lipidi imaju značajan uticaj na kvalitet proizvoda od brašna. Skrobni lipidi su čvrsto vezani unutar skrobne granule i tako ne mogu da utiču na ponašanje testa prilikom obrade sve do momenta želatinizacije skroba. Smatra se da su brašna sa većim sadržajem slobodnih polarnih lipida boljeg kvaliteta i hleb od takvog brašna ima bolje karakteristike (Pareyt i sar., 2011). Nasuprot tome, dodatak nepolarnih lipida (slobodnih masnih kiselina) obezmašćenom brašnu dovodi do smanjenja zapremine hleba (Eliason i Larson, 1993). Tokom prvih faza mešenja testa 70% lipida pšeničnog brašna (uglavnom slobodni polarni i deo nepolarnih lipida) se se inkorporira unutar strukture proteinskog aglomerata ili se vezuje za površinu glutenske strukture (Pareyt i sar., 2011). Proteini glutena (glijadini i glutenini) se vezuju za različite slobodne polarne lipide. Naime, galaktolipidi stupaju u interakciju sa gluteninom preko hidrofobnih i vodoničnih veza, dok se fosfolipidi vezuju za glijadine (McCann i sar., 2009). Slobodni lipidi vezani za proteine glutena raspoređuju se na površini ćelija gasa tokom faze mešenja obrazujući monosloj i povećavaju stabilnost ćelija gasa tokom celog procesa proizvodnje hleba (Gan i sar., 1995). Dodatak male količine slobodnih polarnih lipida (do 30% od one u kojoj su prirodno prisutni u brašnu) obezmašćenom brašnu dovodi do smanjenje zapremine hleba tako što destabilizuju membrane koje razdvajaju ćelije gasa u testu. Međutim, dodatak polarnih lipida u količini znatno većoj od one u kojoj se oni prirodno nalaze u brašnu povećava stabilnost ćelija gasa i dovodi do povećanja zapremine hleba (Sroan i MacRitchie, 2009). Pored toga, zabeleženo je da polarni lipidi imaju pozitivan uticaj na obradivost testa (Graybosch i sar., 1993). Tokom procesa starenja hleba lipidi brašna mogu formirati komplekse sa amilozom i tako dovesti do omekšavanja strukture sredine hleba (Pareyt i sar., 2011).

2.2.4. Neskrobni polisaharidi

Grupu neskrobnih polisaharida pšeničnog zrna čine arabinoksilani, β -glukani, celuloza i arabinogalaktani, a nalaze se u ćelijskim zidovima endosperma i mekinja (Goeseart i sar., 2005). Neskrobni polisaharidi čine 75 % suve materije ćelijskog zida endosperma,

od kojih su najdominantniji arabinoksilani (85%) koji mogu biti rastvorljivi i nerastvorljivi u vodi (Courtin i Delcour, 2002). Karakteristika svih neskrobnih polisaharida je sposobnost vezivanja velike količine vode. Procenjuje se da u sveže pripremljenom testu arabinoksilani mogu da vežu 25% vode (Atwell, 1998). Uloga neskrobnih polisaharida u pekarstvu je takođe veoma značajna. Arabinoksilani rastvorljivi u vodi povećavaju konzistenciju i čvrstoću testa a smanjuju vreme mešenja. Pri istoj konzistenciji testa, dodatak rastvorljivih arabinoksilana povećava moć upijanja vode brašna, smanjuje energiju potrebnu da se postignu optimalni uslovi mešenja, smanjuje rastegljivost a povećava otpornost na rastezanje. U toku faze fermentacije stabilizuju ćelije gasa i povećavaju sposobnost zadržavanja gasova u strukturi testa (Goeseart i sar., 2005). Uticaj arabinoksilana rastvorljivih u vodi ogleda se i u poboljšanju karakteristika, teksture i zapremine hleba (Gan i sar., 1995). Arabinoksilani nerastvorni u vodi apsorbuju veliku količinu vode prilikom formiranja strukture testa. Voda koju apsorbuju arabinoksilani postaje nedostupna za razvoj glutena što naknadno dovodi do destabilizacije ćelija gasa. Pored toga, nerastvorljivi arabinoksilani poboljšavaju koalescenciju ćelija gasa i smanjuju zadržavanje gasa, što rezultuje smanjenju zapremine hleba (Courtin i Delcour, 2002). Smatra se da arabinoksilani imaju jak uticaj na distribuciju vode u testu, usporavaju proces retrogradacije skroba i starenje hleba (Biliaderis i sar., 1995).

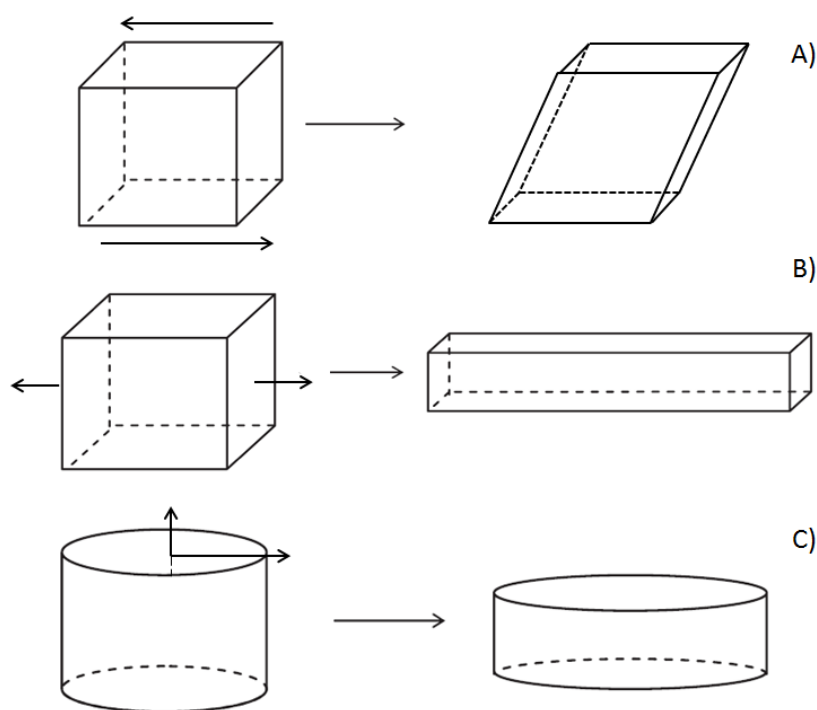
2.3. Reološke karakteristike testa od pšeničnog brašna

Reologija je nauka koja proučava proticanje i deformaciju materijala kao odgovor na primenjeni napon ili deformaciju. Većina prehrambenih sistema ispoljava osobine koje su između osobina idealno-elastičnih (Hook-ovih) tela i idealno-viskozni (Newton-ovih) tečnosti (Abang Zaidel i sar., 2010). Testo je jedno od najkompleksnijih reoloških sistema. Ono je viskoelastični sistem koji ispoljava pseudoplastično i tiksotrpno proticanje (Mirsaeedghazi i sar., 2008; Weipert, 2006).

2.4. Napon smicanja i napon rastezanja

Reološke osobine testa imaju značajnu ulogu tokom svih faza proizvodnje hleba. Tokom različitih faza manipulacije i obrade testa, kao što je mešenje, gnječenje, rastezanje,

fermentacija i pečenje, testo se izlaže različitim naponima. Postoje dve vrste napona koja deluju na testo prilikom obrade, napon smicanja i napon rastezanja. Kod napona smicanja sile deluju paralelno jedna u odnosu na drugu u suprotnim smerovima u odnosu na testo (Slika 3a). Kod napona rastezanja sile deluju u jednom pravcu (3b) ili u dva pravca što se postiže kompresijom između podmazanih površina ili uduvavanjem vazduha (3c). Prilikom faze mešenja i gnječenja i kod farinografa i miksografa dominantne su sile smicanja. Kod merenja na ekstenzografu dominantan je napon rastezanja u jednom pravcu dok je kod alveografa i tokom faze fermentacije i pečenja dominantan napon rastezanja u dva pravca (Dobraszczyk i Morgenstern, 2003; Stauffer, 1999).



Slika 3. Šematski prikaz delovanja napona smicanja (A), napona rastezanja u jednom pravcu (B) i napona rastezanja u dva pravca (C)

2.5. Strukturne osobine odgovorne za reološko ponašanje testa

Mešenje je prva faza u procesu proizvodnje hleba. Reološke promene koje se dešavaju u glutenskoj strukturi prilikom mešenja u velikoj meri određuju kvalitet finalnog

proizvoda. Tokom mešenja odvija se hidratacija čestica brašna i formiranje trodimenzionalne viskoelastične glutenske strukture usled unete mehaničke energije u sistem. Skrobne granule uklopljene su u strukturu glutenskog matriksa i formiraju agregate. Reološke osobine testa u ovoj fazi zavise od sadržaja proteina, kao i odnosa glijadina i glutenina, primenjenih procesnih parametara (vreme mešenja, temperatura, energija) i dodataka (soli, vode, masti, kvasca, emulgatora) (Abang Zaidel i sar., 2010). Da bi se postigao optimalan razvoj testa, vreme mešenja i energija moraju biti iznad minimalnog kritičnog nivoa. Brašna različitog kvaliteta imaju različito optimalno vreme mešenja. Duže vreme mešenja imaju testa od jakog brašna zbog gustog pakovanja čestica i sporije penetracije vode (Hoseney, 1985). Nedovoljan intenzitet mešenja dovodi do formiranja slabe glutenske strukture koja naknadno pogoršava kvalitet gotovog proizvoda (Mac Ritchie, 1986). Sa druge strane, povećanjem vremena mešenja i energije unete u sistem iznad optimalnog nivoa dovodi do promena u mehaničkim osobinama testa (Cuq i sar., 2002). Ukoliko je vreme mešenja testa duže od optimalnog, raskidaju se disulfidne veze između lanaca proteina i dolazi do depolimerizacije glutenina. Depolimerizacijom proteina formiraju se kratki lanaci koji testo čini lepljivim. Količina vode koja se dodaje u zames je faktor koji značajno doprinosi reološkom ponašanju jer utiče na konzistenciju testa. Ukoliko se prilikom zamesa brašnu doda nedovoljna količina vode formira se testo koje ima suhu zrnastu strukturu, dok prevelika količina vode dodata dovodi do pojave lepljivog testa. Stoga je za formiranje kohezivne viskoelastične strukture testa optimalne jačine glutena neophodna optimalna količina vode za zames. Obzirom da optimalna količina vode zavisi od tipa brašna, jaka brašna zahtevaju veću količinu vode nego slabija zbog gustog pakovanja čestica brašna (Abang Zaidel i sar., 2010).

Zapremina gotovog proizvoda je posledica proizvodnje i zadržavanja gasova u toku fermentacije. Količina vazduha koja se inkorporira u strukturu testa tokom mešenja povećava se tokom faze fermentacije usled produkcije ugljendioksida koji potom migrira u mehurove vazduha (Masi i sar., 2000). Glutenska mreža ima važnu ulogu u zadržavanju gasova nastalih tokom faze obrade testa. Da bi se proizveo hleb zadovoljavajućih karakteristika, bitan je balans između elastičnosti i rastegljivosti testa. Naime, testo mora da poseduju određenu rastegljivost da bi došlo do širenja gasova u strukturi testa i da bi se formirao oblik vekne tokom pečenja. Sa druge strane, testo

mora posedovati određenu jačinu da ne bi došlo do gubitka vazduha i da bi zadržalo oblik tokom pečenja kako ne bi došlo do kolapsa strukture (Veraverbeke i Delcour, 2002). U tom smislu, konzistencija testa je inicijalno najvažnija karakteristika koja određuje zadržavanje gasova neophodno za proizvodnju hleba. Ukoliko se pretpostavi da sposobnost zadržavanja gasova u strukturi testa direktno zavisi od konzistencije testa, može se očekivati da će se sposobnost zadržavanja gasova povećati sa povećanjem konzistencije testa. Prema tome, tvrda testa sa velikom sposobnošću zadržavanja gasova i produkcije gasova imaju veliki prinos zapremine. Sa druge strane, testa manje konzistencije i male sposobnosti zadržavanja gasova daju proizvod male zapremine, zbog toga što je struktura glutena slaba i testo je propusno za gasove. Treba imati u vidu da izrazito jaka testa ne dozvoljavaju rastezanje zbog njihove velike čvrstoće i izrazite stabilnosti, što dovodi do malog prinosa zapremine. Prema tome, neophodno je postizanje optimalnih reoloških karakteristika da bi se postigao maksimalni prinos zapremine. Obzirom da se ovaj faktor može kontrolisati određivanjem moći upijanja vode pomoću farinografa, prema tome, može se održavati konstantnim. Zapremina gotovog proizvoda zavisi od konzistencije i elastičnosti testa (Weipert, 2006).

Tokom pečenja hleba dešavaju se brojne ireverzibilne promene u testu poput modifikacije skroba i interakcija između skroba i proteina. Povećanjem temperature u testu, skrobne granule bubre, povećava se fluidnost testa usled enzimske razgradnje skroba i poboljšava se mobilnost glutenske mreže. Između skrobnih granula i proteina postoji kompetitivna reakcija apsorpcije vode iz tečne faze. Međutim, usled ograničene količine vode, veći deo skrobnih granula ne apsorbuje vodu. Kada temperatura sredine dostigne 60–70 °C, glutenski proteini koagulišu pri čemu se značajno smanjuje sposobnost vezivanja vode. Kao posledica, preostala količina vode postaje dostupna skrobnim granulama koje upijaju vodu, bubre i želatinizuju, što dovodi do promena u viskozitetu i konzistenciji testa (Masi i sar., 2000).

2.6. Ispitivanje reoloških karakteristika testa

Ispitivanje reoloških karakteristika testa je veoma značajno u proceni kvaliteta brašna i koristi se tokom celog lanca prerade pšenice u cilju ispitivanja mehaničkih osobina, molekulske strukture i uticaja sastava testa. Reološkim merenjima simuliraju se realni

uslovi obrade testa i proizvodnje hleba, čime se postiže imitiranje ponašanja testa tokom svih faza obrade i samim tim predviđanje kvaliteta gotovog proizvoda (Dobraszczyk i Morgenster, 2003).

Metode koje se koriste za ispitivanje reoloških karakteristika testa mogu se podeliti na: empirijske ili deskriptivne i fundamentalne ili osnovne. Nasuprot empirijskim testovima koji se izvode pri uslovima velike deformacije, fundamentalni testovi su uglavnom testovi malih deformacija (Abang Zaidel i sar., 2010).

2.6.1. Procena reoloških karakteristika testa primenom empirijskih metoda

Do kraja osamdesetih godina procena kvaliteta brašna se izvodila isključivo empirijskim reološkim testovima. Ovi testovi se zasnivaju na direktnoj proceni kvaliteta brašna obzirom da se prilikom izvođenja testova koriste sile velikih deformacija koje odgovaraju onim u realnim uslovima obrade testa. Empirijski testovi se najviše primenjuju u industrijama i laboratorijama za kontrolu kvaliteta, jednostavni su za izvođenje i ne zahtevaju stručno osoblje. Pored toga, empirijske reološke metode su uvrštene kao standardne metode u okviru međunarodnih ICC, AACC i ISO standarda, kao i u Pravilnik o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa (1988).

Uprkos nezamenljivoj ulozi u proceni kvaliteta brašna, ovi testovi imaju sledeće nedostatke: geometrija uzorka je promenljiva i nije dobro definisana, napon i deformacija smicanja se ne mogu kontrolisati i nisu uniformni, vrednosti dobijene merenjem nisu u jedinicama SI sistema već u relativnim, što onemogućava definisanje parametara poput napona, deformacija, modula i viskoziteta. Značajan nedostatak je to što ovi testovi zahtevaju veliku količinu uzorka, što predstavlja limitirajući faktor selekcionerima pšenice kod kojih je količina uzorka često ograničena (Dobraszczyk i Morgenster, 2003).

Empirijski reološki testovi prate ponašanje testa tokom različitih faza obrade i proizvodnje hleba: mešenje, oblikovanje, fermentacija i pečenje. Promene u testu tokom mešenja i gnječanja mogu se pratiti pomoću farinografa i miksografa koji omogućavaju određivanje i optimalne količine vode koja se dodaje brašnu u zames. Uređaji poput ekstenzografa i analizatora teksture po Kieffer-u mere sposobnost rastezanja testa i

otpor koje testo pruža prilikom rastezanja. Ovim uređajima se simuliraju realni uslovi kojima je testo izloženo prilikom faze oblikovanja. Alveograf, simulirajući uslove fermentacije, meri jačinu i otpor testa prilikom rastezanja. Pomoću fermentografa meri se količina nastalog gasa ugljen-dioksida, dok se pomoću maturografa mere promene u zapremini testa. Reofermentometar predstavlja kombinaciju prethodna dva i meri visinu testa tokom fermentacije i sposobnost razvoja i zadržavanja ugljen-dioksida. Takođe, omogućava procenu fermentacionog kapaciteta brašna, aktivnosti kvasca i indirekto ukazuje na kvalitet kompleksa glutenskih proteina (Dapčević Hadnađev i sar., 2011).

Za ispitivanje želatinizacije skroba i indirekto određivanje enzimske alfa-amilolitičke aktivnosti primenjuju se amilograf i broj padanja po Hagber-u, koji prate promene u konzistenciji suspenzije brašno-voda prilikom zagrevanja. Takođe, za praćenje promena u viskozitetu skrobne suspenzije koristi se Rapid visco analyser (RVA) koji karakterišu sledeće prednosti: kraće vreme analize i manja količina uzorka u odnosu na amilograf.

Jedan od novijih empirijskih uređaja za ispitivanje reoloških karakteristika testa je miksolab koji poseduje određene prednosti u odnosu na tradicionalne empirijske metode. Naime, prilikom merenja testo se istovremeno izlaže mehaničkom i toplotnom delovanju pri čemu je omogućeno ispitivanje promena u proteinskoj mreži i skrobnoj komponenti, odnosno, njihov doprinos na reološke karakteristike testa. Kod miksolaba se imitiraju realni uslovi procesa proizvodnje hleba jer se merenja izvode u uslovima ograničene količine vode u testu (Hadnađev Dapčević i sar., 2011).

Nedavno je razvijen novi reološki uređaj glutopik kojim se ispituje sposobnost formiranja glutena i jačina glutena u suspenziji brašno-voda pri uslovima velike brzine mešenja (1900-3000 o/min) (Kaur Chandi i Seetharaman, 2012; Melnyk i sar., 2012). Prilikom merenja suspenzija se izlaže delovanju intenzivne mehaničke sile, čime se omogućava formiranje glutenske mreže koje se registruje porastom viskoziteta na datoj krivoj (Marti i sar., 2015a). Istraživanjem je utvrđeno da je glutopik test pogodan za procenu reoloških osobina i ponašanja testa od pšeničnog brašna tokom obrade (Fu i sar., 2017; Marti i sar., 2015b). Pored toga, ova metoda je pokazala veliki uspeh u ispitivanju kvaliteta durum krupice (Marti i sar., 2014; Sissons, 2016; Quayon i sar., 2016). Glutopik je do sada pokazao niz prednosti u odnosu na druge empirijske reološke testove koji se već dugi niz godina koriste za ispitivanje kvaliteta brašna i procenu kvaliteta gotovog proizvoda. Ova metoda ima veću ponovljivost u odnosu na

konvencionalne reološke testove i ne zahteva postupak izolovanja glutena. Za izvođenje ove metode nije potrebno stručno osoblje (Marti sar., 2014). Pored toga, vreme trajanja analize manje od 10 min, stoga se za vrlo kratko vreme mogu dobiti podaci o kvalitetu brašna i glutena. Još jedna prednost ove metode je primena male količine uzorka (< 10g), što je korisno pri ispitivanju sorti u ranim fazama razvića kada je količina uzorka ograničena (Sissons, 2016).

U tabeli 1 je dat pregled reoloških testova koji se najčešće koriste za procenu kvaliteta brašna.

Tabela 1. Reološki testovi korišćeni za ispitivanje kvaliteta brašna

Test	Vreme trajanja analize (min) ^a	Minimalna količina uzorka (g)	Uticaj analitičara
Gluten indeks	~ 12-15	10	Ne
Farinograf	~ 20-30 ^b	300-600	Ne
Ekstenzograf	~ 150	300-600	Ne
Alveograf	~ 40	250	Da
Miksolab	~ 50-60	50-100	Ne
Glutopik	~ 8-10	5-10	Ne

^aVreme trajanja analize obuhvata i pripremu uzorka i pranje aparata

^bVreme trajanja analize obuhvata postupak određivanja optimalne moći upijanja vode brašna

2.6.2. Procena reoloških karakteristika testa primenom fundamentalnih testova

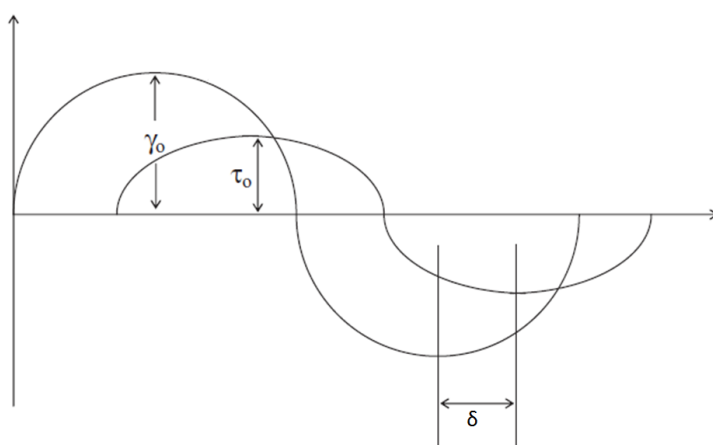
Fundamentalni reološki testovi poseduju određene prednosti u odnosu na empirijske metode. Omogućeno je merenje dobro definisanih fizičkih osobina uzorka nezavisno od njegove veličine i oblika. Pored toga, intenzitet sile se može menjati što omogućava merenje osobina materijala pri različitim nivoima opterećenja ili napona. Dobijene vrednosti viskoziteta i zadate vrednosti sile deformacije ili naprezanja izražene su u apsolutnim jedinicama čime je omogućeno poređenje rezultata sa rezultatima dobijenih merenjem na reometru drugih proizvođača (Weipert, 2006). Međutim, fundamentalna reološka merenja imaju i određene nedostatke, kao što su: skupa instrumentacija, dugotrajna merenja, zahtevaju obučeno osoblje, primenjene deformacije su male i ne odgovaraju realnim uslovima (Dobraszczyk i Morgenstern, 2003).

Najčešće primenjivani fundamentalni testovi u ispitivanju reoloških osobina testa su: dinamička oscilatorna merenja (eng. "*dynamic oscillatory test*"), krive puzanja i oporavka

(eng. "*creep and recovery*") i testovi relaksacije napona (eng. "*stress relaxation*") (Dobraszczyk i Morgenstern, 2003).

2.6.2.1. Dinamička oscilatorna merenja

Dinamički oscilatorni test se najčešće primenjuje za ispitivanje reoloških osobina viskoelastičnih materijala. Test se zasniva na primeni sinusoidnog oscilatornog napona ili deformacije tokom vremena. Ukoliko se izlaže sinusoidalnoj deformaciji ($\gamma = \gamma_0 \sin \omega t$), viskoelastični materijal odgovara sinusoidalnim naponom ($\tau = \tau_0 \sin \omega t$), a odgovor zavisi od osobina materijala (Abang Zaidel i sar., 2010). Da bi se objasnio oscilatorni test koristi se model dve ploče. Između dve ploče se postavi uzorak, pri čemu se gornja ploča kreće sinusoidalnim oscilacijama, dok je donja ploča nepokretna i na njoj se meri otpor izazvan oscilatornim deformacijama. Nastale deformacije se razlikuju kod elastičnih, viskoznih i viskoelastičnih tela. Idealno elastično telo pruža najveći otpor pri najvećim deformacijama, i tada je kriva napona u fazi sa krivom deformacije, odnosno $\delta=0$. Kod idealno viskoznih tečnosti, najveći napon smicanja je pri najmanjim brzinama smicanja, i tada su napon smicanja i deformacija pomereni u fazi za 90° . Kod viskoelastičnih tela postoji izvesno pomeranje u fazi ulaznog i izlaznog signala za neki ugao δ . Taj ugao se nalazi između 0° i 90° (Masi sar., 2000) (slika 4).



Slika 4. Prikaz ponašanja viskoelastičnog sistema pri oscilatornim merenjima

Parametri kojima se definiše viskoelastično ponašanje nekog sistema su elastični modul ili modul čuvanja (G') koji predstavlja elastično ponašanje uzorka i meru energije deformacije zadržane u uzorku tokom smicanja, i viskozni modul ili modul gubitaka (G'') koji odgovara viskoznoj komponenti uzorka i predstavlja meru energije potrošene tokom smicanja. Parametar koji takođe opisuje ponašanje viskoelastičnog sistema je tangens faznog ugla ($\tan\delta$), i pokazuje doprinos viskozne i elastične komponente viskoelastičnim osobinama materijala, odnosno pokazuje u kojoj meri se sistem ponaša kao tečnost/čvrsto telo:

$$\tan\delta = G'' / G' \quad (1)$$

Kod idealno elastičnih tela gde je $\delta=0^\circ$ modul G' kompletno dominira nad G'' , kod idealno viskoznih tela je $\delta=90^\circ$ i modul G'' kompletno dominira nad G' . Viskoelastična tela se ponašaju u datim intervalima u zavisnosti od dominantnih faktora (G''/G'), odnosno promena faznog ugla je $0^\circ < \delta < 90^\circ$ (Steffe, 1992; Masi i sar., 2000).

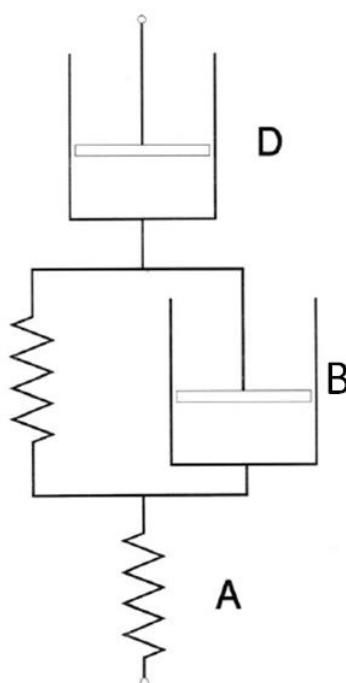
Prednost dinamičkog oscilatornog testa je nedestruktivnost što omogućava više uzastopnih merenja na istom uzorku variranjem temperature, napona ili frekvencije. Nedostaci dinamičkih merenja su to što su uslovi deformacije neadekvatni za praktične procesne situacije, zbog toga što se izvode bri brzinama i uslovima koji su veoma različiti od realnih uslova pri proizvodnji hleba. Na primer, brzina smicanja tokom fermentacije i tokom narastanja testa u peći su između $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ i $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, odnosno, nekoliko redova veličine veći nego u reološkim merenjima (Dobraszczyk i Morgenstern, 2003).

Generalno sva testa karakterišu veće vrednosti elastičnog modula od viskoznog modula (Amemiyar i sar., 1992). U istraživanju Amemiyar i sar. (1992), gluten se ponašao kao umreženi polimer pri testiranim vrednostima frekvencija. Sistemi koji imaju veći stepen umreženosti imaju niže vrednosti $\tan\delta$ (Aband i Zaidel., 2010). Utvrđeno je da testo ima veće vrednosti elastičnog i viskoznog modula u odnosu na čist gluten. Ovi rezultati su ukazali da skrob kao komponenta testa ima značajan doprinos na viskoelastične osobine testa (Uthayakumaran i sar., 2002). Testa sa većim sadržajem proteina imaju veće vrednosti G' i G'' i niže vrednosti $\tan\delta$ u poređenju sa testom manjeg sadržaja proteina (Khatar i sar., 1995; Toufeili i sar., 1999). Generalno, gluten pšenice dobrog kvaliteta ima veći stepen umreženosti i reološki se može karakterisati kao više elastičan i manje

viskoznan u poređenju sa glutenom pšenice lošeg kvaliteta (Khatar i sar., 1995; Janssen i sar., 1996). Povećanjem odnosa glijadina/glutenina elastičnost se značajno smanjuje usled smanjenja G' i povećanja $\tan\delta$ zbog glijadina koji ima ulogu plastifikatora (Khatar i sar., 1995).

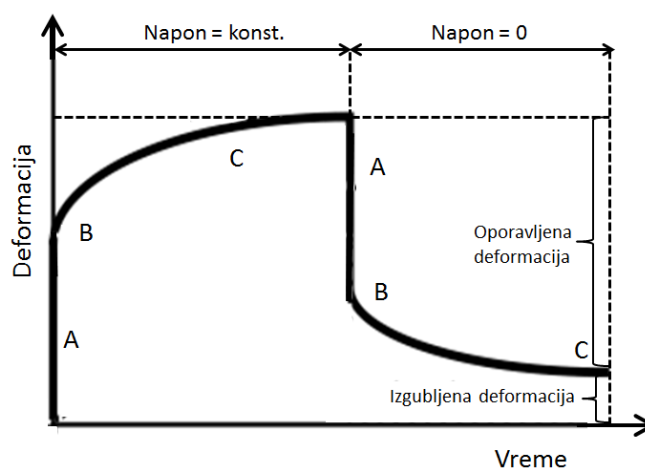
2.6.2.2. Test puzavosti

Pored primene oscilatornog napona viskoelastična svojstva testa se mogu definisati pomoću testa puzavosti. Test puzavosti (*“creep recovery”*) se izvodi tako što se uzorak izlaže konstantnom naponu smicanja u fazi puzanja i prati se promena deformacije tokom vremena, a potom se uzorak oslobađa delovanja napona ($\tau = 0$) u fazi oporavka, što dovodi do opadanja vrednosti deformacije usled oporavka sistema, pri čemu uzorak pokušava da zauzme prvobitan položaj. Puzavost viskoelastičnog materijala najčešće se opisuje pomoću *Burgers-ovog modela*, koji se sastoji od Maxwell-ove komponente, koju čine opruga i klip povezani u seriji i Kelvin-Voigt-ove komponente koja se sastoji od opruge i klipa povezanih paralelno (slika 5).



Slika 5. Šematski prikaz Burgers-ovog modela

U fazi puzanja na početku delovanja napona smicanja prvo se javljaju elastične deformacije sistema koje su predstavljene oprugom (element A), zatim nakon nekog vremena deformacije koje se dešavaju u sistemu su viskoelastične prirode i definisane su Kelvin–Foigt–ovim modelom (element B). Na kraju faze puzanja preostale deformacije su viskozne prirode sve do postizanja maksimuma deformacije tog sistema (element C). U fazi oporavka sistem se oslobađa napona pri čemu se smanjuje iznos deformacije nastale u fazi puzanja. U početku faze oporavka, deformacija koja je oporavljena nakon faze puzanja prvo odgovara elastičnoj, potom viskoelastičnoj komponenti, dok zaostala deformacija odgovara viskoznoj komponenti, tj. sistem se neće vratiti u prvobitan položaj već će ostati deformisan za određeni iznos viskozne komponente (Mezger, 2002; Schram, 1998; Steffe, 1992) (slika 6).



Slika 6. Šematski prikaz krive puzanja i oporavka

Merenjem deformacije u zavisnosti od vremena, pri konstantnom naponu, kod viskoelastičnih sistema dobijaju se krive popustljivosti J (1/Pa) viskoelastičnih sistema (2). Popustljivost se definiše kao deformacija γ u jedinici vremena t po jedinici konstantnog napona, τ (Schramm, 1994):

$$J(t) = \gamma(t)/\tau \quad (2)$$

Testovi puzanja i oporavka su veoma korisni u proučavanju osobina materijala u uslovima malih sila smicanja, dugačkih vremena testiranja ili drugih realnih uslova u

kojima se sistem ispituje. Pošto testovi puzanja i oporavka mogu biti ponovljeni nekoliko puta uzastopno, uz variranje temperature nezavisno od napona, moguće je prilično precizno imitirati realne uslove. Janssen i sar. (1996) su primenom testa puzavosti na brašna različite jačine otkrili da slabija brašna imaju brži oporavak elastične komponente nakon prestanka dejstva napona u odnosu na jaka brašna.

2.7. Uticaj faktora životne sredine i sortimenta na kvalitet pšeničnog brašna

Prinos i kvalitet pšenice u velikoj meri variraju u zavisnosti od faktora spoljašnje sredine tokom svih faza uzgoja pšenice. Postizanje zadovoljavajućeg prinosa predstavlja osnovni problem proizvođačima pšenice, dok je za mlinare i pekare promenljivost u tehnološkom kvalitetu brašna jedan od najvećih problema. Uprkos godinama istraživanja i dalje postoje nedostaci u razumevanju faktora koji kontrolišu prinos i kvalitet pšenice (Dupont i Altenbach, 2003). Faktori spoljašnje sredine obuhvataju klimatske, agroekološke uslove, sastav zemljišta, primenjene agrotehničke mere, i uticaj ovih faktora na prinos i kvalitet pšenice je veoma kompleksan (Balla i sar., 2011, Triboï i Triboï-Blondel, 2002).

Nakon faze cvetanja razvoj zrna je direktno pod uticajem klimatskih faktora, nivoa navodnjavanja i đubrenja. Vremenski uslovi tokom uzgoja pšenice, pogotovo temperatura i padavine, imaju značajan uticaj na metaboličke procese biljke (Balla, 2011). Nepovoljni klimatski uslovi se mogu dogoditi na njivi u bilo kojoj fazi razvića pšenice, i mogu varirati u zavisnosti od intenziteta i trajanja, pri čemu mogu izazvati različite procese tokom razvoja biljke. Pšenica je razvila brojne mehanizme odbrane prema intenzivnim faktorima životne sredine sa ciljem da proizvede kvalitetno zrno. Ovi mehanizmi uključuju promene na molekularnom, ćelijskom i fiziološkom nivou koji zavise od genotipa i pod uticajem su nivoa ishranjenosti biljke. Ove promene se manifestuju u zrnu i utiču na proces akumulacije osnovnih komponenti zrna, skroba i proteina (Altenbach, 2012). Faktori spoljašnje sredine kao što su visoke temperature (veće od optimalne) i suša najviše utiču na razvoj i kvalitet zrna (Finlay i sar., 2007). Visoke temperature i suša ograničavaju proizvodnju pšenice u nekim delovima sveta i skorašnje studije ukazuju da bi povećanje prosečnih temperatura tokom perioda uzgoja pšenice moglo dovesti do značajnog smanjenja proizvodnje i potencijalno ugroziti

globalnu bezbednost hrane (Asseng i sar., 2011). S obzirom da visoke temperature koje su često praćene nedovoljnim snabdevanjem vode predstavljaju opasnost po proizvodnju pšenice, primarni cilj proizvođača treba da bude razvijanje sorti tolerantnih na oba stresa (Tester i Bacic, 2005).

Temperatura tokom faze nalivanja utiče na trajanje i brzinu nalivanja zrna i tako dovodi do promena u prinosu zrna. Optimalna temperatura potrebna da se postigne maksimalan prinos je između 15 i 20 °C. Temperature u ovom opsegu obezbeđuju najduže nalivanje zrna i najveću akumulaciju skroba po zrnu. Sa povećanjem dnevne temperature skraćuje se dužina faze nalivanja, a može i da ima uticaj na brzinu nalivanja u zavisnosti od sorte pšenice. Kod nekih sorti brzina nalivanja se povećava sa povećanjem temperature do 30 °C usled povećane enzimske aktivnosti i metaboličkih procesa (Dupont i Altenbach, 2003). Stres tokom faze nalivanja zrna može izazvati smanjeno nalivanje zrna, ubrzanje smrti ćelije i takvo zrno brže dostiže žetvenu zrelost, što može izazvati značajne promene u sastavu proteina i raspodeli veličina čestica skroba (Balla i sar., 2011). Veoma visoke temperature (> 30 °C) smanjuju aktivnost enzima koji učestvuju u sintezi skrobne komponente i tako redukuju akumulaciju skroba, pa i prinos zrna (Barnabás i sar., 2008). Povećanje udela velikih granula i smanjenje udela malih skrobnih granula je zabeleženo u brojnim istraživanjima kao posledica visokih temperatura (Blumenthal i sar., 1995; Hurkman i sar. 2003; Panozzo i Eagles, 1998;). Toplotni stres može takođe uticati na proces akumulacije proteina, pri čemu se sadržaj proteina značajno povećava kao posledica visokih temperatura (Labuschagne i sar., 2009; Daniel i Triboi, 2000; Hrušková i Švec, 2009). S obzirom da klimatski faktori utiču na osnovne komponente zrna pšenice, nastale promene u sastavu zrna imaju uticaj na reološke karakteristike testa. Smatra se da umereno visoke temperature 25±32 °C imaju pozitivan uticaj na osobine testa (Triboi i sar., 2003). Međutim, kod pojedinih sorti pšenice, parametri kvaliteta brašna, testa i hleba su bili izmenjeni kao odgovor na toplotni stres (>35 °C) (Blumenthal i sar., 1993), i neki od ovih uticaja su bili povezani sa povećanim odnosom glijadina i glutenina (Blumenthal i sar., 1991) i smanjenim udelom glutenina velikih molekulskih masa (Wardlaw i sar., 2002). Generalno se smatra da toplotni stres dovodi do slabljenja strukture testa (Blumenthal i sar., 1995). U istraživanju Dupont i sar. (2006), usled izlaganja pšenice temperaturnom režimu 37/28 °C došlo je do povećanja relativnog udela proteinskog matriksa, što je bilo

u saglasnosti sa povećanjem sadržaja proteina u brašnu od pšenice proizvedene pod istim režimom. Testo od brašna pšenice proizvedene pri uslovima 37/28 °C je bilo smanjene tolerancije na mešenje dok je hleb od brašna te pšenice bilo veće zapremine (DuPont i sar., 2006). Li i sar. (2013) su ispitali uticaj toplotnog stresa i suše na kvalitet testa i hleba i ustanovili su da je toplotni stres doveo do smanjenja žilavosti testa, povećane rastegljivosti, blagog smanjenja jačine testa i povećane zapremine hleba dok je suša imala suprotan efekat. Prema istraživanju Moldestad i sar. (2011), temperatura tokom faze nalivanja zrna je najviše uticala na kvalitet glutena, i manji otpor na rastezanje testa od glutena je zabeležen kada su prosečne dnevne temperature bile ispod 17-18 °C. Prema Uhlen i sar. (2015), smanjenje otpora testa na rastezanje bila je posledica faktora spoljašnje sredine koji se odnose na niske temperature na lokalitetima gajenja. Određeni parametri kvaliteta pšenice variraju u zavisnosti od genetske pozadine biljke. Pšenica zadovoljavajućih genetskih karakteristika je esencijalna za proizvodnju brašna visokog kvaliteta.

Proučavanje uticaja genotipa, lokaliteta i njihovih interakcija na kvalitet pšenice je od sve većeg značaja kako za selekcionere i proizvođače pšenice, tako i za pekarsku industriju. Iako je uticaj sortnih karakteristika i faktora spoljašnje sredine proučavan od strane mnogih autora, i dalje ne postoji opšteprihvaćen stav o tome koji faktor najviše utiče na kvalitativne karakteristike pšenice. Prema nekim istraživanjima, uticaj genetskih faktora na kvalitet pšenice je dominantniji od uticaja faktora spoljašnje sredine (Denčić i sar., 2011a). Souza i sar. (2004) su u svom istraživanju zaključili da je genetska selekcija ključna, dok je uticaj spoljašnjih faktora na kvalitet pšenice od sekundarnog značaja. Rezultati drugih istraživanja su pokazali sa su spoljašnji faktori nadvladali uticaj genetskih faktora (Finlay i sar., 2007; Johansson i sar., 2003). Generalno se smatra sa da je sadržaj proteina pod uticajem uslova gajenja, dok su pokazatelji kvaliteta proteina određeni sortnim osobinama (Carson i Edwards, 2009; Wrigley, 2007, Graybosch i sar., 1996; Ma i sar., 2005). Međutim, klimatski faktori tokom sazrevanja pšenice mogu uticati i na sadržaj i na kvalitet proteina brašna (Peterson i sar., 1998; Johansson i Svensson, 1998). Finlay (2007) je na osnovu sprovedenog istraživanja zaključio da su varijacije u kvalitetu pšenice usled uticaja faktora spoljašnje sredine generalno bile veće nego usled genetskih faktora, pri čemu nije bilo ili je bilo malih interakcija između posmatranih faktora. U istraživanju sprovedenom od strane Peterson

i sar. (1998) primećeno je da su varijacije u parametrima miksolaba bile prvenstveno posledica uticaja lokaliteta nego genotipa. U radu Panozzo i Eagles (2000), udeo glutenina zavisio je od genetskih osobina dok je udeo glijadina bio pod uticajem lokaliteta gajenja. Specifičan sastav proteina je određen genetskim osobinama, dok koncentracija proteina, sadržaj proteinskih komponenti i sadržaj i raspodela veličina polimernih proteina zavisi i od genotipa i lokaliteta (Johansson, 2002). Kvalitativni pokazatelji testa kao što su maksimalni otpor testa prema rastezanju (Ma i sar., 2005) i parametri miksografa (Yong i sar., 2004) zavisili su isključivo od genetskih faktora. U istraživanju sprovedenom od strane Li i sar. (2013) većina kvalitativnih parametara brašna je prvenstveno bilo određeno genotipom, dok su uticaj lokaliteta i interakcije između sorte i lokaliteta imale značajan uticaj na sadržaj proteina brašna, žilavost testa, parametra P/L i zapreminu hleba. Stoga, uticaj lokaliteta i interakcije između sorte i lokaliteta se ne smeju zanemariti prilikom oplemenjivanja i uzgoja pšenice, i preporučuje se skrining pri povoljnim uslovima i uslovima abiotskog stresa da bi se izabrala sorta koja ispoljava stabilan kvalitet na različitim lokalitetima (Li i sar., 2013). Suštinsko razumevanje varijacija u kvalitetu sorti, izazvanih različitim lokalitetima gajenja, bi unapredilo mogućnost predviđanja i identifikacije sorti superiornog pecivnog kvaliteta. Procenjuje se da će proizvodnja sorti dobrog kvaliteta zahtevati uzgoj na lokalitetima koji favorizuju ekspresiju tog genetskog potencijala da bi se proizvela pšenica visokog kvaliteta (Yong i sar., 2014).

Poglavlje 3

Cilj rada

Uprkos brojnim tradicionalnim reološkim metodama koje se već dugi niz godina koriste u proceni kvaliteta brašna, postoji potreba za razvijanjem novih metoda, pomoću kojih bi se za kratko vreme i uz ograničenu količinu uzorka mogao uspešno predvideti kvalitet brašna i gotovog proizvoda - hleba. Na taj način selekcionerima bi bila omogućena procena tehnološkog kvaliteta linija pšenice čija je količina ograničena, dok bi se mlinarima obezbedio brz metod procene kvaliteta.

Prvi deo ove disertacije je imao za cilj ispitivanje mogućnosti primene novog reološkog uređaja glutopika u proceni kvaliteta brašna. Istraživanju je prethodilo definisanje optimalnog protokola merenja koji bi omogućio najbolju diskriminaciju kvaliteta pšeničnog brašna. Nakon utvrđivanja protokla i uslova merenja koji najbolje opisuju kvalitetu domaćeg sortimenta, ispitani su korelativni odnosi između parametara dobijenih merenjem na glutopiku i standardnih reoloških pokazatelja kvaliteta. Primenom regresionih modela ispitana je mogućnost predviđanja parametara empirijskih i fundamentalnih reoloških testova, kao i pokazatelja kvaliteta hleba. Na osnovu vrednosti parametara dobijenih merenjem na glutopiku definisane su granične vrednosti kao pokazatelji kvaliteta brašna. Pored toga, ispitana je mogućnost zamene alveografa, kao uređaja koji se koristi za procenu reološkog kvaliteta žita u kupoprodajnim ugovorima, glutopikom, kao i mogućnost klasifikacije sorti pšenice prema kvalitetu.

U drugom delu disertacije je ispitan tehnološki kvalitet brašna pšenice različitih sortnih karakteristika, proizvedenih tokom različitih godina, da bi se utvrdilo koja od ispitivanih sorti ispoljava ujednačen kvalitet na ispitivanim lokalitetima. U tu svrhu su primenjene standardne empirijske reološke metode, fundamentalni testovi i glutopik test, kao jedan od novijih reoloških metoda. Izvedena su probna pečenja hleba, pri čemu je kvalitet hleba analiziran određivanjem specifične zapremine i teksturnih karakteristika sredine hleba. Analiza mikrostrukture sredine hleba omogućivala je uvid u doprinos osnovnih gradivnih komponenti brašna kvalitetu gotovog proizvoda. Korišćeni su regresioni modeli za procenu kvaliteta hleba primenom reoloških indikatora kvaliteta.

U trećem delu disertacije je analiziran uticaj sortimenta, lokaliteta gajenja, proizvodne godine, i njihovih interakcija na odabrane pokazatelje kvaliteta brašna i hleba.

Poglavlje 4

Materijal i metode

4.1 Materijal

4.1.1. Uzorci pšeničnog brašna

U ovom istraživanju korišćeni su uzorci ozime pšenice (*Triticum aestivum L.*) različitog tehnološkog kvaliteta iz proizvodne 2011. godine koji su preuzeti iz mreže makroogleđa Poljoprivredne Savetodavne Službe (PSS) AP Vojvodine, sa sedam lokaliteta (Bačka Topola, Sremska Mitrovica, Vršac, Sombor, Subotica, Novi Sad i Kikinda). Korišćene su sorte Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad: Pobeda, Zvezdana, Gordana, Gora i Etida i francuska sorta Apač koja je proizvedena od strane Limagrain, Novi Sad. Pobeda, koja se smatra standardom kvaliteta pšenice u Srbiji, pripada grupi odličnih hlebnih sorti ili čak grupi poboljšivača. Zvezdana i Gordana pripadaju grupi izuzetno kvalitetnih sorti. Sorta Etida je sorta dobrog kvaliteta dok Gora ima izuzetno visok potencijal za prinos, ali je lošijeg kvaliteta u odnosu na standardne sorte u Srbiji (Denčić i sar., 2011b). Apač je visokoprinosna pšenična sorta dobrog kvaliteta.

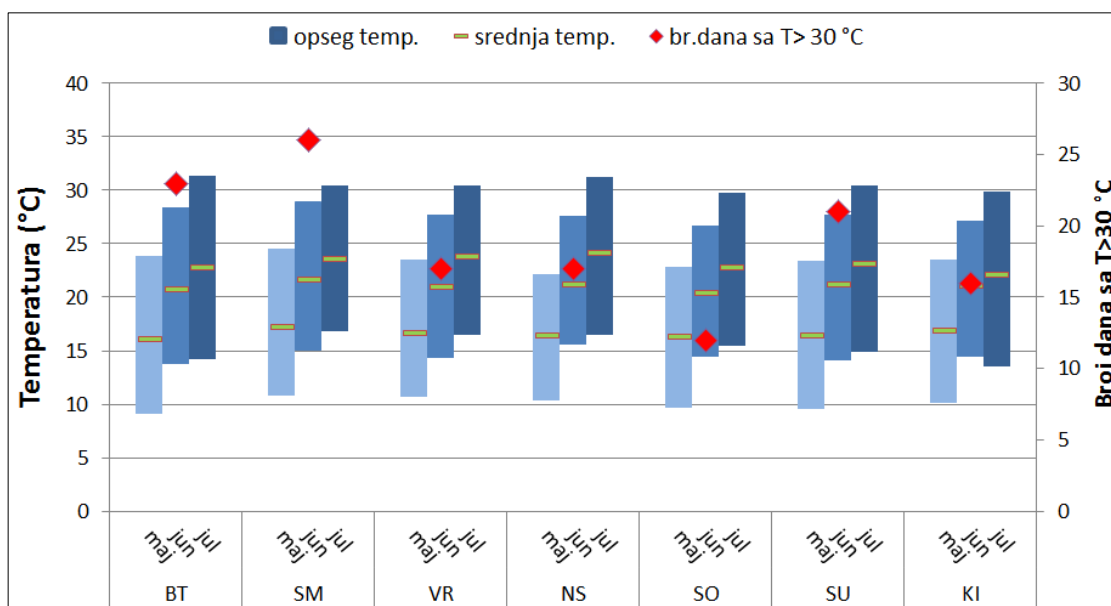
U delu istraživanja koji se odnosi na ispitivanje tehnološkog kvaliteta brašna korišćene su sorte Apač, Pobeda, Zvezdana i Gordana gajene na sedam lokaliteta (Bačka Topola, Sremska Mitrovica, Vršac, Novi Sad, Sombor, Subotica i Kikinda) u dve proizvodne godine (2011. i 2012. godina).

U trećem delu rada izvedena je uporedna analiza kvaliteta brašna sledećih sorti: Apač, Pobeda i Zvezdana, sa odabranih lokaliteta: Bačka Topola, Sremska Mitrovica, Vršac i Sombor u tri proizvodne godine (2011., 2012., i 2013. godina).

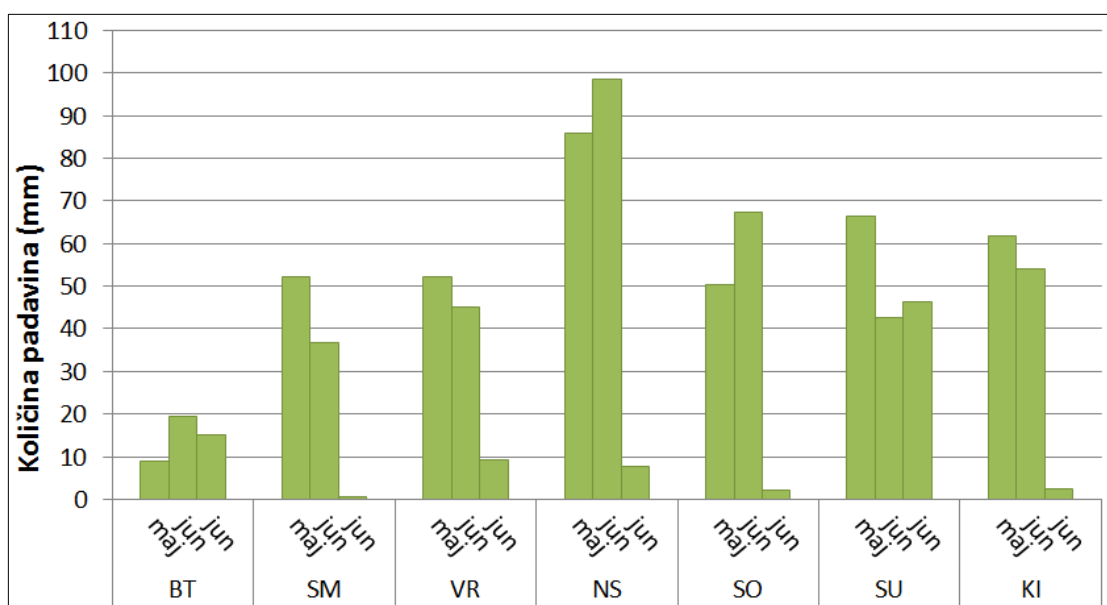
Nakon žetve, uzorci pšenice su čuvani u papirnim vrećama u laboratorijskim uslovima ($T = 22\text{ °C}$, $RH = 70\%$) u periodu od 50 dana da bi se postiglo posležetveno dozrevanje zrna pšenice. Nakon tog perioda, pšenica je samlevena u brašno koje je čuvano pri istim uslovima 14 dana da bi se postigla tehnološka zrelost brašna. Uzorci su potom čuvani u zamrzivaču ($T = -20\text{ °C}$) kako bi se sprečili dalji biohemijski procesi u brašnu do početka eksperimentalnog istraživanja.

4.1.2. Hidrometeorološki uslovi u 2011., 2012., i 2013. godini

Hidrometeorološki uslovi na ispitivanim lokalitetima u 2011. godini za period od maja do prve polovine jula koji odgovara periodu od faze cvetanja do žetve prikazani su na slikama 7 i 8. Opseg temperatura (minimalne i maksimalne) i srednje temperature su prikazane kao prosečne vrednosti temperatura za posmatrani mesec. Prosečne minimalne i maksimalne temperature u 2011. godini nisu se znatno razlikovale među ispitivanim lokalitetima (slika 7). Prosečne temperature za posmatrani period bile su iznad ili bliske višegodišnjim prosečnim temperaturama (slika 13). Maksimalna temperatura se u mesecu maju kretala od 28,3 do 31,7 °C, dok su u junu dnevne temperature prelazile 33,0 °C, na pojedinim lokalitetima su dostizale temperaturu i do 37,1 °C (Novi Sad). U prvoj polovini jula neposredno pred žetvu temperature su bile visoke i kretale su se od 36,4 do 38,2 °C. Ukupan broj dana sa dnevnom temperaturom iznad 30 °C značajno se razlikovao između lokaliteta i za posmatrani period kretao se od 12 na lokalitetu Sombor do 26 u Sremskoj Mitrovici. Ukupna količina padavina tokom perioda od faze cvetanja do žetve kretala se od 43,2 mm u Bačkoj Topoli do 192,0 mm u Novom Sadu (slika 8). U Somboru je u julu zabeležena najveća količina padavina, dok je na ostalim lokalitetima količina padavina neposredno pred žetvu bila znatno manja. Prosečna količina padavina za posmatrani period u 2011. godini je manja od višegodišnjeg proseka (slika 14), što ukazuje da posmatrani period u 2011. godini karakteriše deficit padavina.



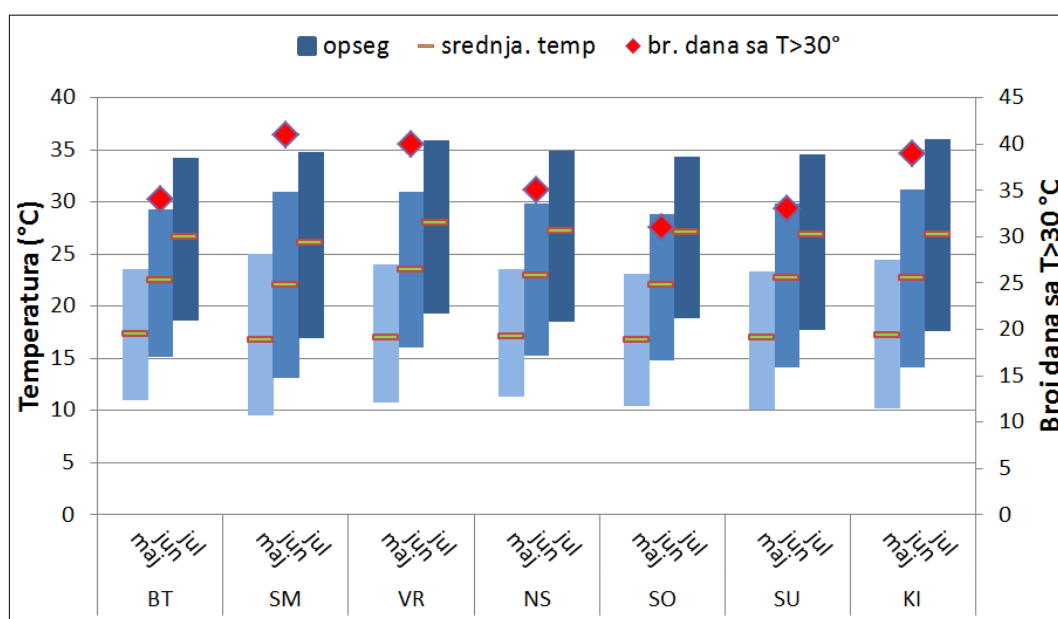
Slika 7. Prosečne minimalne, maksimalne i srednje temperature i broj tropskih dana za posmatrani period u 2011. godini



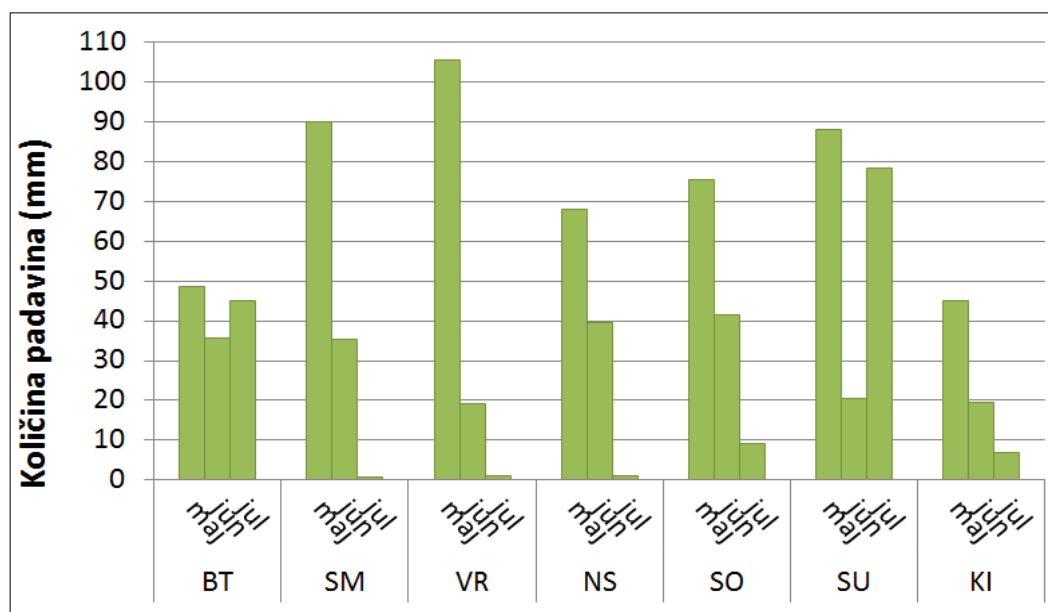
Slika 8. Količina padavina na ispitivanim lokalitetima tokom posmatranog perioda u 2011. godini

Na slici 9 i 10 prikazani su hidrometeorološki uslovi na ispitivanim lokalitetima za period od maja do prve polovine jula u 2012. godini. Opseg temperatura (minimalne i maksimalne) i srednje temperature su prikazane kao prosečne vrednosti temperatura za posmatrani mesec. Prosečne minimalne i maksimalne temperature se nisu značajno razlikovale među ispitivanim lokalitetima (slika 9). Međutim, prosečne temperature su

za posmatrani period u 2012. godini bile više u odnosu na 2011. godinu. U Vršcu su zabeležene najveće prosečne minimalne, maksimalne i srednje temperature. U maju su se maksimalne dnevne temperature kretale od 31,2 °C pa čak do 39,7 °C na lokalitetu Novi Sad, dok su u junu zabeležene maksimalne temperature preko 35 °C do 39,3 °C. Maksimalne temperature u julu su se kretale u opsegu od 37,4 do 39,7 °C. Ukupan broj dana sa temperaturom preko 30 °C je bio znatno veći nego u 2011. godini, i on se kretao od 31 do 41 na posmatranim lokalitetima. Najveći broj tropskih dana zabeležen je na lokalitetu Sremska Mitrovica. Prosečne temperature u 2012. godini su bile znatno više u poređenju sa prosečnim višegodišnjim temperaturama (slika 13). Na slici 10 je prikazana ukupna količina padavina za posmatrani period u 2012. godini na ispitivanim lokalitetima. Ukupna količina padavina za posmatrani period se kretala od 71,8 mm u Kikindi do 186,8 mm na lokalitetu Subotica. U Subotici je u mesecu julu bila najveća količina padavina u odnosu na ostale lokalitete.



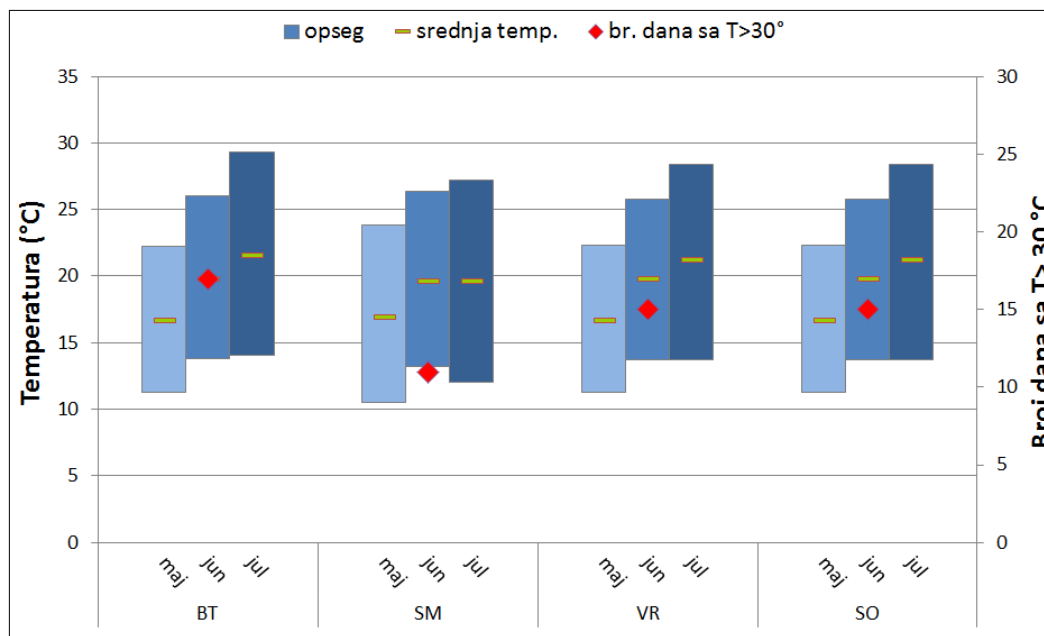
Slika 9. Prosečne minimalne, maksimalne i srednje temperature i broj tropskih dana za posmatrani period u 2012. godini



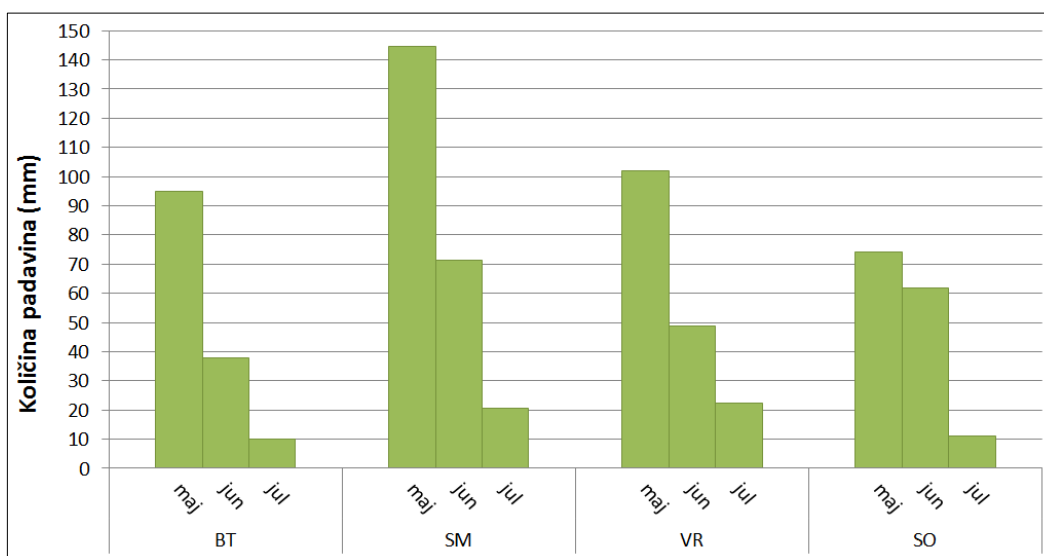
Slika 10. Količina padavina na ispitivanim lokalitetima tokom posmatranog perioda u 2012.godini

Hidrometeorološki uslovi na ispitivanim lokalitetima za period od maja do prve polovine jula u 2013. godini prikazani su na slici 11 i 12. Opseg temperatura (minimalne i maksimalne) i srednje temperature su prikazane kao prosečne vrednosti temperatura za posmatrani mesec. Proizvodnu 2013. godinu karakterišu niže srednje, minimalne i maksimalne temperature u odnosu na 2011. godinu. Uočene su razlike u srednjim temperaturama među ispitivanim lokalitetima (slika 11). Naime, lokalitet Sremska Mitrovica karakterišu najniže srednje temperature u maju, junu i julu mesecu. Prosečne minimalne temperature u maju su se kretale u opsegu od 10,5 °C do 12,4 °C. U junu i julu se opseg ovih temperatura nije značajno razlikovao. Prosečne maksimalne temperature su se u maju kretale od 22,2 °C do 25,6 °C, u junu od 25,8 °C do 27,3 °C. Opseg maksimalnih temperatura u julu mesecu je bio od 27,2 °C do 29,5 °C. Srednje dnevne temperature su se takođe razlikovale na ispitivanim lokalitetima. Lokalitet Sremska Mitrovica se izdvojio po najmanjim srednjim temperaturama u junu i julu. Broj tropskih dana je dostigao minimum u Sremskoj Mitrovici (11) dok je na lokalitetu Vršac bio najveći broj dana sa temperaturom preko 30 °C (24). Na slici 12 je prikazana suma padavina za period od maja do prve polovine jula u 2013. godini. Ukupna količina padavina za posmatrani period se kretala u opsegu 143,0 mm u Bačka Topoli do 236,4 mm u Sremskoj Mitrovici. Najveća količina padavina u maju (144 mm) i junu mesecu (71,2 mm) je zabeležena na lokalitetu Sremska Mitrovica. Najmanja količina padavina u

junu i julu je bila na lokalitetu Bačka Topola. Količina padavina za posmatrani period tokom 2013. godine je odgovarala prosečnoj sumi padavinama tokom višegodišnjeg perioda (slika 13).



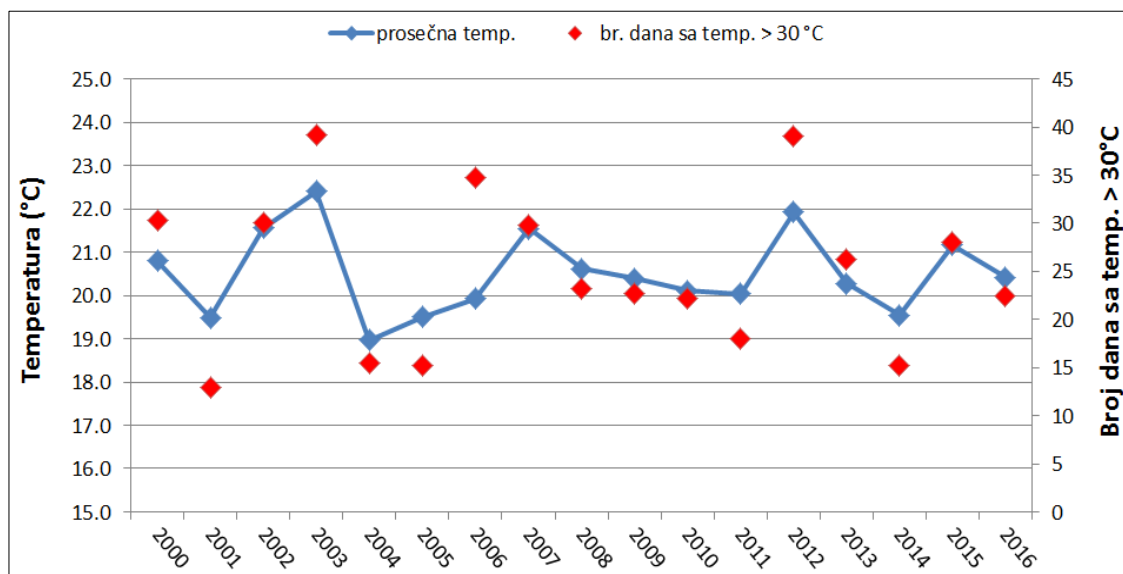
Slika 11. Prosečne minimalne, maksimalne i srednje temperature i broj tropskih dana za posmatrani period u 2013. godini.



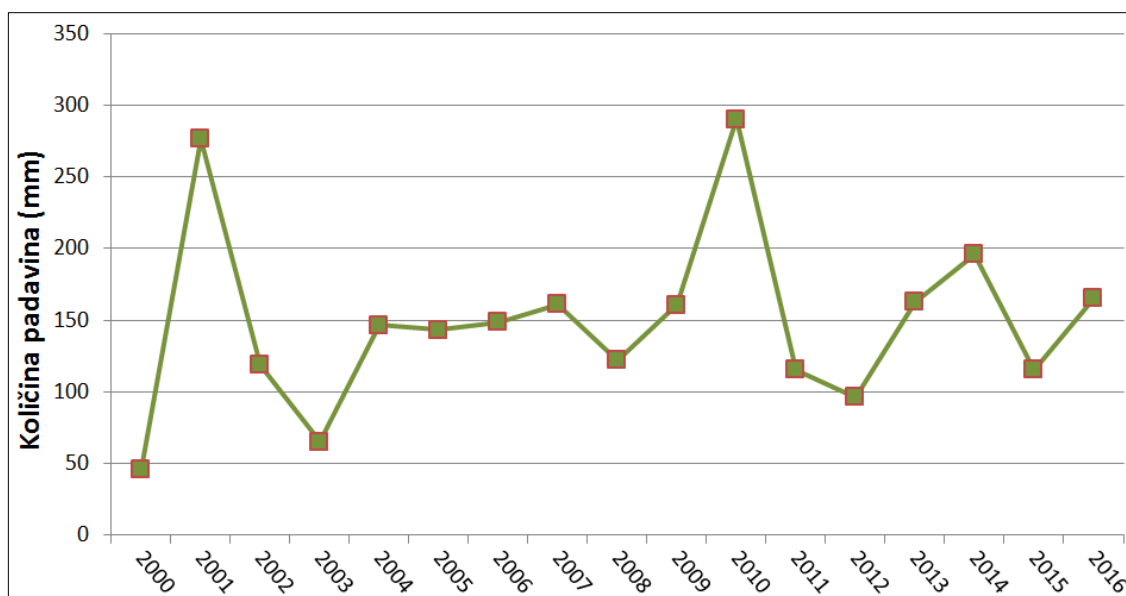
Slika 12. Količina padavina na ispitivanim lokalitetima tokom posmatranog perioda u 2013. godini

U odnosu na sedamnaestogodišnji period (2000-2016) proizvodne godine 2011 i 2013 karakteriše srednja vrednost prosečnih temperatura, dok je 2012 godina imala prosečnu

vrednost temperature koja je bila značajno viša od proseka, kao i najveći broj dana sa temperaturom iznad 30 °C (slika 13). Slično stanje zabeleženo je 2003. godine kao i u nešto manjem iznosu 2007. godine. Nasuprot tome, 2011. godinu karakteriše nešto niži broj dana sa temperaturom iznad 30 °C u odnosu na prosek. Dok je u 2013. godini zabeležena prosečna količina padavina, 2011. i 2012. godinu je karakterisala nešto niža količina padavina od prosečne, posmatrano za sedamnaestogodišnji period (slika 14).



Slika 13. Višegodišnji prosek temperatura i broja tropskih dana za period od cvetanja pšenice do žetve



Slika 14. Višegodišnji prosek padavina za period od cvetanja do žetve pšenice

4.2. Metode

4.2.1. Sadržaj vlage i proteina u brašna

Sadržaj vlage i proteina u uzorcima brašna određen je primenom bliske infracrvene spektroskopije, NIR, pomoću skenirajućeg monohromatora Infratec 1241 Grain Analyzer (Foss Analytical AB, Hillerod, Denmark).

4.2.2. Sadržaj vlažnog glutena i gluten indeksa

Određivanje sadržaja vlažnog glutena i gluten indeksa je izvedeno prema metodi ICC 155 (ICC standards, 1994), koja se zasniva na ispiranju komada testa 2% slanim rastvorom kako bi se uklonili rastvorljivi sastojci i skrob, pri čemu zaostaje gumasta masa glutena, i potom centrifugiranju mase glutena pri odgovarajućoj brzini obrtaja. Nakon centrifugiranja izmeri se masa glutena zaostala na situ (A) i deo glutena koji je prošao kroz sito (B). Sadržaj vlažnog glutena se izračunavao prema sledećoj formuli:

$$VG (\%) = (A + B) \times 100 \quad (3),$$

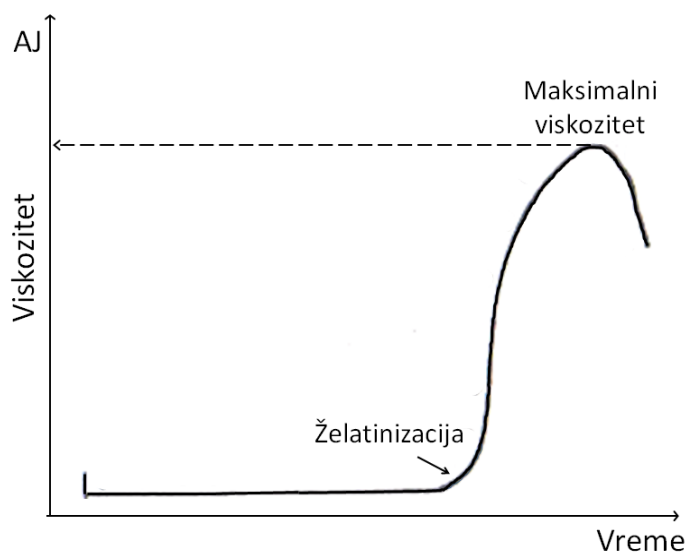
dok se gluten indeks računao:

$$GI = \frac{A}{A+B} \times 100 \quad (4)$$

4.2.3. Ispitivanje reoloških karakteristika testa empirijskim metodama

4.2.3.1. Ispitivanje sposobnosti želatinizacije brašna amilografom

Ispitivanje sposobnosti želatinizacije brašna izvedeno je standardnom metodom ICC 126/1 (ICC standards, 1992) pomoću amilografa (Brabender, Nemačka). Merenje se zasniva na praćenju promene viskoziteta suspenzije brašno-voda pri konstantnoj brzini zagrevanja od 1,5 °C/min do zadate temperature od 95 °C. Porast viskoziteta se registruje sve dok viskozitet ne počne da opada nakon postizanja maksimuma. Na slici 15 je dat prikaz krive promene viskoziteta suspenzije sa vremenom, sa koje se može očitati maksimalni viskozitet kao visina krive u maksimumu.



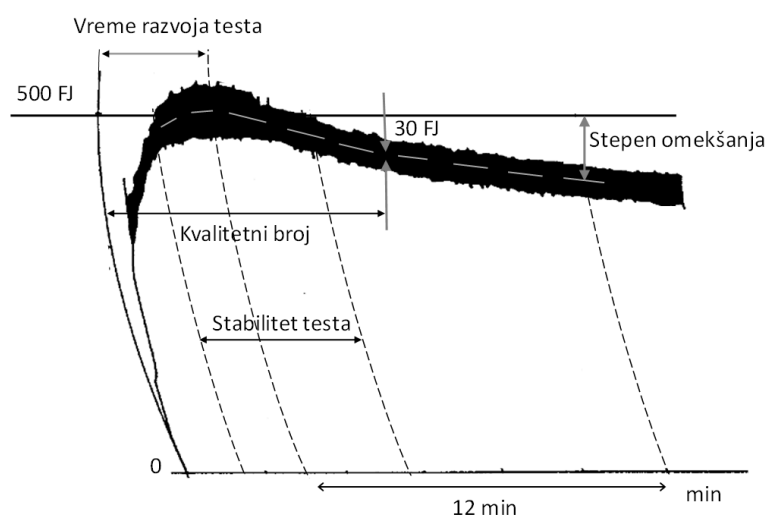
Slika 15. Prikaz amilografske krive

4.2.3.2. Ispitivanje kvaliteta brašna farinografom

Kvalitet brašna ispitan je standardnom metodom ICC 115/1 (ICC standards, 1992) pomoću farinografa (Brabender, Nemačka). Ispitivanje kvaliteta brašna farinografom zasniva se na registrovanju promena fizičkih osobina testa u toku određenog vremena mešenja, pri čemu se meri fizički otpor koji testo pruža tokom mešenja i gnječenja. Prilikom ispitivanja koje se izvodi na temperaturi od 30°C, definisana masa brašna (300 g) se doda u mesilicu farinografa, zatim se doda određena količina vode da bi se postigla konzistencija testa od 500±10 FJ. Ukoliko je konzistencija testa veća od 520 ili manja od 480 FJ, potrebno je ponoviti zames sa korigovanom količinom vode. Kada se postigne ciljana konzistencija, nastavlja se registrovanje promena u konzistenciji testa u trajanju od 12 minuta. Sa dobijene farinografske krive (slika 16) očitani su sledeći parametri kvaliteta brašna:

- moć upijanja vode, MUV (%), koja predstavlja količinu vode, izraženu u procentima, neophodnu za postizanje konzistencije od 500 FJ
- vreme razvoja testa, DDT (min), predstavlja vreme koje protekne od početka mešenja do postizanja maksimuma krive
- stabilitet testa, Stab (min), predstavlja vreme koje protekne od momenta kada vrh krive prvi put preseče krivu konzistencije od 500 FJ do momenta kada vrh krive padne ispod krive od 500 FJ

- stepen omekšanja, SO (FJ), računa se kao razlika između sredine krive na kraju vremena razvoja i sredine krive 12 minuta nakon postizanja razvoja testa
- kvalitetni broj, KB, predstavlja dužinu krive od momenta dodatka vode u zames do trenutka kada se visina sredine krive smanji za 30 FJ u odnosu na visinu sredine krive u vremenu razvoja.



Slika 16. Prikaz parametara farinografske krive

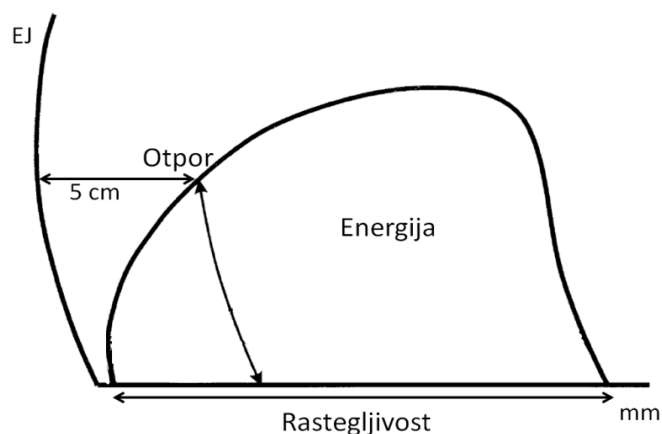
4.2.3.3. Ispitivanje kvaliteta brašna ekstenzografom

Rastegljivost i otpor koji testo pruža pri rastezanju ispitivano je pomoću estenzografa (Brabender, Nemačka) prema standardnoj metodi ICC 114/1 (ICC standards, 1992). Prilikom merenja deluje se silom konstantne veličine pri istoj brzini i smeru dejstva, pri čemu se testo deformiše preko granice rastegljivosti i kida se. Otpor koji testo pruža dejstvu sile registruje se u vidu ekstenozgrafske krive.

Zames testa izvodi se u farinografskoj mesilici mešenjem 300 g brašna, 2% kuhinjske soli (računato na masu brašna) i vode do postizanja konzistencije od 500 FJ. Nakon zamesa testo se homogenizuje, oblikuje u cilindar i ostavi se da odležava u komori ekstenzografa na 30 °C tokom određenog perioda (45, 90 i 135 min). Nakon odležavanja od 45 min, testo se isteže i kida, a otpor koji testo pruža se registruje na dijagramu. Ovaj

postupak se ponavlja nakon 90 i 135 min odležavanja. Karakteristični pokazatelji ekstenzografske krive su (slika 17):

- energija, E (cm^2), koja predstavlja površinu ispod krive i proporcionalna je energiji neophodnoj da se rastegne komad testa do trenutka kidanja
- otpor testa, O_{50} (E_j), predstavlja visinu krive po zakrivljenoj ordinati 5 cm od početka registrovanja otpora testa
- rastegljivost, R (mm), je dužina dijagrama od početka rastezanja do momenta kada se testo otkine
- odnos otpora prema rastegljivosti, O_5/R , predstavlja količnik brojčanih vrednosti ovih parametara.



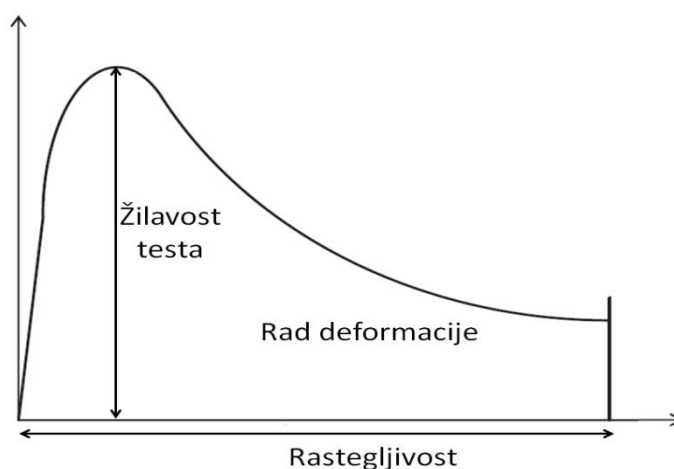
Slika 17. Prikaz parametara ekstenzografske krive

4.2.3.4. Ispitivanje kvaliteta brašna alveografom

Kvalitet brašna ispitivan je prema metodi ICC 121 (ICC standards, 1992) primenom alveografa (Chopin Technologies, Francuska. Testo se pomoću vazduha isteže u mehur pri čemu se meri pritisak unutar mehura, odnosno otpor testa rastezanju.

Testo se pripremalo mešenjem brašna i slanog rastvora (2,5% NaCl), potom istiskivanjem i oblikovanjem u male diskove koji zatim odležavaju u trajanju od 20 minuta na 25 °C. Nakon toga, vazduh se uduvava u komad testa pri čemu se testo isteže u mehur. Otpor koji testo pruža prilikom rastezanja beleži se sve dok mehur ne pukne, pri čemu se registruje kriva. Praćeni su sledeći parametri krive (slika 18):

- žilavost testa, P (mm H₂O), je maksimalni pritisak potreban za deformaciju uzorka
- rastegljivost testa, L (mm), predstavlja dužinu krive od početka uduvavanja vazduha u komad testa do trenutka pucanja mehura
- rad deformacije, W (10⁻⁴ J), predstavlja količinu energije koja se utroši prilikom nadimanja mehura
- odnos žilavosti i rastegljivosti testa, P/L .



Slika 18. Prikaz parametara alveografske krive

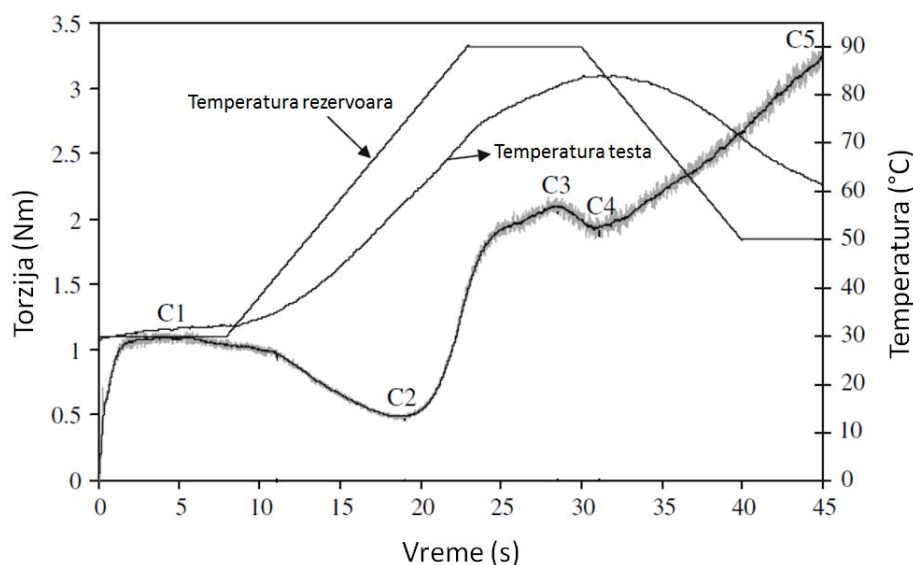
4.2.3.5. Ispitivanje termo-mehaničkih osobina testa pomoću miksolaba

Promene u reološkim osobina testa tokom mešenja i zagrevanja praćene su pomoću Miksolaba (Chopin Technologies, Francuska), primenom "Chopin+" protokola prema ICC 173 (ICC Standards, 2011), koji podrazumeva uslove prikazane u tabeli 2.

Tabela 2. Primenjeni uslovi merenja po Chopin+ protokolu

Parametri merenja	Vrednosti
Brzina mešenja	80 rpm
Ciljana konzistencija (C1)	1,1±0,05 Nm
Masa testa	75 g
Temperatura mesilice	30 °C
Temperatura u prvoj fazi	30 °C
Trajanje prve faze	8 min
Temperatura u drugoj fazi	90 °C
Temperaturni gradijent (15 min)	4 °C
Trajanje druge faze	7 min
Temperaturni gradijent (10 min)	4 °C
Temperatura u trećoj fazi	50 °C
Trajanje treće faze	5 min
Ukupno vreme analize	45 min

Merenjima su dobijeni sledeći parametri krive: MUV_m , moć upijanja vode (%); DDT_m , vreme razvoja (min); $Stab_m$, stabilitet testa (min); C_1-C_2 , razlika između torzije C_1 i torzije na početku zagrevanja; C_5-C_4 , iznos retrogradacije, tj. razlika između maksimuma torzije nakon perioda hlađenja na 50 °C (C_5) i torzije u tački (C_4), (Nm). Na slici 19 prikazan je tipičan profil krive miksolaba.

**Slika 19.** Prikaz miksolab krive

4.2.3.6. Ispitivanje kvaliteta glutena brašna pomoću glutopika

Sposobnost i kinetika formiranja glutenske mreže je ispitana primenom glutopika (Brabender, Nemačka) (slika 20). U mernu posudu uređaja odmeri se oko 8,5 g brašna i doda se 9,5 g 2% rastvora NaCl, pri čemu se masa brašna i rastvora koriguju na 14% vlage brašna da bi se dobio konstantan odnos tečne i čvrste faze od 1.26. Temperatura brašna i rastvora od 36 °C postignuta je cirkulisanjem vode kroz spoljašnju posudu. Brzina obrtaja lopatica za mešenje je podešena na 2700 o/min, dok je vreme analize bilo 10 minuta.

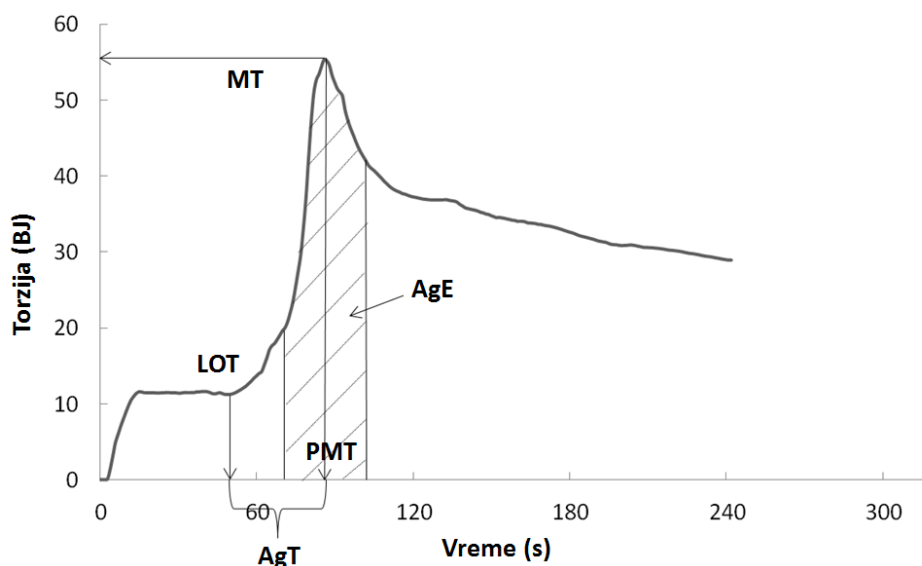


Slika 20. Prikaz uređaja glutopik

Na osnovu krive zavisnosti torzije od vremena analize (slika 21) dobijeni se sledeći parametri:

- vreme postizanja maksimuma torzije, PMT (s), koje predstavlja vreme koje protekne od početka analize do momenta postizanja maksimuma torzije
- maksimalna torzija, MT (izražena u Brabenderovim jedinicama, BJ), predstavlja visinu krive u maksimumu
- energija agregacije, AgE (izražena u jedinicama Glutopika, GPJ), predstavlja površinu ispod krive računata 15 sekundi pre postizanja maksima konzistencije do 15 sekundi nakon postizanja maksimuma torzije.

- vreme povećanja konzistencije, LOT (s), predstavlja vreme kada kriva konzistencije počne da raste
- vreme agregacije, AgT (s), se računa kao razlika između vremena postizanja maksimuma torzije, PMT, i vremena povećanja konzistencije, LOT.



Slika 21. Šematski prikaz parametara krive glutopika

4.2.4. Ispitivanje reoloških karakteristika testa fundamentalnim testovima

4.2.4.1. Priprema testa za fundamentalna reološka merenja

Zames testa za fundamentalna reološka merenja izveden je u mesilici miksolaba, pri čemu je testo pripremano na konstantnu konzistenciju (1,1 Nm). Količina vode koja se dodavala u zames je računata na osnovu 14% vlage brašna. Testo (75 g) je mešeno na temperaturi od 30 °C u trajanju od 8 min, nakon čega je ostavljeno u plastičnoj posudi 5 min u termostatu na 30 °C, kako bi se oslobodilo napona unetog prilikom mešenja.

Fundamentalna reološka merenja su izvedena na reometru Haake Mars (Thermo Scientific, Nemačka) na temperaturi od 30 °C. Za reološka merenja korišćen je pribor nazubljena ploča-ploča PP35S (prečnika 35 mm) sa zazorom između ploča od 1 mm da bi se sprečilo proklizavanje uzorka testa. Testo je postavljeno na ploču i komprinovano pri čemu je višak testa uklonjen, a na ivice je naneto parafinsko ulje u cilju sprečavanja

gubitka vlage i sušenja uzorka tokom merenja. Uzorak je potom ostavljen 10 min da bi došlo do relaksacije uzorka usled stresa unetog tokom kompresije.

4.2.4.2. Dinamička oscilatorna merenja

Dinamička oscilatorna merenja izvedena su u rasponu frekvencije 0,1-50 Hz pri konstantnoj vrednosti napona smicanja od 5 Pa, koji je u oblasti linearnog viskoelastičnog režima prethodno određenog pomoću "stress sweep" testa. Merenjima, koja su izvedena u dva ponavljanja, određeni su dinamički (G') i viskozni (G'') moduo i tangens faznog ugla ($\tan\delta$) na 1 Hz (jednačina 1).

4.2.4.3. Test puzanja i oporavka

Određivanje krive puzanja i oporavka ("creep-recovery test") je sprovedeno odmah nakon oscilatornih merenja na istom uzorku obzirom da se oscilatorna merenja izvode pri malim deformacijama i pri tome ne narušavaju strukturu uzorka. Test se sastojao od faze puzanja u toku koje je primenjen konstantni napon smicanja od 50 Pa u trajanju od 300 s, a po prestanku delovanja napona smicanja ($\tau = 0$ Pa) usledila je faza oporavka u trajanju od 900 s.

Krive puzanja (5) i oporavka (6) se mogu predstaviti sledećim jednačinama:

$$J(t) = J_0 + J_m \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) + t/\eta_0 \quad (5)$$

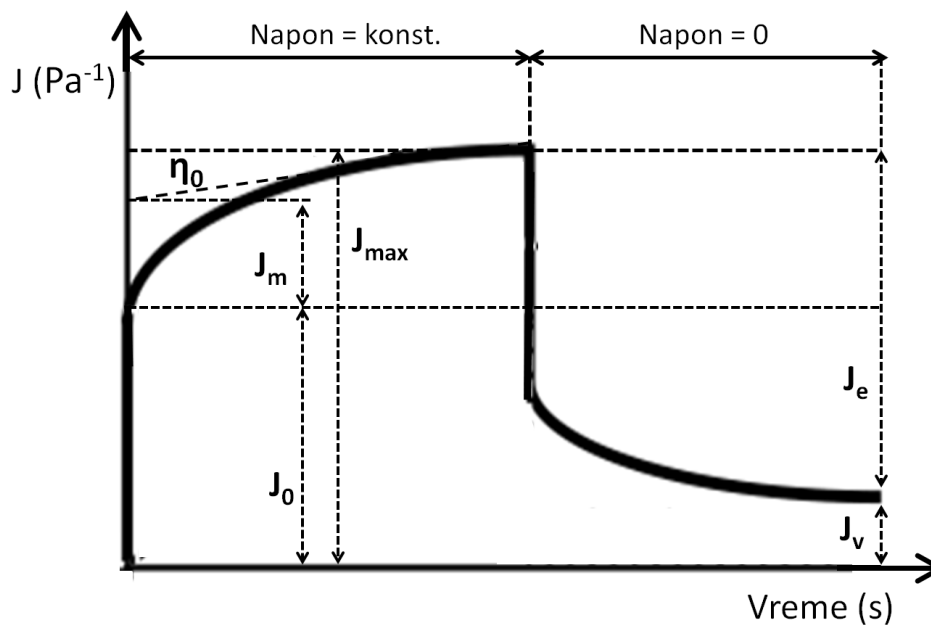
$$J(t) = J_{max} - J_0 - J_m \cdot (1 - \exp(-t/\lambda)) \quad (6)$$

gde su:

J , popustljivost sistema (Pa^{-1}), J_0 , početna popustljivost materijala (Pa^{-1}), J_m , viskoelastična naknadna popustljivost u fazi puzanja (Pa^{-1}), J_{max} , maksimalna vrednost popustljivosti u fazi puzanja, λ , srednja vrednost vremena oporavka sistema (s), η_0 , Njutnovski viskozitet (Pas). Deo krive koja opisuje oporavak sistema može se opisati i sledećim parametrima: J_e/J_{max} – udeo elastične deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema (odnosi se na deo strukture koja se oporavila nakon prestanka delovanja napona) (%); J_v/J_{max} – udeo viskozne deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema

(odnosi se na deo strukture koja se nije oporavila nakon prestanka delovanja napona (%), tj. izgubljeni iznos deformacije) (Lazaridou i sar., 2007).

Šematski prikaz parametara tipične krive puzanja i oporavka dat je na slici 22.



Slika 22. Prikaz parametara krive puzanja i oporavka

4.2.5. Laboratorijsko probno pečenje hleba

Za zames testa korišćeno je 300 g brašna, 2% kvasca, 2 % kuhinjske soli računato na masu brašna. Količina vode za zames, potrebna da se postigne konzistencija od 400 FJ, je izračunata na osnovu farinografskih pokazatelja: moći upijanja vode i stepena omekšanja, a dobijena vrednost umanjena je za 1,4% zbog sadržaja vode kvasca. Testo je mešeno u brzohodnoj mesilici u trajanju od 5 minuta, nakon toga je oblikovano u loptu i stavljeno u termostat temperature 30 °C da fermentiše u masi 120 minuta. Tokom fermentacije, testo se premesivalo nakon 60 i 90 minuta. Testo je zatim podeljeno na tri komada (3x130 g), ručno oblikovano i stavljeno u kalupe (95x75 mm gornja površina, 75x55 mm dno i 55 mm visina kalupa) koji su preneti u termostat za završnu fermentaciju. Završna fermentacija se izvodila pri uslovima temperature od 30 °C, relativne vlažnosti vazduha od 75% u trajanju od 70 minuta. Pečenje je izvedeno u laboratorijskoj peći MIWE (Miwe condo, Nemačka) uz doziranje pare na 220 °C u

trajanju od 15 minuta. Nakon pečenja hlebovi su hlađeni 1 h na sobnoj temperaturi a potom čuvani u klima komori 24 h pri kontrolisanim uslovima vlage ($75 \pm 0,5\%$) i temperature ($22 \pm 0,7$ °C).

4.2.6. Određivanje specifične zapremine hleba

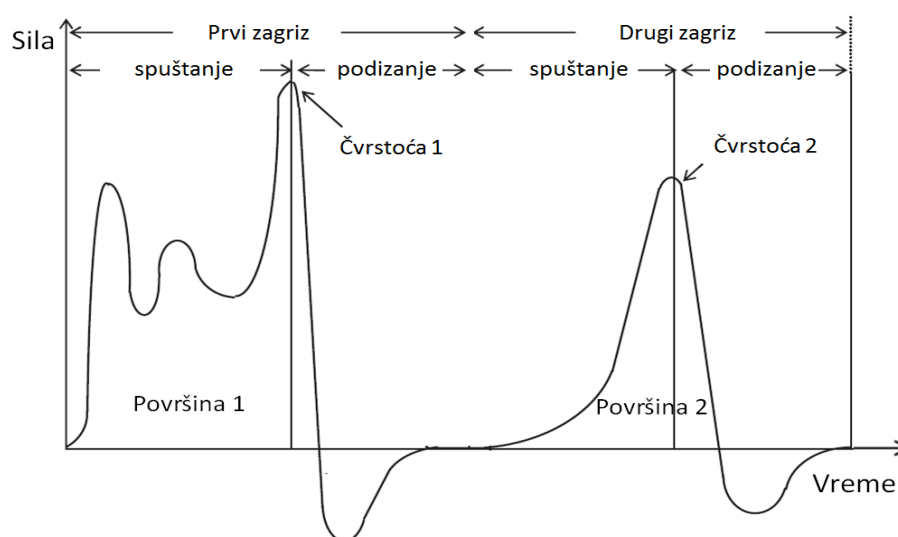
Masa hleba je izmerena 1h nakon pečenja i hlađenja, dok je zapemina hleba određena metodom istiskivanja zrna prosa (Kaluderski i Filipović, 1998). Specifična zapemina, V_{sp} (cm³/g) hleba je određena kao odnos zapemine i mase hleba.

4.2.7. Određivanje teksture sredine hleba

Merenja teksture sredine hleba izvedena su 24 h nakon pečenja na aparatu teksturometar TA.XT2 Texture Analyser (Stable Micro Systems, Engleska) primenom TPA (*Texture Profile Analysis*) testa (metoda dvostruke kompresije) koji simulira proces žvakanja hrane u ustima. Merenja teksture sredine hleba izvedena su u tri ponavljanja na kriškama (visine 12,5 mm i prečnika 35 mm) uzetim iz središnjeg dela hleba. Prilikom TPA testa korišćena je merna ćelija od 30 kg i merni pribor P/75 (aluminijumska ploča prečnika 75 mm). Zadati parametri merenja bili su: brzina kretanja mernog dela pre analize 1 mm/s, a u toku i nakon obavljene analize 5 mm/s i vreme čekanja između prvog i drugog ciklusa kompresije 5 s. Iznos kompresije je bio 75%. Na slici 23 je prikazana TPA kriva sa odabranim pokazateljima teksture:

- čvrstoća (eng. "*hardness*") (N) - predstavlja maksimalnu vrednost sile tokom prve kompresije (prvog zagriža) i ukazuje na silu koja je potrebna da izazove deformaciju uzorka.
- kohezivnost (eng. "*cohesiveness*") - definiše se kao odnos površine 2 i površine 1 ispod krive (A2/A1) i ukazuje na sposobnost uzorka da se odupre deformaciji tokom druge kompresije u odnosu na deformaciju tokom prve kompresije (Bourne, 2002; Clerici, 2009).
- inicijalna elastičnost (eng. "*resilience*") - ukazuje na sposobnost trenutnog oporavka sistema (odmah nakon prve kompresije) (Gómez i sar., 2007).

- naknadna elastičnost (eng. “springiness”) - predstavlja visinu koju ispitivani uzorak povraća tokom vremena između kraja prve kompresije (prvog zagriz) i početka druge kompresije (drugog zagriz), i ukazuje na iznos do kojeg se deformisani uzorak vraća u prvobitan oblik nakon prestanka dejstva sile.
- otpor žvakanju ili žvakljivost (eng. “chewiness”) (N) predstavlja proizvod čvrstoće, kohezivnosti i naknadne elastičnosti i ukazuje na energiju koja je potrebna da se čvrst uzorak hrane usitni do stanja spremnog za gutanje (Bourne, 2002; Clerici, 2009).



Slika 23. Prikaz TPA krive

4.2.8. Analiza strukture skenirajućom elektronskom mikroskopijom

Strukturne osobine testa i hleba analizirane su pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa JSM-6460LV (SEM, JEOL Ltd., Japan) na 25 kV. Komadi testa i sredine hleba (1x1x1 mm) su isečeni oštrim sečivom kako bi se minimalno narušila struktura uzorka. Priprema uzorka pre posmatranja podrazumevala je fiksiranje uzoraka potapanjem u 3% rastvoru glutaraldehida u trajanju od 2h i dehidriranje u seriji rastvora acetona (25, 50, 75, i 80 %) sukcesivnim potapanjem uzorka 20 min u svakom od rastvora. Uzorci su potom dehidrirani u 100% acetonu tokom 3 sukcesivna perioda od 20 min u cilju postizanja potpune dehidratacije (Ribotta i sar., 2004), nakon čega su sušeni do kritične

tačke pomoću CPD 030 BAL-TEC Critical Point Dryer (BAL-TEC AG, Lihtenštajn). Dehidrirani uzorci su prevučeni tankim slojem zlata raspršenog po površini. Posmatranje uzoraka na elektronskom mikroskopu je izvedeno pri uvećanju 1000x.

4.2.9. Statistička obrada podataka

Sva eksperimentalna merenja izvedena su u tri ponavljanja. Statistička obrada rezultata izvedena je primenom softverskog paketa Statistica version 13 (StatSoft Inc. 2013, USA).

Primenom deskriptivne statistike, rezultati eksperimentalnih merenja predstavljeni su srednjim, minimalnim i maksimalnim vrednostima, kao i koeficijentom varijacije (CV). Između pojedinih pokazatelja kvaliteta određena je međusobna linearna zavisnost izražena Pearson-ovim koeficijentom korelacije. Radi sagledavanja uticaja pojedinih faktora (sorte, lokalita i proizvodne godine) na odgovarajuće pokazatelje kvaliteta primenjena je analiza varijanse ANOVA (*Analysis of Variance*). Fisher-ov test sa pragom značajnosti 0,05 korišćen je za utvrđivanje značajnosti razlike između srednjih vrednosti analiziranih pokazatelja.

U cilju ispitivanja mogućnosti predviđanja kvaliteta gotovog proizvoda na osnovu reoloških parametara razvijeni su višestruki regresioni modeli primenom postepene selekcije unazad (*eng. backward stepwise linear regression*). Višestruka regresija selekcijom unazad podrazumeva izračunavanje regresionih jednačina koja obuhvataju sve nezavisne promenljive veličine, odnosno prediktore zavisnih promenljivih. Nezavisne promenljive koje prema Fisher-ovom testu nisu statistički značajne ($p > 0,05$) eliminisane su iz modela i regresione jednačine su ponovo izračunate, pri čemu su dobijeni modeli obuhvatali samo statistički značajne prediktore. Jednačine višestruke regresije bile su oblika:

$$Y = A_0 + A_1 \times X_1 + A_2 \times X_2 + \dots + A_n \times X_n \quad (7)$$

gde je Y procenjena vrednost zavisne promenljive; A_0 konstanta; A_i , $i = 1, \dots, n$ su regresioni koeficijenti modela; $X_{1, \dots, n}$, zavisne promenljive veličine.

PCA analiza (*engl. Principal Component Analysis*) je primenjena u cilju definisanja odnosa između pojedinih promenljivih, i u cilju grupisanja i diferenciranja sorti pšenice na

osnovu merenih vrednosti. Rezultati su grafički predstavljeni kroz projekciju svojstvenih vektora analiziranih promenljivih u faktorskim ravnima (*loading plot*– prikaz promenljivih veličina, *score plot*– prikaz distribucije uzoraka u odnosu na glavne komponente).

Poglavlje 5

Rezultati i diskusija

5.1. Ispitivanje mogućnosti primene reološkog uređaja glutopik u proceni kvaliteta pšeničnog brašna

5.1.1. Razvoj glutopik metode

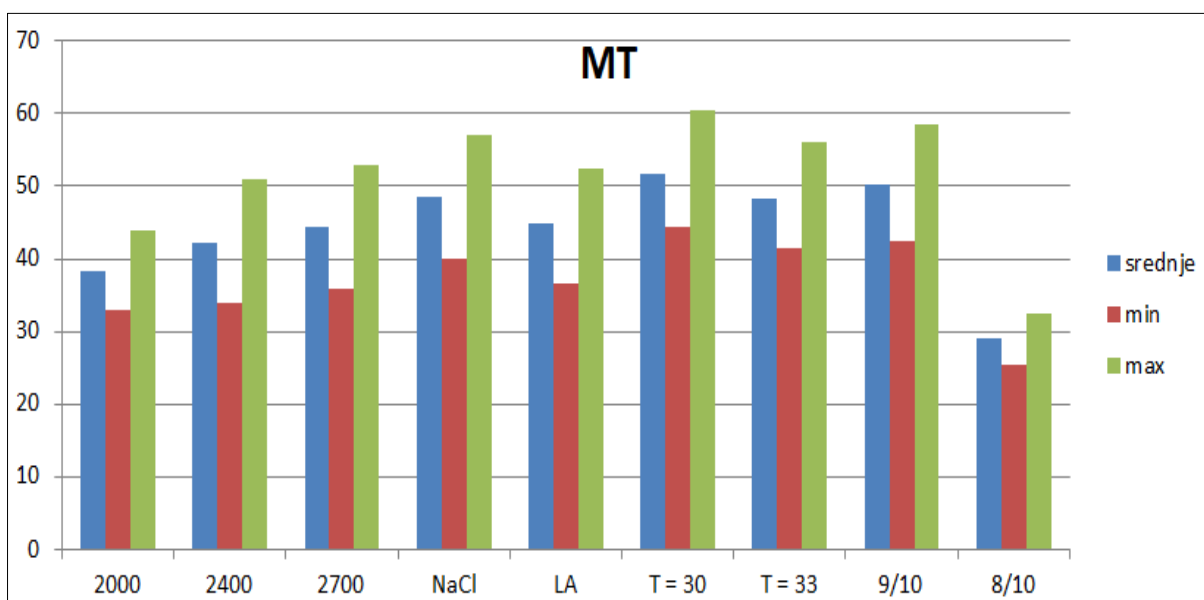
Razvoj glutopik metode je podrazumevao definisanje optimalnog protokola merenja koji bi omogućio najbolju diskriminaciju kvaliteta pšeničnog brašna. U cilju određivanja optimalnih uslova merenja na glutopiku, korišćeni su protokoli koji se međusobno razlikuju u uslovima temperature, brzine obrtaja mešača, izbora rastvarača i koncentracije suspenzije, tj. odnosa brašna i rastvarača (tabela 3).

Tabela 3. Primenjeni protokoli glutopika

Protokol	Temperatura (°C)	Obrtna brzina (min ⁻¹)	Odnos brašna i rastvarača	Rastvarač
T = 33	33	2700	8,5/9,5	voda
T = 30	30	2700	8,5/9,5	voda
2700	36	2700	8,5/9,5	voda
2400	36	2400	8,5/9,5	voda
2000	36	2000	8,5/9,5	voda
9/9	36	2000	9/9	voda
8/10	36	2700	8/10	voda
NaCl	36	2700	8,5/9,5	2% NaCl
LA	36	2700	8,5/9,5	0,05% LA

LA, mlečna kiselina

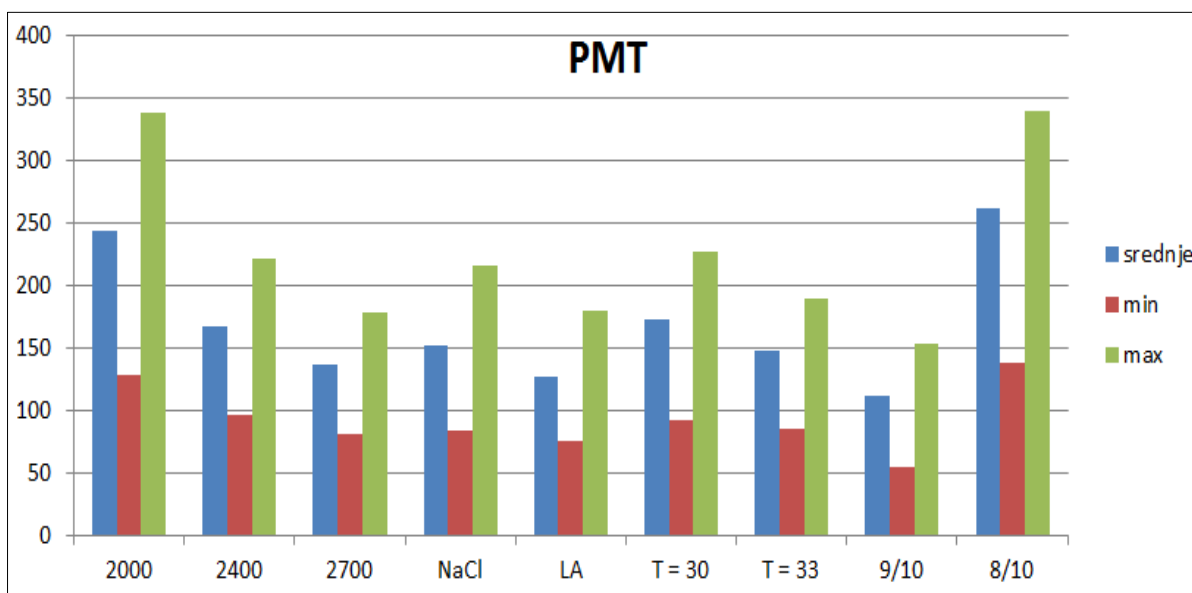
Za definisanje optimalnog protokola korišćeno je deset uzoraka pšeničnog brašna različitog kvaliteta i jačine određenih empirijskim reološkim metodama (podaci nisu prikazani). Pojedini protokoli nisu bili pogodni za analizu slabih brašna jer se maksimum torzije merenja, koji ukazuje na formiranje glutenske strukture, nije registrovao čak ni nakon 1000 s merenja. Protokol 8/10 je registrovao maksimum torzije samo kod 5 uzoraka brašna, protokoli 2000 i T = 30 su registrovali MT kod 7 uzoraka, dok je primenom protokola T = 33 registrovan MT kod 8 uzoraka. Protokoli 2400, 2700, 9/9 i NaCl su registrovali MT kod 9 uzoraka, dok je protokol LA uspešno analizirao sve uzorke brašna bez obzira na njihovu jačinu.



Slika 24. Srednje, minimalne i maksimalne vrednosti glutopik maksimalne torzije merene pri različitim uslovima

Uticaj odabranih protokola i uslova merenja na vrednosti maksimalne torzije je prikazan na slici 24. Vrednost maksimalne torzije se povećala sa povećanjem obrtne brzine mešača, smanjenjem temperature, povećanjem koncentracije suspenzije i u prisustvu rastvarača NaCl. Sa druge strane, vreme postizanja maksimuma torzije se smanjilo sa povećanjem brzine obrtaja mešača, povećanjem temperature i koncentracije suspenzije, i u prisustvu mlečne kiseline (slika 25). Chandi i Seetharaman (2012) su zaključili da su interakcije između brašna i rastvarača najznačajniji faktor koji utiče na vrednost maksimalne torzije suspenzije brašna tvrde pšenice i brašna od celog zrna pšenice, dok

koncentracija suspenzije i obrtna brzina mešača najviše utiču na vrednosti maksimalne torzije suspenzije brašna meke pšenice. U ovom istraživanju zabeležen je značajan uticaj obrtne brzine na vrednosti maksimalne torzije i vremena postizanja maksimuma torzije.



Slika 25. Srednje, minimalne i maksimalne vrednosti glutopik vremena postizanja maksimalne torzije merenih pri različitim uslovima

Upotreba koncentrovanih suspenzija, velike brzine obrtaja mešača i upotreba sredstava koja modifikuju strukturu testa (NaCl i organske kiseline) se preporučuje prilikom ispitivanja brašna lošeg kvaliteta. Suspenzije slabih brašna su više viskozne i manjeg stabiliteta jer poseduju manje elastičnih osobina zbog čega imaju lošiju sposobnosti formiranja glutenske mreže.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da su optimalni protokoli oni koji podrazumevaju upotrebu NaCl i mlečne kiseline kao rastvarača, međutim, u daljem istraživanju korišćen je protokol sa NaCl jer je primenom ovog rastvarača omogućena bolja diferencijacija uzoraka po parametru PMT, odnosno veća je razlika između minimalnih i maksimalnih vrednosti. Pored toga, dodatkom NaCl prilikom mešenja postiže se neutralizacija naelektrisanja glutenskih molekula, smanjenje sila repulzije između molekula, omogućavajući proteinskim lancima da se čvrsto povežu u strukturu glutena (Miller i Hosenej, 2008). Na taj način se prevazilazi problem lošije sposobnosti formiranja glutenske strukture kod slabih brašna.

5.1.2. Korelacije između parametara glutopika i pokazatelja reoloških karakteristika testa i kvaliteta hleba

Reološke karakteristike testa i kvalitet hlebova proizvedenih od ispitivanih uzoraka pšeničnog brašna, a korišćenih za ispitivanje korelacija sa parametrima glutopika su prikazani u tabeli 4 u vidu deskriptivne statistike. Odabrani set uzoraka pšeničnog brašna karakteriše širok opseg sadržaja i kvaliteta glutena. Vrednosti sadržaja proteina se kretala u opsegu od 8,1 do 13,2 %, dok je sadržaj vlažnog glutena bio u opsegu od 18,7 do 36,1 %. Opseg vrednosti moći upijanja vode brašna od 51,2 do 64,3 % ukazivao je na različitu sposobnost apsorpcije vode od strane komponenti brašna. Širok opseg vrednosti stepena omekšanja testa (10–105 FJ), energije (15–136 cm²), rada deformacije (86–291 x 10⁻⁴ J) ukazivale su na različitu jačinu testa od ispitivanih uzoraka brašna. Vrednosti pokazatelja kvaliteta hleba, tj. specifične zapremine bila je u opsegu od 2,77 do 4,39 cm³g⁻¹. Širok opseg odabranih pokazatelja kvaliteta ukazuje da je odabrani set uzoraka brašna reprezentativan i pogodan da se uzme u obzir prilikom dalje analize rezultata.

Tabela 4. Minimalne, maksimalne i srednje vrednosti pokazatelja reoloških karakteristika testa i kvaliteta hleba

Parametri	Minimum	Maksimum	Opseg	Srednja vrednost	SD
Sadržaj proteina (%)	8,1	13,2	5,2	11,5	1,2
Sadržaj vlažnog glutena (%)	18,7	36,1	17,4	29,8	3,9
Gluten indeks (%)	74	99	25	90	6,5
Parametri glutopika					
PMT (s)	80	405	325	177	83,1
MT (BJ)	22	58	36	44	9,8
AgE (GPJ)	629	1602	973	1151	273,9
AgT (s)	48	242	194	107	46,4
Farinografski pokazatelji					
MUV (%)	51,2	64,3	13,1	58,3	3,3
DDT (min)	1,5	13,0	11,5	4,8	3,1
Stab (min)	1,5	20,5	19,0	8,8	5,4
SO (BJ)	10	105	95	59	21,7
KB	25	375	350	104,9	72,4
Ekstenzografski pokazatelji					
E (cm ²)	15	136	121	84	27,4
O ₅ (BJ)	65	460	395	283	92,3
r (mm)	129	185	56	155	15,2
O ₅ /r	0,4	3,3	2,9	1,9	0,7
Alveografski pokazatelji					
P (mmH ₂ O)	39	112	73	75	20,1
L (mm)	65	141	76	93	18,1
W (10 ⁻⁴ J)	86	291	205	208	51,5
P/L	0,3	1,7	1,4	0,8	0,3
Parametri miksolaba					
MUV _m (%)	48,5	60,0	11,5	55,2	3,5
DDT _m (min)	0,9	8,9	8,0	4,3	2,7
Stab _m (min)	3,6	11,6	8,1	8,8	2,0
C ₁ -C ₂ (Nm)	0,5	0,74	0,24	0,63	0,06
C ₅ -C ₄ (Nm)	0,26	1,52	1,26	0,83	0,33
Parametri fundamentalnih reoloških testova					
G' (Pa)	11945	33225	21280	19457	4971,4
G'' (Pa)	5061	11230	6169	7172	1424,2
tan δ	0,32	0,42	0,1	0,37	0,02
J ₀ (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	8,5	37,9	29,4	20,3	6,0
J _{max} (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	42,5	171,7	129,2	90,7	25,4
J _e /J _{max}	52,1	65,7	13,6	60,1	3,2
Pokazatelji kvaliteta hleba					
V _{sp} (cm ³ /g)	2,77	4,39	1,62	3,65	0,43
Čvrstoća (g)	1566,9	12145,2	10578,4	4462,7	2950,2
Kohezivnost	0,54	0,80	0,26	0,69	0,07
Inicijalna elastičnost	0,26	0,40	0,14	0,32	0,04
Naknadna elastičnost	0,95	1,03	0,08	0,98	0,02
Otpor žvakanju (g)	1184,4	6613,7	5429,3	2864,9	1533,2

PMT, vreme postizanja maksimuma torzije; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; AgT, vreme agregacije; MUV, moć upijanja vode; DDT, razvoj testa; Stab, stabilitet testa; SO, stepen omekšanja; KB,

kvalitetni broj; E, energija; O_5 , otpor testa; r, rastegljivost testa; P, žilavost testa; L, rastegljivost testa; O_5/r , odnosni broj; W, rad deformacije; P/L, odnos žilavosti i rastegljivosti testa; MUV_m , moć upijanja vode, DDT_m , razvoj testa, $Stab_m$, stabilitet testa; C_2-C_1 , razlika između torzije C1 i torzije na početku zagrevanja; C_5-C_4 , razlika između maksimuma torzije nakon perioda hlađenja na 50 °C (C5) i torzije u tački (C4); G' , elastični moduo, G'' , viskozni moduo; $\tan \delta$, odnos elastičnog i viskoznog modula; J_0 , početna popustljivost materijala, J_{max} , maksimalna popustljivost materijala; J_e/J_{max} , udeo elastične deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema; V_{sp} , specifična zapremina hleba

Utvrđena je negativna zavisnost između vremena postizanja maksimuma konzistencije, PMT i maksimalne torzije, MT, ($r = -0,898$, $p < 0,01$), što ukazuje da uzorci koji imaju veliku maksimalnu konzistenciju imaju sposobnost da brzo formiraju glutensku strukturu. U tabeli 5 su prikazane dobijene korelacije između parametara glutopika i parametara reoloških osobina testa i pokazatelja kvaliteta hleba. Parametri glutopika PMT i AgT ukazuju na kinetiku formiranja glutena dok su MT i AgE indikatori jačine formirane glutenske mreže. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da su parametri MT i AgE bili u jakoj pozitivnoj korelaciji sa sadržajem proteina ($r = 0,894$ i $0,820$, $p < 0,01$), dok su indikatori kinetike formiranja glutena, PMT i AgT u negativnoj korelaciji sa sadržajem proteina ($r = -0,855$ i $-0,883$, $p < 0,01$). Dobijene korelacije ukazuju na to da brašna sa većim sadržajem proteina brže formiraju jaču glutensku strukturu, dok brašna sa relativno malim sadržajem proteina sporije formiraju glutensku strukturu koja je slabija. Slične korelacije su uočene između parametara glutopika i sadržaja vlažnog glutena, što je ukazivalo da brašna sa većim sadržajem vlažnog glutena za kraće vreme formiraju kohezivni glutenski matriks (Marti i sar., 2014; Marti i sar., 2015a; Sissons, 2016). Obzirom na uzak opseg vrednosti gluten indeksa i slabu distribuciju vrednosti duž ose, korelacije između gluten indeksa i parametara glutopika nisu uzete u obzir.

Tabela 5. Korelacije između parametara glutopika i pokazatelja reoloških osobina testa i kvaliteta hleba

Parametar	PMT	MT	AgE	AgT
Sadržaj proteina (%)	-0,855(**)	0,894(**)	0,820(**)	-0,883(**)
Sadržaj vlažnog glutena (%)	-0,841(**)	0,885(**)	0,822(**)	-0,853(**)
Gluten indeks	0,588(**)	-0,484(**)	-0,421(**)	0,674(**)
Farinografski pokazatelji				
MUV (%)	-0,798(**)	0,877(**)	0,877(**)	-0,807(**)
DDT (min)	-0,618(**)	0,679(**)	0,596(**)	-0,615(**)
Stab (min)	-0,683(**)	0,740(**)	0,662(**)	-0,671(**)
SO (BJ)	0,628(**)	-0,746(**)	-0,692(**)	0,607(**)
Kvalitetni broj	-0,578(**)	0,647 (**)	0,560(**)	-0,576(**)
Ekstenzografski pokazatelji				
E (cm ²)	-0,133	0,251	0,236	-0,088
O ₅ (BJ)	-0,013	0,116	0,064	-0,076
r (mm)	-0,143	0,188	0,292	0,045
O ₅ /r	0,034	0,054	-0,016	-0,075
Alveografski pokazatelji				
P (mmH ₂ O)	-0,640(**)	0,795(**)	0,828(**)	-0,651(**)
L (mm)	0,102	-0,137	-0,159	0,211
W (10 ⁻⁴ J)	-0,624(**)	0,778(**)	0,770(**)	-0,616(**)
P/L	-0,481(**)	0,598(**)	0,636(**)	-0,523(**)
Parametri miksolaba				
MUV _m (%)	-0,813(**)	0,902(**)	0,873(**)	-0,859(**)
DDT _m (min)	-0,734(**)	0,867(**)	0,877(**)	-0,654(**)
Stab _m (min)	-0,304	0,340(*)	0,361(*)	-0,292
C ₁ -C ₂ (Nm)	0,176	-0,227	-0,341(*)	-0,095
C ₅ -C ₄ (Nm)	0,419(**)	-0,436(**)	-0,342(*)	0,623(**)
Fundamentalni reološki testovi				
G' (Pa)	0,576(**)	-0,631(**)	-0,571(**)	0,697(**)
G'' (Pa)	0,535(**)	-0,626(**)	-0,573(**)	0,657(**)
tan δ	-0,582(**)	0,535(**)	0,454(**)	-0,667(**)
J ₀ (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	0,520(**)	-0,575(**)	-0,557(**)	0,512(**)
J _{max} (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	-0,485(**)	0,534(**)	0,461(**)	-0,599(**)
J _e /J _{max}	-0,171	0,349(*)	0,382(*)	-0,212
Pokazatelji kvaliteta hleba				
V _{sp} (g/cm ³)	-0,339(*)	0,275	0,261	-0,262
Čvrstoća	0,622(**)	-0,734(**)	-0,680(**)	0,778(**)
Kohezivnost	-0,745(**)	0,878(**)	0,846(**)	-0,835(**)
Inicijalna elastičnost	-0,684(**)	0,828(**)	0,865(**)	-0,614(**)
Naknadna elastičnost	-0,559(**)	0,614(**)	0,623(**)	-0,662(**)
Otpor žvakanju (g)	0,578(**)	-0,676(**)	-0,615(**)	0,752(**)

MUV, moć upijanja vode; DDT, razvoj testa; Stab, stabilitet testa; SO, stepen omekšanja; KB, kvalitetni broj; E, energija; O₅, otpor testa; r, rastegljivost testa; P, žilavost testa; L, rastegljivost testa; O₅/r, odnosni broj; W, rad deformacije; P/L, odnos žilavosti i rastegljivosti testa; MUV_m, moć upijanja vode; DDT_m, razvoj testa; Stab_m, stabilitet testa; C₂-C₁, razlika između torzije C1 i torzije na početku zagrevanja; C₅-C₄, razlika između

maksimuma torzije nakon perioda hlađenja na 50 °C (C5) i torzije u tački (C4); G', elastični moduo, G'', viskozni moduo; $\tan \delta$, odnos elastičnog i viskoznog modula; J_0 , početna popustljivost materijala, J_{\max} , maksimalna popustljivost materijala; J_e/J_{\max} , udeo elastične deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema; V_{sp} , specifična zapremina hleba; PMT, vreme postizanja maksimuma torzije; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; AgT, vreme agregacije

**Korelacija je značajna na nivou 0,01

*Korelacija je značajna na nivou 0,05

Farinografska moć upijanja vode, odnosno, količina vode koja je neophodna da bi se postigla konzistencija od 500 BJ, je u jakoj pozitivnoj korelaciji sa parametrima MT i AgE ($r = 0,877$ i $0,877$, $p < 0,01$), i negativnoj korelaciji sa PMT i AgT ($r = -0,798$ i $-0,807$, $p < 0,01$). Dobijene zavisnosti između parametara su očekivane obzirom da ovi pokazatelji prvenstveno zavise od sadržaja proteina. Poznato je da brašna sa većim sadržajem proteina imaju veću moć upijanja vode u odnosu na brašna manjeg sadržaja proteina. Sa druge strane, obrnuto proporcionalna zavisnost između vremena razvoja testa, DDT i PMT je neočekivana obzirom da se oba parametra odnose na vreme potrebno za formiranje strukture glutena. Primenjeni različiti uslovi hidratacije u ovim testovima se ne smeju zanemariti. Naime, količina vode koja se dodaje u farinografsku mesilicu da bi se dobilo homogeno testo (~55 g vode/100 g brašna) je duplo manja u odnosu na količinu rastvarača koji se meša sa brašnom da bi se dobila suspenzija (111 g rastvarača/100 g brašna) prilikom merenja na glutopiku (Marti i sar., 2015b). Takođe, konfiguracija mešača kod ova dva uređaja je različita. Dok se kod farinografa mešenje izvodi pomoću mešača Z-tipa koji se obrće brzinom 63 o/min, glutopik radi pri velikim brzinama mešenja (2700 o/min) da bi se dobila homogena suspenzija brašna. Parametar Stab koji ukazuje na otpor testa mešenju i gnječenju je u pozitivnoj korelaciji sa MT i AgE, a u negativnoj sa PMT i AgT. Dobijene korelacije ukazuju na to da su uzorci koji su ispoljili jak otpor delovanju intenzivnih mehaničkih sila tokom analize na glutopiku koja se izvodi pri velikim brzinama rotirajućeg elementa, zadržali stabilnost strukture i tokom blažih uslova primenjenih u farinografskim merenjima. Uzorci brašna koje karakterišu manje vrednosti stepena omekšanja i veće vrednosti kvalitetnog broja zahtevaju kraće vreme i veću količinu energije za formiranje jakog proteinskog aglomerata.

Što se tiče alveografskih pokazatelja kvaliteta, primećena je statistički značajna korelacija ($p < 0,01$) između parametara glutopika i žilavosti testa, rada deformacije i odnosa P/L. Žilavost testa, P, je u pozitivnoj korelaciji sa MT ($r = 0,795$) i AgE ($r = 0,828$), a u negativnoj korelaciji sa PMT ($r = -0,640$) i AgT ($r = -0,651$). Slične zavisnosti su

primećene između rada deformacije, W , i pomenutih parametara glutopika. Brašna koja su imala veću vrednost indikatora jačine testa, W , su ispoljila veću sposobnost formiranja jakog kohezivnog glutenskog matriksa u odnosu na brašna male vrednosti parametra W . Dobijene zavisnosti su u saglasnosti sa rezultatima drugih autora (Marti i sar., 2014, 2015b). Umerene korelacije su zabeležene između odnosa P/L i parametara glutopika.

Uprkos tome što je utvrđena jaka zavisnost između parametara glutopika i alveografskih pokazatelja jačine testa (P i W), nije uočena veza glutopika sa ekstenzografskim parametrima iako se primenom alveografa i ekstenzografa ispituju osobine testa prilikom rastezanja. Treba imati u vidu da se zames testa u alveografskoj mesilici izvodi pri konstantnoj hidrataciji dok se ekstenzografska merenja rade pri konstantnoj koizistenciji testa. Merenja na glutopiku se izvode pri konstantnoj hidrataciji što odgovara uslovima kod alveografa, što može biti još jedan razlog odsustva korelacije između ekstenzografskih pokazatelja i parametara glutopika.

Parametri glutopika su pokazali statistički značajnu korelaciju sa parametrima miksolaba, MUV_m i DDT_m , pri čemu je vrednost koeficijenta korelacije bila slična kao u slučaju sa farinografskim pokazateljima MUV i DDT , što je i očekivano, obzirom da farinograf i miksolab podrazumevaju konstantnu konzistenciju testa. Ustanovljena je slaba pozitivna korelacija između $Stab_m$ i MT i AgE . Razlika između C_2 i C_1 , koja je indikator slabljenja proteinske strukture, je pokazala slabu ali statistički značajnu pozitivnu korelaciju sa AgE ($r=0,341$, $p<0,05$). Što je manja razlika između C_2 i C_1 , bolji je kvalitet proteina i glutenske mreže (Ozturk i sar., 2008). Indikator otpornosti na retrogradaciju skrobnog molekula (C_5-C_4) je bio u negativnoj korelaciji sa glutopik pokazateljima jačine glutenske mreže (MT i AgE), a u negativnoj korelaciji sa pokazateljima brzine formiranja glutenske strukture (PMT i AGT).

Što se tiče fundamentalnih reoloških testova, primećene su negativne korelacije između indikatora jačine glutena, MT i AgE i pokazatelja jačine testa, G' . Ova neusaglašenost između parametara glutopika i fundamentalnih testova može biti posledica različitog doprinosa komponenti testa u ovim reološkim testovima. Reološko ponašanje testa u uslovima velikih deformacija je određeno protein-protein interakcijama, dok su interakcije između skroba dominantne u testovima malih deformacija (Amjid i sar., 2013; Pagani i sar., 2013). Pošto se fundamentalna reološka merenja izvode pri malim

deformacijama uticaj količine i kvaliteta proteina, koji uveliko određuju vrednosti parametara glutopika, su potisnute doprinosom skrobne komponente. Pored toga, uzorci testa za fundamentalna merenja su pripremana na konstantnu konzistenciju, nasuprot merenjima na glutopiku gde su testa bila konstantne hidratacije.

Imajući u vidu da sadržaj i kvalitet glutenskih proteina utiču na zapreminu hleba, dobijene značajne korelacije između indikatora jačine glutena, MT i AgE i specifične zapremine hleba nisu iznenađujuće. Naime, hlebovi proizvedeni od brašna velikog sadržaja proteina i kratkog vremena formiranja jakog glutena, su imali veliku specifičnu zapreminu i obrnuto. Pozitivna korelacija između maksimalne torzije, MT i zapremine hleba takođe je ustanovljena u istraživanju sprovedenom od strane Issarni i sar. (2017).

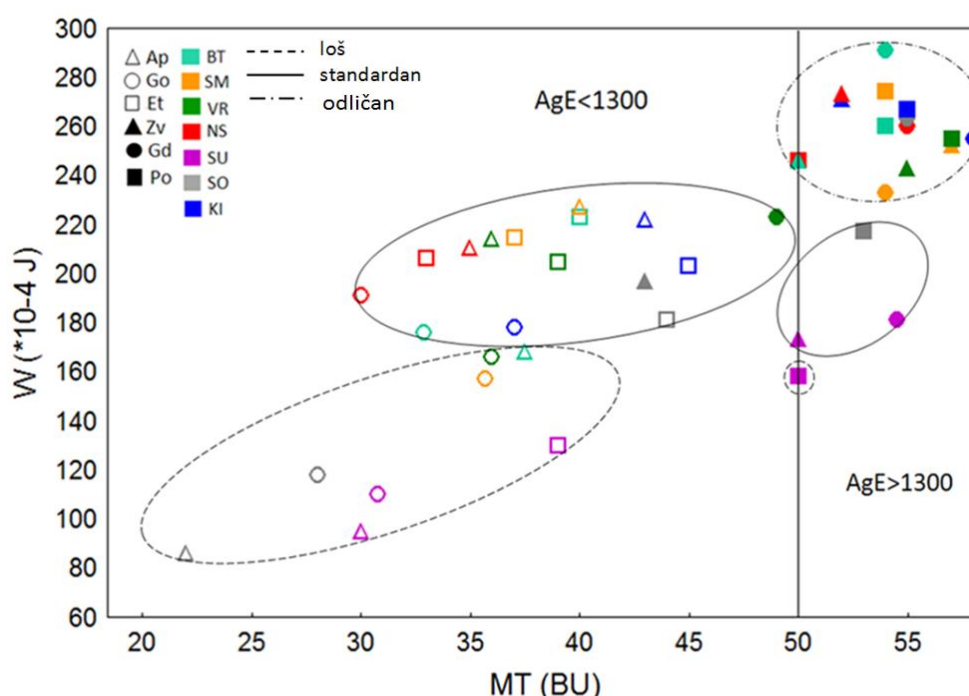
Teksturane karakteristike sredine hleba su takođe zavisile od sposobnosti brašna da formira jak glutenski matriks, što je potvrđeno dobijenim jakim korelacijama. Naime, uzorci brašna koji su imali sposobnost brze agregacije (male vrednosti PMT i AgT) i koji su formirali jaku glutensku strukturu (velike vrednosti MT i AgE) karakterisala je sredina hleba manje čvrstoće i manjeg otpora žvakanju. Ova zavisnost se može objasniti činjenicom da sadržaj proteina značajno utiče na proces nastanka glutenske mreže te stoga i na kvalitet hleba u pogledu teksturnih svojstava. Smanjenje čvrstoće hleba usled povećanja sadržaja proteina, može se objasniti razblaženjem skrobne komponente i povećanjem zapremine hleba zbog povećanja sadržaja glutena (Willhoft, 1973). Pored toga, uticaj glutena na promene u teksturi sredine hleba može se pripisati interakcijama između glutenske mreže i nabubrelih skrobnih granula. Smatra se da gluten lošeg kvaliteta ima veća hidrofилna svojstva i jače stupa u interakciju sa nabubrelim skrobnim granulama, stoga su ove interakcije tokom i nakon pečenja jače. Kao rezultat, hleb od brašna lošijeg kvaliteta će imati sredinu veće čvrstoće (He i Hosenev, 1991). Takođe, hleb od brašna koje zahteva duže vreme i manju energiju agregacije imaće sredinu manje kohezivnosti, inicijalne i naknadne elastičnosti.

5.1.3. Klasifikacija pšeničnog brašna prema kvalitetu pomoću glutopika

Parametri dobijeni merenjem na alveografu se koriste širom sveta u proceni kvaliteta pšenice tokom celog lanca prerade pšenice. Na osnovu rada deformacije, *W*, koji je pokazatelj jačine brašna, određuje se pogodnost brašna za određenu namenu. Prema

tome, na osnovu vrednosti W može se izvršiti klasifikacija pšeničnog brašna prema kvalitetu na: brašna slabog ($W < 170 \times 10^{-4} \text{ J}$), standardnog ($170 \times 10^{-4} \text{ J} < W < 230 \times 10^{-4} \text{ J}$) i odličnog kvaliteta ($W > 230 \times 10^{-4} \text{ J}$) (Bordes i sar., 2008).

Na slici 26 je dat prikaz klasifikacije odabranih uzoraka brašna prema vrednostima alveografskog parametra W , a uporedo i parametra MT glutopika. Grupisanje i jasna razlika između klasa kvaliteta pšenice je očigleda. Od ukupnog broja uzoraka, 21% ispitivanih uzoraka pripada klasi lošeg kvaliteta, 43% uzoraka pripada standardnoj a 36% uzoraka pripada klasi odličnog kvaliteta.



Slika 26. Klasifikacija uzoraka brašna na osnovu vrednosti parametra glutopika MT i alveografskog parametra W

Vrednosti MT uzoraka brašna koji su pripadali klasi lošeg kvaliteta ($W < 170 \times 10^{-4} \text{ J}$) bile su u opsegu 22–39 BJ, dok su se vrednosti AgE kretale u opsegu 629–990 GPJ. Može se primetiti da su uzorci ove kvalitetne grupe imali vrednosti maksimalne konzistencije, MT , manje od 50 BJ i vrednost energije agregacije, AgE , manje od 1300 GPJ. Ovo ukazuje na to da testa male jačine pokazuju slabiju sposobnost formiranja kohezivne strukture glutena pri datim uslovima merenja. Međutim, izuzetak je uzorak koji je imao vrednosti MT 50 BJ i AgE 1379 GPJ, uprkos tome što prema klasifikaciji pripada klasi slabog

kvaliteta ($W = 158 \times 10^{-4}$ J). Brašna standardnog kvaliteta su na slici pozicionirana između brašna lošijeg i dobrog kvaliteta, što je bilo i očekivano. Uzorke brašna standardnog kvaliteta smo podelili u dve podgrupe na osnovu vrednosti MT i AgE. Prvu podgrupu su činili uzorci koji su imali vrednosti $MT < 50$ BJ i $AgE < 1300$ GPJ, dok su drugu podgrupu činili uzorci sa vrednostima $MT \geq 50$ i $AgE > 1300$. Većina uzoraka standardne klase su pripadali prvoj podgrupi dok su tri uzoraka pripadala drugoj podgrupi. Može se uočiti da se primenom glutopika može izvršiti klasifikacija brašna prema kvalitetu na brašna dobrog ($MT \geq 50$ i $AgE > 1300$) i lošijeg kvaliteta ($MT < 50$ i $AgE < 1300$), međutim, klasifikacija brašna standardnog prosečnog kvaliteta nije moguća primenom ove metode. Uzorci koji pripadaju klasi odličnog kvaliteta su vidljivo grupisani i diferencirani u odnosu na ostale uzorke. Vrednosti MT kod ovih uzoraka brašna su se kretale u opsegu 50-58 BJ, a vrednosti AgE su bile u opsegu 1314-1602 GPJ, što ukazuje da su svi uzorci ove klase kvaliteta imali vrednosti $MT > 50$ BJ i $AgE > 1300$ GPJ i da se kod ovih uzoraka gluten formira brže i da su nastale strukture umreženih polimera jače.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da glutopik ima veliki potencijal da zameni alveograf u proceni kvaliteta pšeničnog brašna u mlinskoj i pekarskoj industriji. Treba imati u vidu da određivanje klase kvaliteta brašna i donošenje validnih procena o ponašanju testa tokom obrade na osnovu samo jednog kvalitativnog parametra nije tako jednostavna. Kvalitet pšenice je kompleksna osobina koja zavisi od brojnih fizičkih, hemijskih i reoloških karakteristika (Foca i sar., 2007). Međutim, u pojedinim situacijama, kao što su otkupna mesta nakon žetve, potrebna je brza procena reoloških svojstva brašna na osnovu malog broja parametara. Prethodno je pokazano da se primenom glutopika brzo, i uz malu količinu uzorka, može doći do podataka koji ukazuju i na količinu i kvalitet glutenskog kompleksa.

S obzirom na činjenicu da tradicionalni empirijski reološki testovi imaju utvrđene granične vrednosti koje ukazuju na kvalitet brašna i njegovu pogodnost za određenu namenu, postoji potreba za definisanjem graničnih vrednosti parametara glutopika na osnovu kojih bi se moglo oceniti da li je brašno dobrog ili lošeg kvaliteta. Određivanje granica kvaliteta predstavlja značajan doprinos za sve sektore prerade pšenice, od proizvođača, mlinarske industrije do pekarske industrije. Na osnovu predstavljenih rezultata vrednosti maksimalne torzije od 50 BJ i energije agregacije od 1300 GPJ se

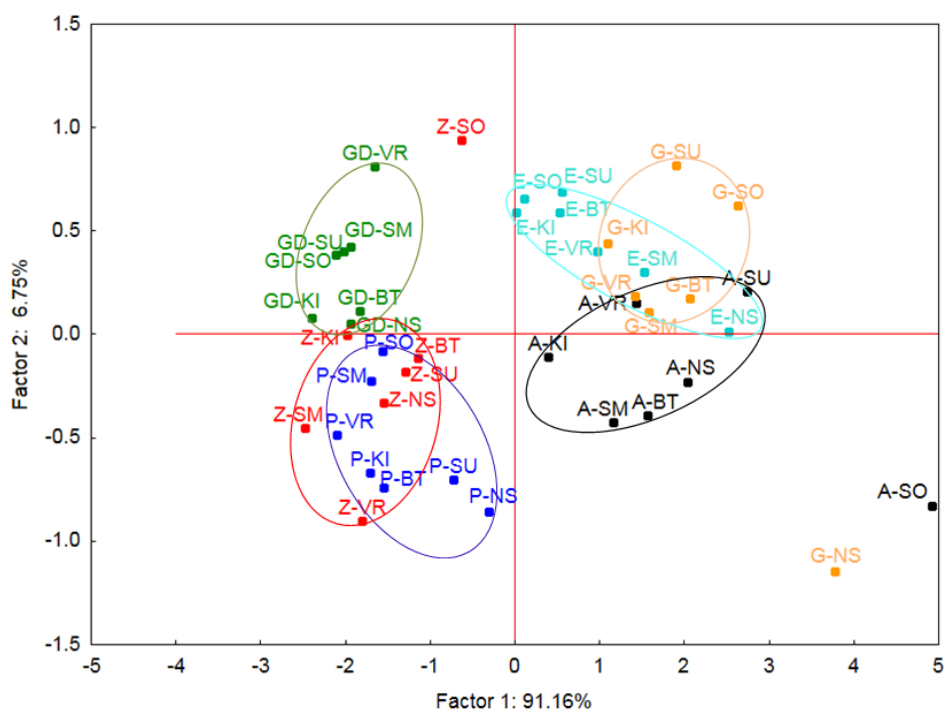
mogu predložiti kao granične vrednosti. Uzorci brašna koji imaju vrednosti MT i AgE veće od predloženih graničnih mogu se okarakterisati kao brašna dobrog kvaliteta i očekuje se da će hleb od takvog brašna biti dobrog kvaliteta, dok se brašna sa vrednostima manjim od predloženih smatraju lošijeg kvaliteta. S obzirom da predložene vrednosti zavise od primenjenih uslova merenja, izbor rastvarača, koncentracija suspenzije i brzina obrtaja lopatice trebaju se uzeti u obzir prilikom procene kvaliteta.

5.1.4. Primena glutopika za klasifikaciju pšenice po sortimentu i lokalitetu gajenja

Kada se posmatraju ispitivane sorte pšenice može se uočiti razdvajanje i raspodela sorti na osnovu vrednosti parametra glutopika (slika 26). Sorte Apač, Etida i Gora su imale vrednosti maksimalne torzije manje od 50 BJ i energije agregacije manje od 1300 GPJ, dok su sorte Gordana, Zvezdana i Pobeda imale vrednosti $MT > 50$ i $AgE > 1300$. Izuzetak je brašno sorte Gordana sa lokaliteta Vršac ($MT = 49$ BU, $AgE = 1249$ GPJ) i brašno sorte Zvezdana sa lokaliteta Sombor ($MT = 43$ BU, $AgE = 1103$ GPJ). Separacija i grupisanje uzoraka na osnovu sortnih karakteristika je bilo očekivano obzirom da su sorte Apač, Etida i Gora pripadale klasi lošijeg ili prvoj podgrupi standardnog kvaliteta. Srednja vrednost parametra W za sortu Apač iznosila je 175×10^{-4} J, za Etidu 195×10^{-4} J, dok je za Goru iznosila 156×10^{-4} J. Obzirom na dobijene jake korelacije između parametra W i MT i AgE, sorte pšenice koje su imale malu jačinu brašna (mala vrednost W), imaju lošiju sposobnost formiranja glutenske mreže. Sorte Pobeda, Zvezdana i Gordana su imale visoke prosečne vrednosti rada deformacije (239 , 236 i 244×10^{-4} J, tim redom) i pripadale su ili klasi dobrog ili drugoj podgrupi standardnog kvaliteta. Izuzetak je uzorak pšenice sorte Pobeda sa lokaliteta Subotica koja je uprkos tome što je pripadala klasi slabog kvaliteta prikazala sposobnost formiranja čvrste strukture glutena ($MT = 50$ BJ, $AgE = 1379$ GPJ). Distribucija i grupisanje ispitivanih sorti dobrog kvaliteta (Pobeda, Zvezdana i Gordana) od sorti lošeg kvaliteta (Apač, Gora i Etida) na osnovu vrednosti parametara glutopika je prikazano i na slici 27.

Diferencijacija uzoraka prema lokalitetu gajenja nije primećena u ovom istraživanju, što ukazuje na to da je razdvajanje uzoraka na osnovu parametara glutopika prvenstveno određeno sortnim osobinama pšenice, odnosno da su sorte karakteristike imale veći

uticaj na reološka svojstva pšeničnog brašna od razlika u mikroklimi pojedinih lokaliteta.



Slika 27. PCA score plot distribucije ispitivanih sorti pšenice

5.1.5. Regresioni modeli za predviđanje reoloških osobina testa i kvaliteta hleba primenom parametara glutopika

Višestruka regresija selekcijom unazad (*eng. backward stepwise linear regression*) je primenjena sa ciljem da se utvrdi koji se od parametara reoloških osobina testa i pokazatelja kvaliteta hleba može predvideti pomoću parametara dobijenih merenjem na glutopiku. Regresioni modeli su razvijeni samo za one pokazatelje koji su na osnovu Pirsonovog koeficijenta korelacije pokazali statistički značajnu korelaciju sa parametrima glutopika. Jednačine višestruke regresije bile su oblika:

$$Y = A_0 + A_1 \times X_1 + A_2 \times X_2 + A_3 \times X_3 + A_4 \times X_4 \quad (8)$$

Gde je Y procenjena vrednost zavisne promenljive; A_0 konstanta; A_i , $i = 1, 2, 3, 4$ su regresioni koeficijenti modela; X_1, X_2, X_3 i X_4 su zavisne promenljive veličine, odnosno X_1 je vreme postizanja maksimuma konzistencije, PMT, X_2 je maksimalna konzistencija, MT, X_3 je energija agregacije, AgE i X_4 je vreme agregacije, AgT. Svi modeli su statistički značajni na nivou $p < 0,05$.

U tabeli 5 su predstavljeni regresioni modeli za predviđanje fizičko-hemijskih i reoloških pokazatelja kvaliteta pšeničnog brašna. Model za sadržaj proteina je objašnjavao 84,5% varijacije zavisne promenljive, što pokazuje da globalni efekat nezavisnih promenljivih ima visok nivo (Cohen, 1988). Model je obuhvatao nezavisne promenljive MT i AgT, čiji je pojedinačni efekat na zavisnu promenljivu veličinu bio mali ($r_{sp} = 0,269$ i $-0,230$). Model za sadržaj vlažnog glutena objašnjava 80,9% varijacije zavisne promenljive ($R_{adj} = 0,809$), što ukazuje da je zajednički uticaj nezavisnih promenljivih velik. Statistički značajni prediktori ovog modela su MT i AgT, pri čemu se bolja predikcija sadržaja vlažnog glutena ostvaruje pomoću MT koji daje veći doprinos varijabilnosti zavisne promenljive. Od svih farinografskih pokazatelja najbolje predviđanje se postiže kod parametra moći upijanja vode, MUV, obzirom da je vrednost prilagođenog koeficijenta determinacije, $R^2_{ad} = 0,805$. Model je obuhvatao parametre AgE i AgT, pri čemu je indikator AgE bolje objašnjavao varijacije u modelu za MUV. Umerena predikcija je postignuta primenom modela za razvoj, stabilitet testa, stepen omekšanja i kvalitetni broj, što pokazuju i vrednosti prilagođenih koeficijenta determinacije ($R^2_{ad j} = 0,524, 0,599, 0,546$ i $0,491$). Regresiona analiza je pokazala da model za indikator žilavosti testa, P, obuhvata tri nezavisne promenljive čiji su regresioni koeficijenti statistički značajni, pri čemu je AgE imao najveći uticaj na P. Ovaj regresioni model je objašnjavao 70.8 % varijacije zavisne promenljive, što pokazuje da je globalni uticaj nezavisnih promenljivih velik. Model za rad deformacije je objašnjavao 59.5 % varijacije zavisne promenljive, dok je MT bio jedini značajan prediktor ($r = 0.778$) modela.

Tabela 6. Regresioni modeli za predviđanje reoloških osobina testa primenom parametara glutopika

Faktor	Parametri jednačine					Opis modela			
	Koeficijenti	SE	p	r _{sp}	R ²	Adj.R ²	SEE	p	
Sadržaj proteina (%)	Konstanta	9,854	0,952	0,000		0,852	0,845	0,480	0,000
	MT	0,064	0,015	0,000	0,269				
	AgT	-0,012	0,003	0,001	-0,230				
Sadržaj vlažnog glutena (%)	Konstanta	22,881	3,364	0,000		0,818	0,809	1,696	0,000
	MT	0,229	0,052	0,000	0,301				
	AgT	-0,030	0,011	0,009	-0,187				
MUV (%)	Konstanta	52,044	2,202	0,000		0,814	0,805	1,470	0,000
	AgE	0,008	0,001	0,000	0,403				
	AgT	-0,024	0,008	0,004	-0,211				
DDT (min)	Konstanta	-5,598	1,578	0,001		0,547	0,524	2,140	0,000
	MT	0,618	0,152	0,000	0,438				
	AgE	-0,015	0,005	0,010	-0,293				
Stab (min)	Konstanta	-10,632	2,526	0,000		0,618	0,599	3,426	0,000
	MT	1,043	0,243	0,000	0,425				
	AgE	-0,023	0,009	0,011	-0,265				
SO (BJ)	Konstanta	132,282	10,595	0,000		0,557	0,546	14,65	0,000
	MT	-1,653	0,233	0,000	-0,746				
KB	Konstanta	-129,94	38,33	0,002		0,516	0,491	51,70	0,000
	MT	14,877	3,69	0,000	0,449				
	AgE	-0,367	0,131	0,008	-0,312				
P (mm H ₂ O)	Konstanta	-15,233	19,099	0,430		0,729	0,708	10,85	0,000
	PMT	0,155	0,063	0,019	0,207				
	AgE	0,073	0,011	0,000	0,543				
	AgT	-0,206	0,095	0,037	-0,182				
W (10 ⁻⁴ J)	Konstanta	24,406	23,697	0,272		0,605	0,595	32,77	0,000
	MT	4,082	0,522	0,000	0,778				
P/L	Konstanta	-0,016	0,169	0,923		0,405	0,390	0,251	0,000
	AgE	0,001	0,000	0,000	0,636				
G' (Pa)	Konstanta	11500	1408	0,000		0,486	0,473	3608	0,000
	AgT	74,699	12,141	0,000	0,697				
G'' (Pa)	Konstanta	10769	2371	0,000		0,539	0,502	1005	0,000
	PMT	-16,186	5,884	0,009	-0,303				
	MT	-90,080	36,722	0,019	-0,270				
	AgT	30,648	8,910	0,001	0,379				
tan δ	Konstanta	0,410	0,007	0,000		0,445	0,431	0,018	0,000
	AgT	-0,0004	0,000	0,000	-0,667				
J ₀ (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	Konstanta	2,850	0,188	0,000		0,359	0,343	0,483	0,000
	AgT	-0,008	0,002	0,000	-0,599				
J _{max} (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)	Konstanta	3,143	1,611	0,058		0,296	0,260	2,184	0,001
	MT	0,451	0,155	0,006	0,391				
	AgE	-0,012	0,006	0,033	-0,297				
J _e /J _{max} (%)	Konstanta	54,928	2,020	0,000		0,146	0,125	2,997	0,013
	AgE	0,004	0,002	0,013	0,382				

MUV, moć upijanja vode; DDT, razvoj testa; Stab, stabilitet testa; SO, stepen omekšanja; KB, kvalitetni broj; P, žilavost testa; W, rad deformacije; P/L, odnos žilavosti i rastegljivosti testa; G', elastični moduo, G'',

viskozni moduo; $\tan \delta$, odnos elastičnog i viskoznog modula; J_0 , početna popustljivost materijala, J_{\max} , maksimalna popustljivost materijala; J_e/J_{\max} , udeo elastične deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema; PMT, vreme postizanja maksimuma torzije; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; AgT, vreme agregacije; SE, standardna greška; r_{sp} , parcijalni koeficijent korelacije; R^2 , koeficijent determinacije; R^2_{adj} , prilagođeni koeficijent determinacije modela; SEE, procenjena standardna greška

Primenom regresionih modela postignuta je slabija predikcija parametara fundamentalnih testova. Naime, modeli za G' , G'' i $\tan \delta$ objašnjavaju 47,3, 50,2 i 43,1% varijacije zavisne promenljive, što ukazuje da je udruženi uticaj prediktora umeren. Najbolje predviđanje ovih modela je postignuto pomoću prediktora AgT. Na osnovu vrednosti R^2_{adj} može se zaključiti da regresioni modeli za J_0 , J_{\max} i J_e/J_{\max} loše objašnjavaju zavisne promenljive, što je bilo i očekivano, obzirom na dobijene loše korelacije između ovih parametara i parametara glutopika. Na osnovu prikazanih regresionih modela može se zaključiti da je od svih pokazatelja reoloških osobina najbolje predviđanje pomoću parametara glutopika postignuto kod reoloških parametara koji zavise od sadržaja proteina kao što su moć upijanja vode i žilavost testa.

S obzirom da model za specifičnu zapreminu hleba objašnjava 52,2 % varijacije zavisne promenljive, regresiona analiza je pokazala da se umereno predviđanje V_{sp} hleba postiže primenom parametara glutopika (tabela 7). Nezavisna promenljiva MT je pozitivni prediktor modela koji ima umereni uticaj na model. Kako se pomoću parametara glutopika postiže umerena predikcija zapremine hleba, neophodno je u model uključiti parametre bar dve brze metode da bi se postiglo uspešnije predviđanje kvaliteta hleba. U istraživanju Bouachra i sar. (2017), model koji je uključivao torziju merenu 15 s pre postizanja maksimuma i sadržaj proteina objašnjavao je 63% varijacije u zapremini hleba. Nasuprot specifičnoj zapremini, teksturne karakteristike sredine hleba se mogu dobro predvideti pomoću parametara glutopika. Model za čvrstoću sredine hleba objašnjavao je 75,6% varijacije zavisne promenljive, dok su modeli za kohezivnost, inicijalnu elastičnost i otpor žvakanju objašnjavali 87,5, 74,2 i 71,3% varijacije zavisnih promenljivih. Umerena predikcija naknadne elastičnosti sredine hleba je postignuta primenom regresionog modela ($R^2_{adj} = 0,565$). Od svih parametara glutopika, prediktor AgT je imao najveći doprinos na većinu modela teksturnih osobina sredine hleba. Najbolje predviđanje inicijalne elastičnosti sredine hleba postignuto je pomoću parametra AgE koji je imao velik uticaj na ovu promenljivu ($r = 0,865$). Na osnovu predstavljenih rezultata može se zaključiti da se primenom glutopik metode može

postići umerena predikcija zapremine hleba, dok je moguće postići veoma dobru predikciju teksture sredine hleba.

Tabela 7. Regresioni modeli za predviđanje kvaliteta hleba primenom parametara glutopika

Faktor	Parametri jednačine			Opis modela			
	Koeficijenti	SE	r_{sp}	R^2	R^2_{adj}	SEE	
V_{sp} (cm ³ g ⁻¹)	Konstanta	2,389	0,270		0,546	0,522	0,373
	MT	0,034	0,006	0,667			
Čvrstoća (g)	Konstanta	13498	3436		0,774	0,756	1456
	PMT	-42,925	8,527	-0,388			
	MT	-224,33	53,215	-0,325			
	AgT	79,932	12,913	0,477			
Kohezivnost	Konstanta	0,4928	0,0439		0,885	0,875	0,0249
	PMT	0,0008	0,0001	0,288			
	AgE	0,0002	0,00003	0,426			
	AgT	-0,0016	0,0002	-0,405			
Inicijalna elastičnost	Konstanta	0,189	0,0125		0,748	0,742	0,0186
	AgE	0,00011	0,00001	0,865			
Naknadna elastičnost	Konstanta	1,0100	0,033		0,608	0,565	0,0121
	PMT	0,0002	0,0001	0,244			
	MT	-0,0030	0,001	-0,243			
	AgE	0,0001	0,00004	0,331			
	AgT	-0,0005	0,0001	-0,464			
Otpor žvakanju (g)	Konstanta	6569	1938		0,734	0,713	821,48
	PMT	-23,323	4,810	-0,406			
	MT	-99,510	30,018	-0,277			
	AgT	45,425	7,284	0,522			

V_{sp} , specifična zapremina hleba; PMT, vreme postizanja maksimuma torzije; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; AgT, vreme agregacije; SE, standardna greška; r_{sp} , parcijalni koeficijent korelacije; R^2 , koeficijent determinacije; R^2_{adj} , prilagođeni koeficijent determinacije modela; SEE, procenjena standardna greška

5.2. Uticaj sorte i lokaliteta na tehnološki kvalitet brašna iz dve proizvodne godine

Nakon utvrđivanja sposobnosti parametara glutopik metode da predvide količinu i kvalitet glutena kao bitnog pokazatelja reoloških i pecivnih svojstava brašna, drugi deo istraživanja u okviru ove disertacije bio je usmeren ka ispitivanju uticaja sorti i lokaliteta

iz dve klimatski različite proizvodne godine na veliki broj različitih reoloških karakteristika brašna i kvalitet hleba. Kako bi se istakao uticaj sortnih karakteristika na kvalitet pšeničnog brašna sve vrednosti parametara reoloških merenja su izražene po sortama, dok se minimalne i maksimalne vrednosti odnose na lokalitete gajenja.

5.2.1. Sadržaj proteina i glutena

Vrednosti sadržaja proteina i glutena, kao i gluten indeksa odabranih sorti pšenice u 2011. i 2012. godini sa različitih lokaliteta su prikazani u tabeli 8 u vidu deskriptivne statistike. Prosečne vrednosti sadržaja proteina sorte Apač u obe proizvodne godine su bile ispod nivoa optimalnog za proizvodnju hleba, obzirom da se sadržaj proteina brašna u opsegu 11-14% smatra prihvatljivim za proizvodnju hleba (Stojceska i sar., 2007). Ostale ispitivane sorte su imale optimalan sadržaj proteina u obe godine, dok se Gordana izdvojila po najvećem sadržaju proteina ali i najmanjoj varijabilnosti ovog pokazatelja po lokalitetima u 2011. godini. Smatra se da je minimalni sadržaj vlažnog glutena za proizvodnju hleba 25% (Mikos i Podolska, 2012), što ukazuje da su sve ispitivane sorte imale zadovoljavajući sadržaj glutena u 2011. i 2012. godini. Međutim, postoje razlike u kvantitetu glutena između ispitivanih sorti. Apač je u obe proizvodne godine imao najmanju koncentraciju glutena dok je Gordana imala najveći sadržaj glutena. Gordana je i u pogledu sadržaja glutena imala najmanju varijabilnost ovog parametra po lokalitetima u 2011. godini, dok je od domaćih sorti najmanje koeficijente varijacije za sadržaj proteina i glutena u 2012. godini po lokalitetima imala Pobeda. Iako je u 2012. godini zabeležen toplotni stres, u toj godini nije došlo do povećanja sadržaja proteina uprkos očekivanom prema literaturnim podacima (Labuschange i sar., 2009; Daniel i Triboj, 2000; Hrušková i Švec, 2009). Prikazani rezultati su u saglasnosti sa istraživanjem Johnson i sar. (1972) u kom veće prosečne temperature tokom nalivanja zrna nisu imale uticaj na sadržaj proteina.

Gluten indeks je indikator kvaliteta glutena i odnosa osnovnih frakcija glutena: glijadina i glutenina (Collar i sar., 2007). Posmatrajući vrednosti gluten indeksa, mogu se uočiti velike vrednosti ovog pokazatelja za sve ispitivane sorte. Smatra se da brašna čije su vrednosti gluten indeksa u opsegu $75 < GI < 90$ imaju optimalne osobine za proizvodnju hleba. Brašna čija vrednost gluten indeksa prelazi 95 su isuviše jaka za proizvodnju

hleba, dok se brašna sa vrednostima GI ispod 60 smatraju slabim (Ćurić i sar., 2001). U odnosu na 2011. godinu, prosečna vrednost GI se u 2012. godini smanjila kod Pobede, Zvezdane i Apača a povećala kod Gordane. Uprkos najmanjem sadržaju proteina i glutena, Apač je u odnosu na ostale sorte ispoljio najveće vrednosti gluten indeksa u obe proizvodne godine. Kvalitet pšeničnih proteina određen kao GI u velikoj meri zavisi od sortnih osobina (Ćurić i sar., 2001) ali i od faktora spoljašnje sredine (Garrido-Lestache i sar., 2004). Moguće su značajne varijacije u vrednostima GI kod iste sorte gajene pri različitim klimatskim uslovima (Ćurić i sar., 2001). Količina proteina pšenice je uslovljena spoljašnjim faktorima i uslovima gajenja, dok je kvalitet proteina genetski određen (Pasha i sar., 2007).

Tabela 8. Sadržaj proteina i glutena i kvalitet glutena ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	Sadržaj proteina (%)		Sadržaj vlažnog glutena (%)		Gluten indeks, GI	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	10,2	10,1	25,7	25,8	95,7	95,9
	Min	8,1	9,4	18,7	23,6	92,0	89,9
	Max	11,7	11,0	31,2	28,8	98,6	99,0
	CV (%)	13,1	6,0	16,8	7,7	3,3	1,9
Pobeda	Srednje	11,9	12,1	31,6	31,9	92,0	87,6
	Min	10,7	10,8	27,2	27,9	83,0	78,0
	Max	12,9	13,5	35,0	36,4	97,5	93,0
	CV (%)	7,5	8,10	9,0	9,9	6,7	6,2
Zvezdana	Srednje	12,0	12,2	31,7	32,8	86,1	81,9
	Min	10,8	9,5	28,3	23,6	74,0	65,0
	Max	12,9	14,6	35,1	40,3	95,3	96,0
	CV (%)	6,4	13,1	7,5	16,2	9,0	13,4
Gordana	Srednje	12,8	12,7	34,0	33,1	83,0	92,0
	Min	12,3	9,4	31,4	22,8	79,0	83,0
	Max	13,2	15,5	36,1	41,6	88,0	98,0
	CV (%)	2,3	17,1	4,2	20,5	4,0	6,4

5.2.2. Ispitivanje sposobnosti želatinizacije

Vrednosti maksimalnog viskoziteta (MV) ispitivanih uzoraka brašna prikazane su u tabeli 9. Smatra se da je optimalni maksimalni viskozitet za pekarsku proizvodnju od 450 do 650 AJ (Kaludžerski i Filipović, 1988). U 2011. godini Pobeda i Gordana su imale vrednosti maksimalnog viskoziteta u granicama optimuma (521 i 601 AJ), dok su se Apač i Zvezdana izdvojile po znatno većim prosečnim vrednostima maksimalnog viskoziteta (1504 i 1212 AJ), prevazilazeći optimum. Promene u maksimalnom viskozitetu ispitivanih uzoraka isključivo su zavisile od sortnih osobina pšenice. U 2012. godini je kod svih sorti došlo do značajnog povećanja prosečnih vrednosti MV, pri čemu se vrednost MV na pojedinim lokalitetima kretala i do 2000 AJ. Gordana je u 2012. godini imala najmanju prosečnu vrednost maksimalnog viskoziteta (693 AJ) ali i najpovoljniju za pekarsku proizvodnju (Konopka i sar., 2004). Prema dugogodišnjim istraživanjima utvrđeno je da se kvalitet sorti sa teritorije Srbije značajno promenio usled izmenjenih makro- i mikroklimatskih faktora. Naime, zbog čestih toplotnih stresova došlo je do promene u sintezi skrobne komponente pšenice, što je za posledicu imalo sintezu znatno većeg broja velikih granula u odnosu na male skrobne granule. Promene u odnosu broja i zapremine velikih i malih skrobnih granula su jedan od razloga značajnih promena u vrednosti maksimalnog viskoziteta (Torbica i sar., 2010; Torbica i sar., 2011). Kako je 2012. godina bila okarakterisana kao godina sa značajno većim brojem tropskih dana, veoma visoke vrednosti maksimalnog viskoziteta koje su iznad opsega optimalnih vrednosti za pekarsku proizvodnju mogu biti posledica izmenjene sinteze skrobne komponente zrna pšenice što je imalo uticaj na veličinu, raspodelu veličina i način pakovanja čestica skroba.

Tabela 9. Vrednosti maksimalnog viskoziteta ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	Maksimalni viskozitet (AJ)	
		2011	2012
Apač	Srednje	1504	1718
	Min	1430	1490
	Max	1585	2000
	CV (%)	4,1	10,1
Pobeda	Srednje	521	1033
	Min	280	800
	Max	730	1350
	CV (%)	38,5	19,2
Zvezdana	Srednje	1213	1539
	Min	1000	1370
	Max	1700	1680
	CV (%)	19,3	7,2
Gordana	Srednje	601	693
	Min	390	490
	Max	700	1150
	CV (%)	17,6	35,6

5.2.3. Ispitivanje kvaliteta brašna farinografom

Vrednosti farinografskih pokazatelja kvaliteta ispitivanih uzoraka brašna prikazani su tabeli 10. Vrednosti moći upijanja vode su se u 2011. godini kretale u opsegu od 53,2 do 64,3%, dok su se u 2012. godini kretale u opsegu od 54,1 do 71,1 %,ukazujući na različitu sposobnost apsorpcije vode od strane osnovnih komponenti brašna. Smatra se da je za potrebe proizvodnje hleba optimalna vrednost moći upijanja vode u opsegu 60-64% (Stojceska i sar., 2007). U obe proizvodne godine Pobeda, Zvezdana i Gordana su imale optimalne vrednosti MUV, dok se Apač izdvojio po vrednostima manjim od optimalnih. Ako se uzme u obzir da na MUV utiču sadržaj i kvalitet glutenskih proteina, manje vrednosti MUV kod brašna ove sorte mogu biti posledica malog sadržaja proteina i glutena. Takođe, domaće sorte koje su se izdvojile po većim vrednostima MUV u proseku su imale i veliku koncentraciju proteina i glutena. Voda ima ulogu plastifikatora u sistemu testa, što znači da voda slabi strukturu testa. Veća moć upijanja vode ukazuje na sposobnost brašna da upije veću količinu vode da bi postiglo standardnu

konzistenciju, stoga će testo od takvog brašna imati jače osobine (Abu Hammad i sar., 2012). U 2012. godini prosečne vrednosti MUV kod svih sorti su bile veće. Kako nisu utvrđene razlike u koncentraciji proteina u 2012. godini, povećane vrednosti MUV mogu biti posledica povećanog sadržaja oštećenog skroba.

Parametri DDT i Stab su kvalitativni parametri glutena koji opisuju viskoelastične osobine formiranog glutenskog kompleksa. Ispitivane sorte su se značajno razlikovale u pogledu razvoja testa. U obe proizvodne godine Apač je imao najkraće vreme razvoja dok se Gordana izdvojila po najdužem vremenu razvoja. Testa od jakog brašna imaju duže vreme mešenja, usled gustog pakovanja čestica brašna i sporije penetracije vode (Hoseney i sar., 1985). Razlike u stabilitetu među ispitivanim sortama su takođe uočene u ovom radu. Smatra se da slaba brašna imaju stabilitet < 3 min, umereno jaka 5,5–7,0 min, dok jaka brašna karakteriše stabilitet u opsegu 7,5–9,0. Zvezdana i Apač su na osnovu vrednosti stabiliteta testa definisane kao sorte jakih i umereno jakih brašna. Izuzetno velike vrednosti stabiliteta za sorte brašna Pobeda i Gordana ukazivale su da su brašna ovih sorti veoma jaka i da formiraju testa stabilne strukture. Rezultati su u saglasnosti sa Pomeranz (1988) koji navodi da jake sorte karakteriše veća sposobnost upijanja vode, duži razvoj i veća stabilnost, dok je manji stabilitet odlika slabih sorti. Testa od jakog brašna duže zadržavaju stabilnu strukturu usled dužeg mešenja. Slabije brašno karakteriše kraće vreme potrebno za formiranje glutenske strukture i brzo narušavanje strukture nakon postizanja željene konzistencije testa (Weipert, 2006). Najmanju varijabilnost u pogledu vremena razvoja i stabiliteta testa u 2011. godini je ispoljila sorta Gordana, ukazujući na konzistentni kvalitet brašna, dok je u 2012. godini od brašna dobrog kvaliteta najkonzistentniji kvalitet imala Zvezdana. Lokalitet gajenja pšenice predstavlja značajan faktor koji utiče na stabilitet testa (Abu Hammad i sar., 2012). U obe proizvodne godine najmanji najmanji stabilitet je zabeležen na lokalitetu Bačka Topola a najveći na lokalitetu Sombor.

Stepen omekšanja je farinografski pokazatelj koji se najčešće uzima u obzir prilikom procene kvaliteta brašna. Primećen je širok opseg vrednosti SO za ispitivane sorte kroz obe proizvodne godine, koji se kretao od 5-105 BJ. Prema literaturnim podacima, za proizvodnju hleba zadovoljavajućih karakteristika vrednost stepena omekšanja treba da bude manja od 75 FJ (Stojceska i sar., 2007). Sve sorte su imale zadovoljavajuće srednje vrednosti SO, dok se Gordana izdvojila po najmanjim vrednostima ovog parametra.

Tabela 10. Farinografski pokazatelji kvaliteta brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	MUV (%)		DDT (min)		Stab (min)		SO (BJ)		KB	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	55,0	56,5	3,7	3,3	7,0	4,9	70	58	82	76
	Min	53,2	54,1	1,5	1,5	1,5	1,5	50	40	30	40
	Max	58,0	57,6	7,0	4,5	10,5	6,5	105	70	115	90
	CV (%)	3,2	2,5	66,1	43,2	47,2	36,6	34,0	17,7	38	25,8
Pobeda	Srednje	60,4	64,3	6,1	5,9	10,4	11,6	48	54	126	131
	Min	58,8	60,3	1,5	3,0	4,0	6,0	25	25	45	100
	Max	61,9	67,1	8,5	7,5	14,5	19,5	60	75	185	225
	CV (%)	2,1	3,9	48,6	26,4	38,3	35,5	24,8	31,7	41,2	33,6
Zvezdana	Srednje	61,8	66,4	4,1	3,9	8,4	5,9	59	65	85	76
	Min	60,1	63,7	2,0	2,0	4,0	3,0	35	30	50	40
	Max	64,3	71,1	6,5	5,0	16,5	8,0	80	90	110	110
	CV (%)	2,5	4,1	37,1	24,8	47,6	28,6	28,2	32,0	22,8	29,1
Gordana	Srednje	60,7	65,5	9,3	7,3	17,3	13,2	32	38	217	172
	Min	59,1	62,2	5,0	1,5	14,5	5,0	10	5	135	45
	Max	62,4	67,2	13,0	11,0	20,5	21,0	45	65	375	280
	CV (%)	1,9	2,7	29,5	60,0	13,4	39,1	47,4	57,7	42,8	52,2

MUV, moć upijanja vode; DDT, razvoj testa; Stab, stabilitet testa; SO, stepen omekšanja; KB, kvalitetni broj

Opseg vrednosti kvalitetnog broja, KB, je u obe proizvodne godine bio širok. U 2011. godini vrednost KB je bila u opsegu od 30 do 375, dok je u 2012. godini taj opseg bio od 40 do 280. Apač se u obe godine izdvojio po najmanjim vrednostima KB, dok je Gordana imala u proseku najveće vrednosti ovog pokazatelja.

Iako su varijacije u farinografskim pokazateljima primarno posledica sortne pozadine gajenih uzoraka pšenice, postoji značajan uticaj lokaliteta. Naime, uzorci gajeni u Sombor su u obe proizvodne godine ispoljili najbolji kvalitet u odnosu na uzorke gajene na drugim lokalitetima, dok su uzorci iz Bačka Topola u obe godine imali najlošiji kvalitet određen farinografom. U 2012. godini je na lokalitetu Bačka Topola u maju u fazi nalivanja zrna zabeležena mala količina padavina, dok je u julu, neposredno pored žetvu

količina padavina bila značajno velika, što je moglo dovesti do nepovoljne polimerizacije proteina i promena u kvalitetu (Malik, 2009).

5.2.4. Ispitivanje kvaliteta brašna ekstenzografom

Ekstenzografski pokazatelji kvaliteta brašna pšenice iz 2011 i 2012. godine prikazani su u tabeli 11. Na osnovu prikazanih rezultata može se uočiti da se ispitivane sorte brašna nisu značajno razlikovale u pogledu vrednosti energije, E, što je ukazivalo na to da sortiment pšenice nije imao uticaj na vrednosti ovog parametra, već je isključivo zavisio od lokaliteta gajenja. Naime, uzorci sorte pšenice sa lokaliteta Subotica su ispoljili najmanje vrednosti energije testa ukazujući na loš kvalitet brašna pšenice na ovom lokalitetu. Subotica se od ostalih lokaliteta izdvojila po najvećoj količini padavina u julu mesecu, neposredno pred žetvu, što je moglo uzrokovati manje vrednosti E. U 2012. godini vrednosti E su takođe bili posledica uticaja lokaliteta gajenja. I u ovoj godini su najlošiji pokazatelji kvaliteta bili u Subotici (najveća količina padavina u julu), dok su uzorci gajeni u Kikindi u proseku imali najbolji kvalitet testa.

Odnos otpora testa prema rastezanju i rastegljivosti predstavlja odnos između plastične i elastične komponente testa. Smatra se da testa sa vrednošću odnosnog broja, O_5/r , u opsegu 1,5-3 imaju najpovoljniji odnos jačine i rastegljivosti testa što je neophodno za ceo proces proizvodnje hleba. Sve sorte su imale optimalne vrednosti odnosnog broja, osim Apača iz 2011. godine koji je imao nešto nižu vrednost. Brašna sorte Gordana se na osnovu vrednosti ekstenzografskih pokazatelja kvaliteta mogu okarakterisati kao jaka brašna sorte stabilnog tehnološkog kvaliteta obzirom da su su koeficijenti varijacije za posmatrane pokazatelje kod Gordane bili najmanji u obe proizvodne godine.

Pokazatelji jačine testa su bili lošiji u 2012. godini, ukazujući na značajan uticaj klimatskih faktora tokom te proizvodne godine. Kako je u 2012. godini zabeležen toplotni stres, slabljenje jačine testa može biti posledica visokih temperatura tokom faze nalivanja. Slabljenje strukture testa usled toplotnog stresa zabeleženo je i u literaturnim navodima (Blumenthal i sar al., 1995; Wrigley i sar., 1994). Razlike u kvalitetu proteina u obe godine uprkos sličnom prosečnom sadržaju proteina kod sorti se mogu povezati sa relativnim razlikama u sadržaju različitih glijadinskih i gluteninskih podjedinica ili

razlikama u sposobnosti agregacije proteina (Blumenthal i sar., 1995; Don i sar., 2005; Johansson i Svensson, 1998).

Tabela 11. Ekstenzografski pokazatelji kvaliteta brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	E (cm ²)		O ₅ (BJ)		r (mm)		O ₅ /r	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	82	81	223	312	171	141	1,28	2,21
	Min	15	25	65	125	154	133	0,40	0,91
	Max	136	144	350	460	179	150	2,00	3,22
	CV (%)	61,6	47,4	50,1	36,3	6,1	4,1	47,7	36,6
Pobeda	Srednje	82	58	246	247	165	143	1,53	1,81
	Min	34	32	110	120	144	121	0,67	0,75
	Max	104	83	390	440	185	174	2,71	3,55
	CV (%)	32,0	36,1	36,9	42,3	8,5	13,1	44,4	52,4
Zvezdana	Srednje	80	63	270	281	160	139	1,72	2,06
	Min	36	32	140	150	144	121	0,88	1,01
	Max	115	92	370	390	183	152	2,43	2,80
	CV (%)	32,3	33,0	32,2	28,1	9,2	8,7	36,9	31,7
Gordana	Srednje	94	69	332	328	145	127	2,30	2,61
	Min	76	59	240	260	139	117	1,54	1,84
	Max	119	80	460	380	156	141	3,31	3,25
	CV (%)	15,6	10,1	21,8	14,1	4,3	7,1	24,9	19,0

E, energija; O₅, otpor testa; r, rastegljivost testa; O₅/r, odnosni broj

5.2.5. Ispitivanje kvaliteta brašna alveografom

Vrednosti alveografskih pokazatelja reoloških osobina testa su prikazane u tabeli 12. Bordes i sar. (2008) navode da se žilavost brašna, P, standardnog kvaliteta kreće u opsegu 60-80, brašna veoma dobrog kvaliteta 80-100, dok brašna ekstra jakog kvaliteta imaju žilavost > 100 mmH₂O. Apač se na osnovu vrednosti žilavosti testa u 2011. godini klasifikovao kao sorta lošeg kvaliteta, dok su Pobeda, Zvezdana i Gordana pripadale sortama veoma dobrog kvaliteta. U 2012. godini prosečna žilavost testa se povećala kod svih sorti, pri čemu su Zvezdana i Gordana imale velike vrednosti na osnovu kojih su

definisane kao veoma jake sorte, a Apač kao sorta standardnog kvaliteta. Gordana je u obe proizvodne godine imala najujednačeniju žilavost testa, što se može zaključiti na osnovu malih vrednosti koeficijenta varijacije za posmatrani parametar.

Tabela 12. Alveografski pokazatelji kvaliteta brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	P (mmH ₂ O)		L (mm)		W (10 ⁻⁴ J)		P/L	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	53	63	111	98	169	182	0,48	0,68
	Min	39	49	76	76	86	134	0,39	0,40
	Max	66	89	134	121	227	249	0,58	1,06
	CV (%)	21,7	23,2	19,3	18,2	38,0	23,4	13,6	36,6
Pobeda	Srednje	90	97	92	71	239	209	1,01	1,44
	Min	68	71	65	52	158	166	0,80	0,82
	Max	112	122	105	87	274	249	1,72	2,35
	CV (%)	16,0	19,1	15,2	17,2	16,9	14,6	32,7	36,2
Zvezdana	Srednje	98	111	78	64	236	218	1,25	2,11
	Min	83	89	70	33	173	154	1,13	0,98
	Max	111	147	88	94	272	259	1,51	3,42
	CV (%)	11,1	20,5	8,8	37,4	15,9	15,2	11,9	54,2
Gordana	Srednje	81	112	96	60	244	234	0,85	1,93
	Min	70	94	82	39	181	149	0,73	1,46
	Max	91	127	112	71	291	264	1,08	2,41
	CV (%)	9,4	10,5	11,7	20,1	14,5	18,2	13,6	20,1

P, žilavost testa; L, rastegljivost testa; W, rad deformacije; P/L, odnos žilavosti i rastegljivosti testa

Rastegljivost testa se kretala u opsegu od 39 do 121 mm, ukazujući na različitu sposobnost rastezanja testa. Testo treba da poseduje balans između elastičnosti (jačine) i rastegljivosti koji je definisan kao odnos P/L. Testo poseduje odgovarajući odnos jačine i rastegljivosti testa ukoliko je vrednost P/L u opsegu 0,5–0,8 (Bordes i sar., 2008). U 2011. godini optimalna vrednost P/L postignuta je kod Gordane, a u 2012. godini kod Apača. Pobeda i Zvezdana su imale velike vrednosti P/L što je ukazivalo na veoma jaka testa umerene rastegljivosti. U 2012. godini je zapaženo smanjenje rastegljivosti testa, koje je dovelo do povećanog odnosa P/L u posmatranoj godini. Promene u odnosu jačine

i rastegljivosti testa se mogu pripisati izrazito visokim temperaturama tokom faze nalivanja koje su uticale na kvalitet glutenskih proteina.

Rad deformacije, W , je indikator jačine testa koji se najviše primenjuje u komercijalne svrhe za procenu kvaliteta brašna. Na osnovu vrednosti W može se izvršiti klasifikacija pšeničnog brašna prema kvalitetu na: brašna slabog ($W < 170 \times 10^{-4}$ J), standardnog ($170 \times 10^{-4} \text{ J} < W < 230 \times 10^{-4} \text{ J}$) i dobrog kvaliteta ($W > 230 \times 10^{-4} \text{ J}$) (Bordes i sar., 2008). Apač na osnovu vrednosti W pripada brašnima slabijeg do standardnog kvaliteta. Pobeda i Zvezdana su u 2011. godini pripadale klasi pšenice dobrog kvaliteta a u 2012.godini klasi pšenice standardnog kvaliteta, dok je Gordana u obe godine definisana kao sorta veoma dobrog kvaliteta, što ukazuje da je zadržala odgovarajući tehnološki kvalitet bez obzira na proizvodnu godinu.

5.2.6. Ispitivanje kvaliteta brašna pomoću miksolaba

Pokazatelji kvaliteta brašna određeni miksolabom prikazani su u tabeli 13. Na osnovu prikazanih podataka primetan je širok opseg vrednosti MUV kod ispitivanih sorti. U 2011. vrednosti MUV_m su se kretale u opsegu 49,6–60,0%, dok su u 2012. godini bile u opsegu 53,0–65,2%, ukazujući na različitu sposobnost upijanja vode od strane skrobne i proteinske komponente brašna. Moć upijanja vode brašna zavisi od sadržaja i kvaliteta proteina i glutena, stepena oštećenosti skroba, veličine čestica brašna, itd. (Dapčević i sar., 2009). Razlike u vrednosti MUV_m među sortama mogu biti posledica različitog sadržaja proteina i glutena. Naime, Apač koji je imao najmanju koncentraciju proteina i glutena izdvojio se po najmanjem MUV_m , dok su Pobeda, Zvezdana i Gordana koje su imale veliki sadržaj glutena imale i znatno bolja svojstva upijanja vode.

Tabela 13. Miksolab parametri brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	MUV _m (%)		DDT _m (min)		Stab _m (min)		C2-C1 (Nm)		C5-C4 (Nm)	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	51,9	53,0	2,18	2,59	9,57	9,54	0,59	0,61	1,28	1,15
	Min	49,6	53,0	0,92	1,23	4,72	9,4	0,54	0,64	0,89	1,48
	Max	55,2	50,4	4,57	5,29	11,63	10,09	0,67	0,62	1,48	0,94
	CV (%)	4,0	4,3	56,5	73,20	25,8	10,8	9,0	7,6	15,3	17,9
Pobeda	Srednje	57,6	60,7	7,07	4,22	9,62	8,07	0,60	0,58	0,70	0,74
	Min	55,2	57,8	5,63	1,58	8,82	5,73	0,57	0,54	0,6	0,46
	Max	60,0	63,9	8,22	5,78	11,47	9,44	0,64	0,64	0,82	0,88
	CV (%)	2,8	3,5	13,5	33,5	10,0	18,0	4,2	7,1	10,3	18,4
Zvezdana	Srednje	58,1	61,2	6,17	3,19	9,91	7,27	0,58	0,61	0,83	1,06
	Min	56,8	56,5	1,32	1,17	9,15	4,98	0,50	0,58	0,53	0,845
	Max	59,3	65,2	8,85	4,98	11,15	8,60	0,62	0,68	1,27	1,34
	CV (%)	1,8	5,0	40,4	43,8	6,3	19,4	7,1	5,5	27,5	19,4
Gordana	Srednje	58,4	62,2	6,27	4,27	8,60	7,97	0,65	0,64	0,61	0,64
	Min	57,0	57,6	4,97	1,08	6,78	5,82	0,61	0,60	0,56	0,555
	Max	59,6	64,7	8,02	6,15	9,83	9,50	0,67	0,68	0,70	0,74
	CV (%)	1,5	3,9	15,3	45,1	12,5	17,8	3,4	4,4	7,2	10,2

MUV_m, moć upijanja vode; DDT_m, razvoj testa; Stab_m, stabilitet testa, C2-C1, razlika između torzije C1 i torzije na početku zagrevanja razlika maksimuma; C5-C4; razlika između maksimuma torzije nakon perioda hlađenja na 50 °C (C5) i torzije u tački (C4)

Vreme koje protekne od početka analize do postizanja maksimuma torzije od 1,1 Nm se takođe razlikovalo među ispitivanim sortama. Kod glutena dobrog kvaliteta vreme razvoja je duže nego kod glutena lošeg kvaliteta. Brašna odličnog kvaliteta imaju vreme razvoja u opsegu 3–8 min i stabilitet u opsegu 8–10 minuta (Dubat i Boinot, 2012). U obe proizvodne godine Apač se u odnosu na ostale sorte izdvojila po znatno manjim vrednostima DDT_m, dok su domaće sorte imale zadovoljavajuće vrednostima. Pored uticaja sortimenta, primetan je izvestan uticaj lokaliteta na vrednosti DDT_m. U 2011. godini sorte Apač i Zvezdana su na lokalitetu Sombor ispoljile izrazito male vrednosti razvoja testa (1,5 min), dok je u 2012. godini na lokalitetu Bačka Topola došlo do smanjenja vrednosti DDT_m. U poređenju sa 2011. godinom, u 2012. godini je došlo do smanjenja prosečnih vrednosti DDT_m kod sorti dobrog kvaliteta (Pobeda, Zvezdana i Gordana) dok se kod Apača prosek održao na približnom nivou. Razlog smanjenja

razvoja testa je posledica uticaja lokaliteta i različitih sposobnosti sorte da se prilagođava kvalitetu spoljašnjih faktora. Kada se porede vrednosti stabiliteta testa, $Stab_m$, može se uočiti da su ispitivane sorte ispoljile dobru stabilnost, što ukazuje na bolji kvalitet i otpornost glutena na primenjene mehaničke sile tokom mešenja. Najmanju vrednost koeficijenta varijacije u 2011. godini imala je Gordana, dok je u 2012. godini najujednačeniju stabilnost testa na svim lokalitetima imao Apač. Kako su prosečne vrednosti indikatora slabljenja proteinske strukture, C_2-C_1 , bile približne u obe godine, i nisu se značajno razlikovale među sortama, može se smatrati da su ispitivane sorte imale prilično stabilnu proteinsku strukturu.

Što se tiče indikatora kvaliteta i promena u skrobnoj komponenti brašna, uočeno je da se Apač izdvojio po najvećim vrednostima razlike između C_5 i C_4 . C_5-C_4 je indikator koji ukazuje na otpornost na retrogradaciju skrobnog makromolekula i što je vrednost ovog indikatora veća, manja je otpornost na retrogradaciju. Nasuprot Apaču koji je pokazao malu otpornost na retrogradaciju skroba, brašna sorte Pobeda, Zvezdana i Gordana su pokazala veću otpornost na retrogradaciju skroba (manje C_5-C_4). Gordana je u obe godine imala najmanje vrednosti razlike C_5-C_4 , ali i najmanje vrednosti CV, ukazujući na konzistentni kvalitet uprkos različitim mikroklimatskim uslovima.

5.2.7. Ispitivanje kvaliteta brašna pomoću glutopika

Pokazatelji kvaliteta glutena dobijenih merenjem na glutopiku za ispitivane uzorke brašna iz dve proizvodne godine prikazani su u tabeli 14. Kao što je objašnjeno u poglavlju 5.1. brašna dobrog kvaliteta imaju sposobnost da za kratko vreme formiraju jaku kohezivnu glutensku strukturu, dok brašna lošijeg kvaliteta zahtevaju duže vreme da formiraju strukturu glutena (Diez Gonzales, 2014; Sissons, 2016). Širok opseg vrednosti je primećen kod svih parametara glutopika. Vrednosti vremena postizanja maksimuma torzije, PMT, su bile u opsegu od 53 do 315 s, dok je vreme agregacije, AgT, bilo u opsegu od 26 do 242 s. Što se tiče indikatora jačine glutena, maksimalna torzija, MT, se kretala u opsegu od 22 do 69 BJ, dok je energija agregacija, AgE bila u opsegu od 629 do 1892 GPJ, što ukazuje na različitu jačinu formiranog glutena. Apač je u obe godine imao najmanje vrednosti MT i AgE, i najduže vreme postizanja maksimuma pika i vreme agregacije. Ova sorta je na svim ispitivanim lokalitetima ispoljila vrednosti MT

manje od 50 BJ i AgE manje od 1300 GPJ, što je ukazivalo na lošiji kvalitet glutena. S druge strane, Pobeda, Zvezdana i Gordana su se u obe proizvodne godine izdvojile kao sorte koje imaju sposobnost da za kratko vreme formiraju glutensku mrežu (niže vrednosti parametara PMT i AGT) koja je kohezivna i jaka (visoke vrednosti MT > 50 BJ i AgE > 1300 GPJ). Od ispitivanih sorti Gordana je imala najniže vrednosti koeficijenta varijacije za sve parametre glutopika, što je ukazivalo na konzistentni kvalitet ove sorte uprkos različitim mikroklimatskim uslovima na ispitivanim lokalitetima.

Tabela 14. Glutopik parametri brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta		PMT (s)		MT (BJ)		AgE (GPJ)		AgT (s)	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	247	171	35	42	911	1118	163	108
	Min	190	122	22	37	629	965	123	75
	Max	315	236	43	45	1101	1217	242	171
	CV (%)	18,7	27,8	21,8	7,5	20,7	8,1	25,7	35,4
Pobeda	Srednje	130	90	54	59	1446	1541	85	49
	Min	104	53	50	53	1369	1386	75	31
	Max	179	115	57	69	1510	1738	106	70
	CV (%)	21,4	25,2	4,1	10,4	4,6	9,5	14,3	34,6
Zvezdana	Srednje	109	72	51	59	1407	1614	77	40
	Min	90	55	43	42	1103	1111	58	32
	Max	134	103	57	68	1602	1892	103	66
	CV (%)	14,7	21,2	9,8	14,3	12,8	16,0	21,9	30,6
Gordana	Srednje	87	70	54	60	1337	1424	52	37
	Min	80	62	49	56	1249	1304	48	26
	Max	100	81	58	64	1432	1539	63	45
	CV (%)	7,8	12,0	5,2	5,7	4,5	6,3	11,1	17,6

PMT, vreme postizanja maksimuma torzije; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; AgT, vreme agregacije

5.2.8. Ispitivanje kvaliteta brašna fundamentalnom reologijom

Na osnovu prikazanih rezultata fundamentalnih reoloških merenja (tabela 15) može se uočiti širok raspon vrednosti elastičnog modula koji se u 2011. godini kretao od 11945 do 24680 Pa, a u 2012. godini od 9275 do 24690 Pa. Takođe je primetna neusaglašenost

sa rezultatima pokazatelja empirijskih reoloških merenja. Naime, domaće sorte koje su na osnovu empirijskih reoloških indikatora kvaliteta pokazale odličan kvalitet brašna i glutena, imale su najmanju jačinu testa, dok je kod Apača, koji je imao najlošije pokazatelje kvaliteta brašna, primećena najveća jačina testa. Kontradiktornost rezultata se može objasniti činjenicom da varijacije u sadržaju i kvalitetu proteina nisu jedini faktori koji utiču na razlike u reološkim karakteristikama testa. Interakcije između proteina su dominantne pri uslovima velikih deformacija kakve se primenjuju u empirijskim reološkim merenjima, dok su u uslovima malih deformacija dominantne interakcije između skroba koji doprinosi viskoznosti testa i ima ulogu plastifikatora testa (Khatkar i Schofield, 2002a; Khatkar i Schofield, 2002b). Ovaj podatak ukazuje da veće vrednosti G' kod Apača nisu odraz kvaliteta proteina već posledica interakcija gluten-skrob između samih skrobnih granula i osobina skroba. Rezultati su u saglasnosti sa drugim istraživanjima (Weipert, 1988; Weipert, 1992; Schober i sar., 2002; Autio i sar., 2001) prema kojima brašna dobrog kvaliteta imaju manje vrednosti G' , dok je suprotan trend zabeležen kod drugih autora (Amemiya i Menjivar, 1992; Mani i sar., 1992; Attenburrow i sar., 1990; Janssen i sar., 1996). Tronsmo i sar. (2003) su ustanovili da testa sa većim sadržajem proteina imaju niže vrednosti G' i G'' ali više vrednosti $\tan\delta$. Kod Apača je u 2012. godini prosečna vrednost elastičnog modula bila veća a vrednost viskoznog modula manja nego u 2011. godini, što je ukazivalo na povećanje elastičnih osobina testa u 2012. godini. Suprotan trend je primećen kod domaćih sorti, kod kojih se jačina testa smanjila a povećala rastegljivost. Među ispitivanim sortama nije bilo značajnih razlika u parametru $\tan\delta$, što je ukazivalo da stepen umreženosti ne zavisi od sortnih karakteristika pšenice.

Širok opseg vrednosti parametra J_{\max} je primećen u obe proizvodne godine. Vrednost ovog pokazatelja se u 2011. godini kretala od 5,88 do 17,17 10^{-5} Pa⁻¹, dok se u 2012. godini kretala od 5,56 do 24,43 10^{-5} Pa⁻¹. Najmanje vrednosti J_{\max} imala je sorta Apač, što je ukazivalo da testo od brašna ove sorte pšenice ima veću otpornost na primenjeni napon, dok su domaće sorte imale značajno velike prosečne vrednosti J_{\max} i malu otpornost na primenjeni napon. Kod domaćih sorti je u 2012. godini došlo do smanjenja jačine testa usled povećanja prosečnih vrednosti J_{\max} , dok se kod Apača se prosečna vrednost J_{\max} smanjila u odnosu na 2011. godinu, što je ukazivalo na povećanje jačine testa. Promene u vrednostima ovog parametra mogu biti posledica izmenjenog kvaliteta

proteiske i skrobne frakcije usled delovanja visokih temperatura u proizvodnoj 2012. godini. S obzirom da niže vrednosti J_{max} ukazuju na testa bolje otpornosti na deformaciju i manje rastegljivosti (Dapčević Hadnađev i sar., 2013), parametri fundamentalnih reoloških testova nisu bili u korelaciji sa parametrima P i L dobijenim primenom Alveografa. Osim pomenutog uticaja skrobne frakcije, razlog je i priprema uzoraka za fundamentalne reološke analize koji je podrazumevao zames sa optimalnom količinom vode (55% za sortu Apač, a 60,4-61,8% za domaće sorte), dok se kod Alveografskog zamesa testa pripremaju sa konstantnom hidratacijom od 50%.

Tabela 15. Parametri fundamentalnih reoloških merenja brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta	Parametar	G' (Pa)		G'' (Pa)		tanδ		J ₀ (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)		J _{max} (10 ⁻⁵ Pa ⁻¹)		J _e /J _{max}	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	20263	21328	7377	7580,8	0,37	0,36	1,99	1,76	9,17	7,77	60,0	59,0
	Min	16815	15650	6414	6071	0,35	0,34	1,62	1,29	7,14	5,86	57,7	50,4
	Max	23155	24695	8051	8548,5	0,38	0,39	2,48	2,71	11,73	12,17	63,2	63,6
	CV (%)	13,1	16,0	10,0	12,4	3,7	4,6	17,3	29,59	20,2	30,3	4,0	7,9
Pobeda	Srednje	17896	14991	6666	5715	0,38	0,39	2,16	2,74	9,61	11,72	60,9	59,8
	Min	15440	9275	5815	4093,5	0,32	0,35	1,30	1,54	5,88	6,03	57,9	50,8
	Max	24680	20105	7996	7020,5	0,40	0,44	2,67	4,81	11,47	25,56	65,5	66,6
	CV (%)	17,5	23,8	10,9	17,1	6,3	7,8	20,1	39,0	18,4	56,7	4,4	7,9
Zvezdana	Srednje	17901	16048	6691	5955	0,38	0,38	2,06	2,51	8,75	10,03	62,2	61,7
	Min	14665	10735	5878	4595	0,34	0,34	1,66	1,40	6,50	5,56	57,1	54,1
	Max	20430	21650	7653	7419	0,40	0,44	2,77	4,05	12,93	19,35	65,7	66,2
	CV (%)	11,2	26,7	9,1	19,3	5,0	8,8	18,1	38,8	24,9	48,6	5,3	6,6
Gordana	Srednje	15112	14957	5923	5611	0,39	0,38	2,57	2,78	11,35	12,6	60,4	54,2
	Min	11945	9936	5061	4387,5	0,37	0,34	1,85	1,68	8,04	7,00	57,3	47,5
	Max	19530	20545	7263	7023,5	0,42	0,44	3,79	4,86	17,17	24,43	63,8	61,9
	CV (%)	16,0	27,3	12,1	18,7	4,6	9,7	23,4	42,0	26,3	52,3	3,8	10,5

G', elastični moduo; G'', viskozni moduo; tanδ, odnos elastičnog i viskozno modula; J₀, početna popustljivost materijala; J_{max}, maksimalna vrednost popustljivosti u fazi puzanja; J_e/J_{max}, udeo elastične deformacije u maksimalnoj popustljivosti sistema

5.2.9. Kvalitet i teksturne karakteristike sredine hleba

Vrednosti specifične zapremine hleba i parametara teksture sredine hleba prikazani su u tabeli 16. Vrednosti specifične zapremine su se u 2011. godini kretale u opsegu od 3,09 do 4,77 cm³g⁻¹, dok su u 2012. godini bile u opsegu od 3,18 do 4,85 cm³g⁻¹. Specifična zapremina hleba kao najvažniji parametar koji se uzima u obzir pri oceni kvaliteta hleba, zavisila je isključivo od sortnih karakteristika pšenice, što je u saglasnosti sa Elangovan i sar. (2008) koji navode da se 75% varijacije zapremine hleba pripisuje genotipu. Apač je u obe proizvodne godine imao najmanju prosečnu vrednosti specifične zapremine hleba, dok su se domaće sorte odlikovale znatno većim prosečnim vrednostima V_{sp} . Ne treba zanemariti činjenicu da je Apač u proseku ispoljio najmanji sadržaj proteina u odnosu na domaće sorte koje su imale značajno veću koncentraciju proteina, što je moglo i rezultirati manjim vrednostima V_{sp} kod Apača. Utvrđeno je da sadržaj proteina pozitivno utiče na zapreminu hleba ali i teksturu (Finney 1985; Pomeranz 1988). Prema Johansson (1998) sadržaj proteina može da objasni svega 19% varijacije zapremine hleba. Pored uticaja sorte na kvalitet gotovog proizvoda primetan je i uticaj lokaliteta. Naime, sorte pšenice gajene u 2011. na lokalitetu Kikinda ispoljile su najbolji kvalitet hleba u pogledu specifične zapremine, dok su uzorci pšenice sa lokaliteta Sombor imali najlošije vrednosti specifične zapremine. Kada se poredi proizvodne godine, domaće sorte su u 2012. godini imale manje vrednosti V_{sp} u odnosu na 2011 godinu. Pogoršanje kvaliteta hleba se može pripisati učestalim temperaturama preko 30 °C kojima je pšenica bila izložena tokom faze nalivanja, što je izazvalo promene u sastavu i kvalitetu proteina (Dupont i sar., 2006). Obzirom da se rastegljivost testa kod uzoraka iz 2012. godine smanjila, manja zapremina hleba može biti i rezultat nedovoljne sposobnosti testa da se rastegne prilikom fermentacije. Kod Apača je primećeno povećanje V_{sp} u 2012. godini, koje može biti posledica povećanja vrednosti rada deformacije u toj godini kod ove sorte, a poznato je da povećanje parametra rada deformacije pozitivno utiče na specifičnu zapreminu hleba (Addo i sar., 1990). Apač je generalno pokazao manju ostljivost na proizvodnu godinu od domaćih sorti. Pored toga što se u 2011. godini Gordana izdvojila po najvećoj V_{sp} , ova sorta je imala i najmanji CV ovog parametra, ukazujući na adaptabilnost ove sorte na različite mikroklimatske i primenjene agrotehničke uslove na ispitivanim lokalitetima.

Tabela 16. Pokazatelji kvaliteta hleba od brašna ispitivanih sorti pšenice iz dve proizvodne godine

Sorta		V_{sp} (cm ³ /g)		Čvrstoća (g)		Kohezivnost		Inicijalna elastičnost		Naknadna elastičnost		Otpor žvakanju (g)	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Apač	Srednje	3,37	3,64	7149	4640	0,614	0,645	0,303	0,317	0,966	0,978	4315	2920
	Min	3,09	3,18	4494	3738	0,543	0,613	0,260	0,272	0,946	0,963	2740	2549
	Max	3,89	3,90	10267	6039	0,666	0,683	0,327	0,353	0,977	0,997	5381	3657
	CV (%)	9,9	7,4	29,9	16,5	8,8	5,0	9,0	10,5	1,2	1,2	22,1	13,9
Pobeda	Srednje	4,08	3,99	2586	2866	0,734	0,728	0,357	0,338	0,984	0,997	1872	2108
	Min	3,70	3,43	1868	1766	0,718	0,702	0,335	0,317	0,955	0,987	1327	1446
	Max	4,40	4,30	3116	3535	0,768	0,796	0,403	0,373	1,006	1,011	2188	2602
	CV (%)	6,5	7,7	19,8	24,8	2,7	4,5	6,6	6,6	1,7	0,9	18,8	22,8
Zvezdana	Srednje	4,14	4,05	3371	2544	0,738	0,765	0,357	0,364	1,003	1,003	2462	1918
	Min	3,62	3,27	2246	1319	0,672	0,648	0,312	0,305	0,982	0,981	1762	1017
	Max	4,77	4,66	5071	5289	0,800	0,834	0,383	0,402	1,028	1,029	3372	3604
	CV (%)	9,6	10,7	29,4	52,4	5,5	7,9	6,8	9,9	1,7	1,7	23,7	43,8
Gordana	Srednje	4,40	3,95	2574	2408	0,750	0,771	0,339	0,359	0,989	1,002	1902	1842
	Min	4,13	3,45	1567	1046	0,714	0,663	0,318	0,307	0,982	0,975	1184	904
	Max	4,75	4,85	3180	3930	0,788	0,845	0,371	0,382	0,997	1,031	2300	3028
	CV (%)	5,0	13,1	22,1	43,8	3,3	8,9	5,9	8,1	0,6	1,8	20,2	38,6

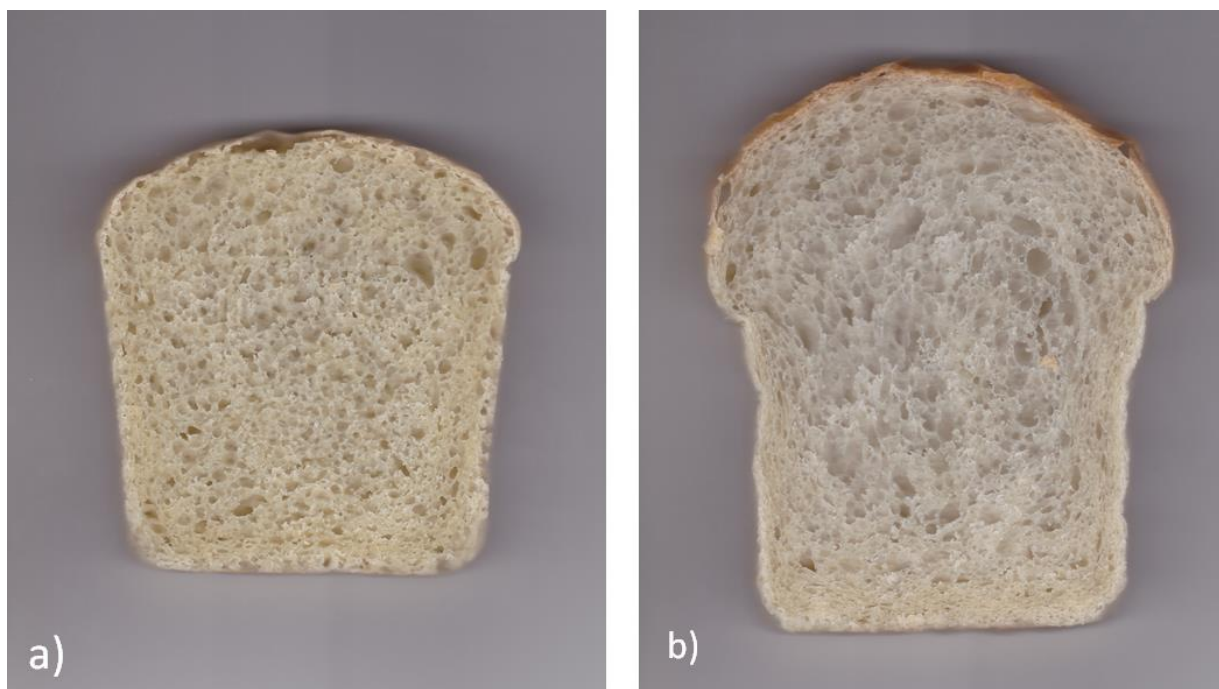
V_{sp} , specifična zapremina hleba

U proceni kvaliteta hleba podjednako su važne specifična zapremina vekne hleba i tekstura sredine hleba (Rózuło i Laskowski, 2011). Što se tiče teksturnih karakteristika sredine hleba, može se uočiti da su u odnosu na Apač domaće sorte ispoljile značajno manje vrednosti čvrstoće i otpora žvakanju a veću kohezivnost, inicijalnu i naknadnu elastičnost. Na osnovu vrednosti parametara teksture sredine hleba primetno je da je sorta Apač ispoljila najlošije teksturne osobine sredine hleba, što je bilo i očekivano uzimajući u obzir reološke osobine brašna ove sorte.

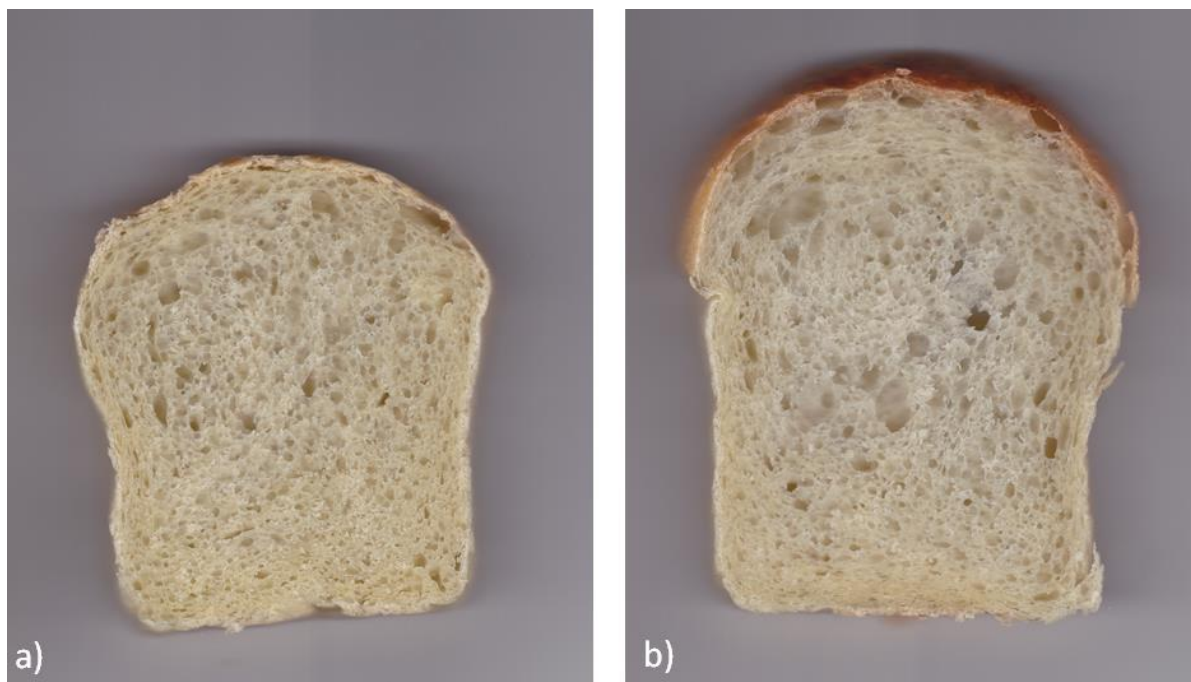
Proces starenja hleba je kompleksan proces tokom kojeg se odvijaju višestruki mehanizmi, i koji još uvek nije dovoljno razjašnjen. Prvobitno se smatralo da procesu starenja hleba i povećanju čvrstoće doprinosi samo skrobna komponenta brašna, odnosno proces retrogradacije razgranatog amilopektina (Pyler, 1988). Prema Grey i Bemiller (2003), retrogradacija amilopektina je deo procesa starenja hleba, ali nije jedini uzrok promenama u teksturi hleba. Veruje se da pored skrobne frakcije brašna značajnu ulogu u procesu starenja hleba ima i proteinska komponenta, odnosno da na teksturne osobine hleba utiče sadržaj proteina i glutena. Kim i D' Appolonia (1977a, b) su ustanovili da povećan sadržaj proteina brašna usporava proces starenja hleba. U istraživanju Gujral i sar. (2003), dodatak vlažnog glutena u pšenično brašno doveo je do smanjenja čvrstoće i povećanja kohezivnosti sredine hleba. U ovom istraživanju hlebovi od brašna sorte Gordana su imali najveći sadržaj proteina i glutena i najmanju čvrstoću dok su hlebovi od brašna sorte Apač imali najmanji sadržaj proteina i glutena ali i najveću čvrstoću sredine hleba. Manja čvrstoća hleba i sporiji proces starenja zbog povećanog sadržaja proteina može biti posledica razblaženja skrobne komponente i/ili obogaćenja glutena što dovodi po povećane zapremine hleba. Uticaj kvaliteta proteina na promene u teksturi hleba usled starenja može se objasniti preko interakcija između nabubrelih skrobnih granula i proteina (Martin i sar., 1991). He i Hosney (1991) su izjavili da brašna lošeg kvaliteta (mala zapremina hleba) imaju više izražena hidrofилna svojstva u odnosu na brašna dobrog kvaliteta. Obzirom da gluten lošeg kvaliteta stupa u jaču interakciju sa skrobnim granulama u testu, pomenute interakcije će biti jače tokom i nakon pečenja hleba. Stoga, hleb od brašna lošijeg kvaliteta brže stari i ima veću čvrstoću. Tronsmo i sar. (2003) navode da na zapreminu hleba ne utiče kvalitet proteina koliko utiče tekstura i veličina pora na poprečnom peseku. S obzirom da je Apač ispoljio najmanju otpornost na retrogradaciju (velike vrednosti C5-C4), najveća čvrstoća hleba od brašna ove sorte može biti posledica bržeg starenja hleba i pogoršanja teksture hleba.

Najuniformniji kvalitet hleba na ispitivanim lokalitetima je ispoljila sorta *Pobeda*, koja pripada grupi odličnih hlebnih sorti. U proseku najlošije pokazatelje kvaliteta hleba u 2011. godini je ispoljio lokalitet Sombor, koji su karakterisale niže vrednosti alveografskog rada deformacije i žilavosti testa, niži sadržaj proteina i glutena. U 2012. godini uzorci sa lokaliteta Sombor su imali u proseku najbolje pokazatelje kvaliteta, dok su uzorci brašna iz Bačke Topole imali najlošije pokazatelje kvaliteta. Na tom lokalitetu je u maju u fazi nalivanja zrna zabeležena mala količina padavina, dok je u julu, neposredno pored žetvu količina padavina bila značajno velika, što je moglo izazvati lošiju polimerizaciju proteina i promene u kvalitetu proteina (Malik, 2009).

U cilju ilustracije razlika u strukturnim karakteristikama sredine hleba proizvedenog od brašna različitog kvaliteta na slikama 28a,b i 29a,b je dat prikaz izgleda sredine hlebova proizvedenih u dve proizvodne godine od brašna sorte lošijih pokazatelja kvaliteta (*Apač*) i sorte odličnog pecivnog kvaliteta (*Gordana*). Kao što se može primetiti, hleb od sorte lošijeg kvaliteta je u obe godine imao malu zapreminu, zbijenu i gustu strukturu sredine sa velikim brojem sitnih pora (slika 26a, 27a). Sa druge strane, hleb od sorte brašna odličnog kvaliteta je imao veliku zapreminu, rastresitu sredinu sa izraženim krupnim porama (slika 26b, 27b).

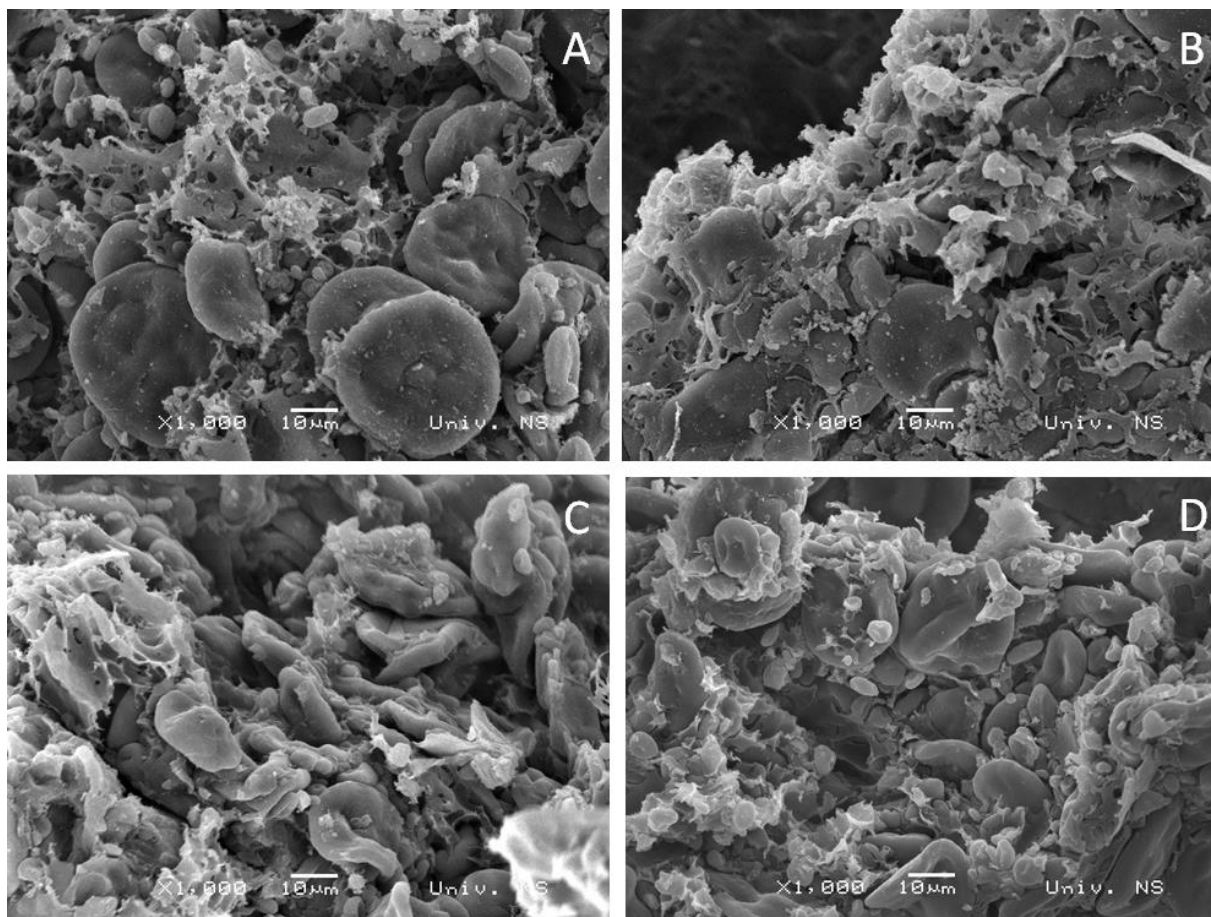


Slika 28. Izgled sredine hleba od brašna sorte a) lošijeg, b) odličnog pecivnog kvaliteta proizvedenih u 2011. godini



Slika 29. Izgled sredine hleba od brašna sorte a) lošijeg, b) odličnog pecivnog kvaliteta proizvedenih u 2012. godini

Da bi se utvrdio uticaj osnovnih frakcija brašna na mikrostrukturu hleba, sredina hleba proizvedena od odabranih uzoraka brašna je ispitana primenom skenirajućeg elektronskog mikroskopa. Slika 30 prikazuje mikrostrukturu hleba od brašna dobrog i lošeg kvaliteta iz dve proizvodne godine. Razlike u strukturi zidova sredine hleba kod posmatranih uzoraka su vidljive. U obe proizvodne godine, kod uzoraka koji su imali veliku zapreminu i koji su proizvedeni od brašna dobrog kvaliteta (slika 28b,d), delimično želatinizirane skrobne granule su međusobno spleljene i čvršće uklopljene u mrežu denaturisanog proteina i želatiniziranog skroba. Kod uzoraka koje je karakterisala mala zapremina i koji su proizvedeni od brašna loših reoloških karakteristika, zidovi pora sredine hleba koji se sastoje od delimično nabubrelih skrobnih granula, nisu u potpunosti uklopljeni u strukturu proteinskog matriksa i želatiniziranih skrobnih granula. Razlike u strukturi zidova pora mogu biti posledica razlika u karakteristikama proteina i jačini veza između proteinskih molekula.



Slika 30. Mikrostruktura sredine hlebova dobijenih od uzoraka brašna lošeg kvaliteta a) iz 2011. godine, c) iz 2012. godine; brašna dobrog kvaliteta b) iz 2011. godine, d) iz 2012

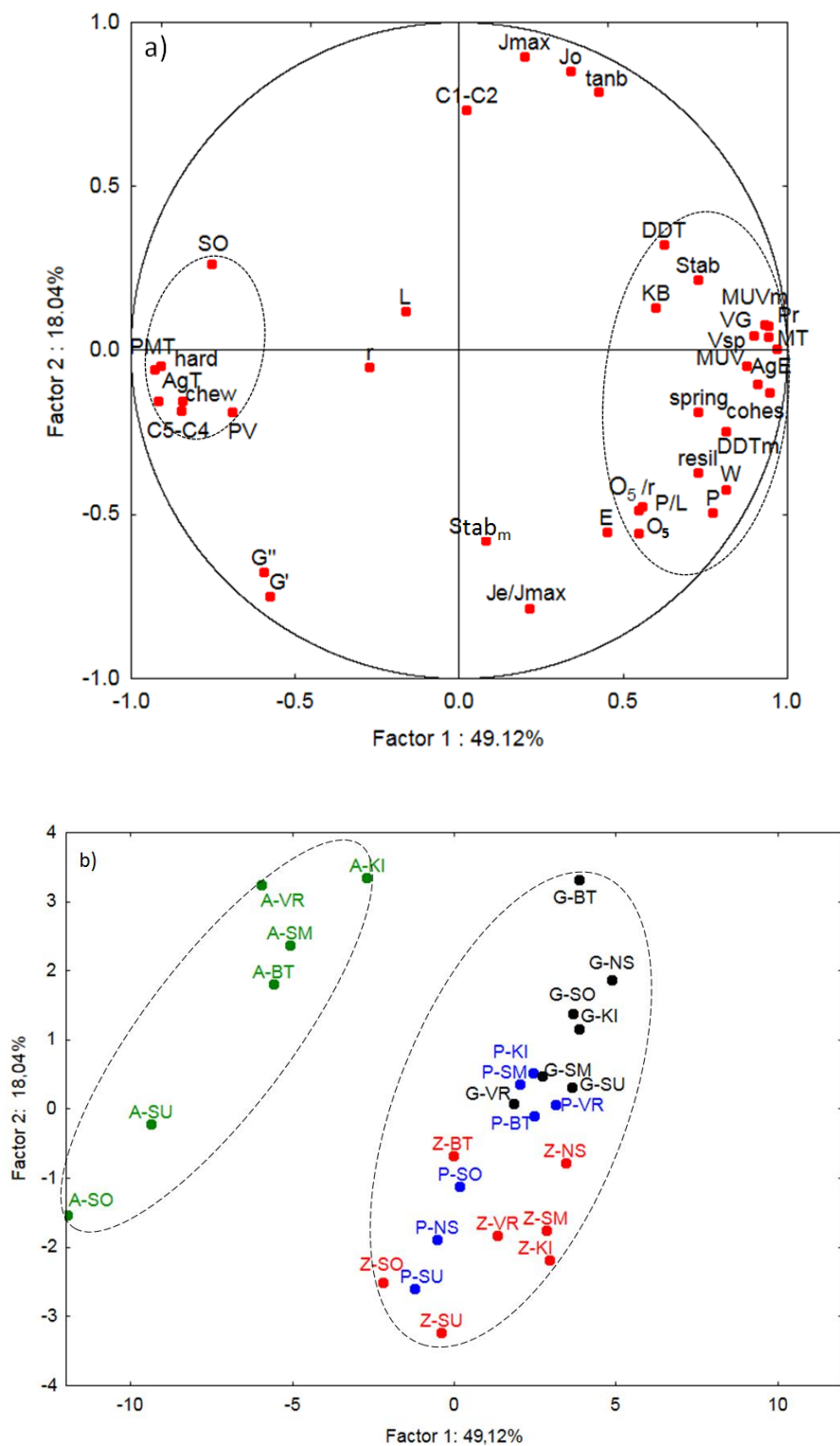
5.2.10. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na pokazatelje kvaliteta brašna i hleba dobijenih od različitih sorti pšenice gajene na različitim lokalitetima iz dve proizvodne godine

PCA analiza je korišćena u cilju vizualizacije i jednostavnijeg prikaza odnosa između kvaliteta hleba i indikatora kvaliteta brašna i reološkog ponašanja testa tokom obrade. Da bi se izbegao uticaj različitih klimatskih faktora tokom obe proizvodne godine, PCA analiza je zasebno primenjena na odabrane pokazatelje kvaliteta uzoraka brašna iz 2011. godine (31a,b), i zasebno na indikatore kvaliteta brašna iz 2012. godine (32a,b).

Ukoliko su u PCA krugu promenljive udaljene od centra i pozicionirane blizu jedna drugoj, one su u značajnoj pozitivnoj korelaciji (r blizak 1). Ukoliko su promenljive na suprotnim stranama one su u značajnoj negativnoj korelaciji (r blizak -1). Ukoliko su

orijentisane ortogonalno, smatra se da promjenljive nisu u značajnoj korelaciji (r blizak 0).

Prve dve komponente objašnjavaju 67,16% ukupne varijanse osnovnog seta podataka (slika 31a), dok prve tri komponente objašnjavaju preko 70% varijanse. Zabeležen je veliki broj statistički značajnih korelacija između pokazatelje kvaliteta hleba i reoloških karakteristika testa od brašna iz 2011. godine. Ustanovljeno je povećanje V_{sp} sa povećanjem sadržaja proteina ($r = 0,867$, $p < 0,05$) i vlažnog glutena ($r = 0,881$, $p < 0,05$). V_{sp} je u jakoj pozitivnoj korelaciji sa maksimalnom torzijom ($r = 0,838$, $p < 0,05$), energijom agregacije ($r = 0,787$, $p < 0,05$), farinografskom moći upijanja vode ($r = 0,753$, $p < 0,05$), Stab ($r = 0,673$, $p < 0,05$), MUVm ($r = 0,789$, $p < 0,05$), DDTm ($r = 0,719$, $p < 0,05$), žilavosti testa ($r = 0,652$, $p < 0,05$) i radom deformacije ($r = 0,679$, $p < 0,05$). Utvrđena je jaka pozitivna korelacija između V_{sp} i kohezivnosti ($r = 0,865$, $p < 0,05$), inicijalne elastičnosti ($r = 0,634$, $p < 0,05$) i naknadne elastičnosti sredine hleba ($r = 0,720$, $p < 0,05$). Zabeležena je umerena pozitivna korelacija između V_{sp} i razvoja testa ($r = 0,563$, $p < 0,05$), kvalitetnog broja ($r = 0,525$, $p < 0,05$), otpora testa ($r = 0,451$, $p < 0,05$), odnosnog broja ($r = 0,468$, $p < 0,05$), P/L ($r = 0,461$, $p < 0,05$) i $\tan\delta$ ($r = 0,448$, $p < 0,05$). Vrednost V_{sp} se smanjila sa povećanjem stepena omekšanja, što potvrđuje jaka negativna korelacija između pomenutih parametara ($r = -0,673$, $p < 0,05$). Utvrđena je i jaka negativna korelacija između V_{sp} i PMT ($r = -0,800$, $p < 0,05$), AgT ($r = -0,787$, $p < 0,05$) i C5-C4 ($r = -0,729$, $p < 0,05$). Negativna korelacija je zabeležena između V_{sp} i čvrstoće ($r = -0,843$, $p < 0,05$) i otpora žvakanju ($r = -0,817$, $p < 0,05$) sredine hleba. V_{sp} je u umerenoj negativnoj korelaciji sa G' ($r = -0,499$, $p < 0,05$), G'' ($r = 0,483$, $p < 0,05$) i MV ($r = -0,595$, $p < 0,05$). U istraživanju Koxsel i sar. (2009) C5-C4 indikator je bio u negativnoj korelaciji sa V_{sp} , što ukazuje da, pored proteinske, i osobine skrobne frakcije značajno utiču na zapreminu proizvoda.



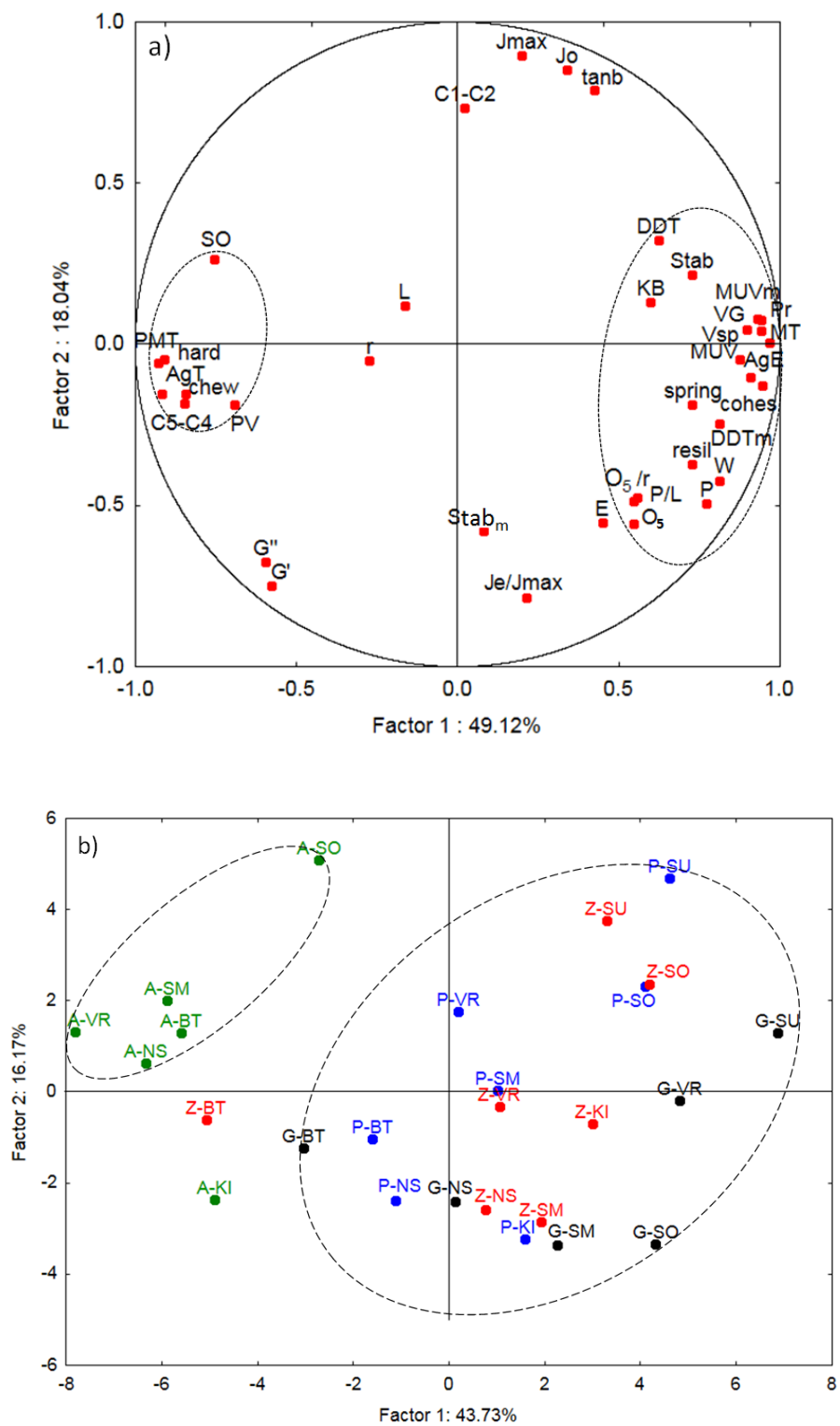
Slika 31. a) PCA grafik (*loading plot*) uticaja pokazatelja kvaliteta brašna na kvalitet hleba, b) (*score plot*) distribucija ispitivanih sorti pšenice iz 2011. godine

PC analiza je pokazala da indikatori kvantiteta, kvaliteta i jačine glutena pozitivno utiču na povećanje specifične zapremine hleba. Ovi pokazatelji su se grupisali u oblasti pozitivnih vrednosti prve komponente. Sa druge strane, pokazatelji koji su negativno uticali na specifičnu zapreminu hleba su se nalazili u oblasti negativnih vrednosti prve komponente. Na osnovu toga, pretpostavlja se da će uzorci koji zauzimaju poziciju u oblasti pozitivnih vrednosti prve komponente imati bolji kvalitet hleba, dok će uzorci koji se grupišu duž negativnih vrednosti ispoljiti lošiji kvalitet hleba. Na slici 31b, gde je prikazana distribucija sorti pšenice iz 2011. godine, može se uočiti da se sorta Apač, koja je prema svim pokazateljima ispoljila lošiji pecivni kvalitet brašna, prostire duž negativnih vrednosti PC1. Sorte dobrog pecivnog kvaliteta (Pobeda, Zvezdana i Gordana) koje su pokazale dobar kvalitet glutena, veliki stabilitet testa i povoljan odnos jačine testa prema rastegljivosti, pretežno su se prostirale duž pozitivnih vrednosti PC1. Naime, Gordana je u 2011. godini pokazala najkonzistentniji kvalitet brašna i grupisala se isključivo duž pozitivnih vrednosti PC, dok su pojedini uzorci sorti Pobeda i Zvezdana bili raspoređeni i duž negativnih vrednosti. Utvrđeno je da su pokazatelji kvaliteta brašna dominantno sortno određeni, međutim, zabeležen je i određeni uticaj lokaliteta. Apač je imao uniformno loš kvalitet duž svih ispitivanih lokaliteta. Domaće sorte su na dobrim lokalitetima ispoljile dobar kvalitet, dok su mikroklimatski nepovoljniji lokaliteti uticali na pogoršanje kvaliteta ovih sorti.

Rezultati PC analize primenjeni na pokazatelje kvaliteta brašna pšenice iz 2012. godine su prikazani na slici 32a. Pve dve komponente su objašnjavale 59,5% ukupne varijanse osnovnog seta podataka, dok su prve tri komponente objašnjavale preko 70% varijanse. U 2012. godini broj statistički značajnih korelacija između pokazatelja kvaliteta brašna i hleba je bio manji u odnosu na 2011. godinu. Povećanje sadržaja proteina i vlažnog glutena brašna je uticalo na povećanje specifične zapremine hleba, što potvrđuju i dobijeni koeficijenti korelacije između pomenutih parametara ($r = 0,864$ i $r = 0,882$, $p < 0,05$). Utvrđena je pozitivna jaka korelacija između V_{sp} i indikatora jačine glutena, maksimalne torzije ($r = 0,878$, $p < 0,05$) i energije agregacije ($r = 0,692$, $p < 0,05$), razvoja testa ($r = 0,564$, $p < 0,05$). Značajna pozitivna korelacija je zabeležena i između V_{sp} i pokazatelja teksturnih osobina sredine hleba: kohezivnosti ($r = 0,716$, $p < 0,05$), inicijalne ($r = 0,509$, $p < 0,05$) i naknadne elastičnosti ($r = 0,643$, $p < 0,05$) sredine hleba. Zabeležena je umerena korelacija između V_{sp} i moći upijanja vode ($r = 0,390$, $p < 0,05$) i DDTm ($r = 0,466$, $p < 0,05$). Sa druge strane, duže vreme formiranja glutenske strukture

u suspenziji brašno-voda i duže vreme agregacije (PMT, AgT) su negativno uticali na V_{sp} ($r = -0,603$ i $-0,556$, $p < 0,05$). Testa koja karakterišu veće vrednosti G' i G'' su imala manje vrednosti specifične zapremine hleba ($r = -0,729$; $r = -0,712$, $p < 0,05$). Zabeležena je jaka negativna korelacija između V_{sp} i čvrstoće ($r = -0,841$, $p < 0,05$) i otpora žvakanju ($r = -0,870$, $p < 0,05$) sredine hleba.

Kao i u 2011. godini, primećeno je grupisanje indikatora kvaliteta glutena duž pozitivnih vrednosti prve komponente, i grupisanje pokazatelja lošije strukture i kinetike formiranja glutena duž negativnih vrednosti prve komponente (slika 32b). Apač kao sorta lošijeg kvaliteta glutena je pozicioniran duž negativnih vrednosti PC1, dok su Pobeda, Zvezdana i Gordana grupisane duž pozitivnih ali delom i duž negativnih vrednosti PC1, što ukazuje da je u 2012. godini tehnološki kvalitet brašna bio određen genotipom, značajnim uticajem mikroklimatskih faktora na lokalitetu i mogućim interakcijama između genotipa i lokaliteta. Sorte dobrog kvaliteta su na najboljim lokalitetima ispoljile odličan tehnološki kvalitet, dok je na mikroklimatski nepovoljnijim lokalitetima (Bačka Topola) došlo je do pogoršanja kvaliteta nekih sorti. Postizanje konzistentnog kvaliteta pšenice na svim lokalitetima gajenja je neophodno za dobijanje finalnog proizvoda ujednačenog kvaliteta. Još uvek nije poznato koji od faktora gajenja najviše doprinosi pogoršanju kvaliteta (Vásques i sar., 2012). Uticaj uslova gajenja je bio primetan čak i kod parametara koji su primarno pod uticaj genotipa, kao što je kvalitet proteina (Graybosch i sar., 1996; Ma i sar., 2005; Yong i sar., 2004). Vásques i sar. (2012) navode da razlog nemogućnosti postizanja top kvaliteta pšenice nije nedostatak selekcije genotipa već uticaj faktora sredine. Kod proizvodnje pšenice treba postaviti ciljeve kvaliteta u skladu sa genetskim karakteristikama pšenice, lokalitetom zasejane površine, potencijalnim interakcijama između sorte i lokaliteta i uslova gajenja.



Slika 32. a) PCA grafik (*loading plot*) uticaja pokazatelja kvaliteta brašna na kvalitet hleba, b) (*score plot*) distribucija ispitivanih sorti pšenice iz 2012. godine

5.2.11. Regresioni modeli za predviđanje kvaliteta hleba

Regresioni modeli su razvijeni sa ciljem da se utvrdi koji parametri kvaliteta brašna mogu postići najuspešnije predviđanje kvaliteta gotovog proizvoda - hleba. U tu svrhu se koristila višestruka regresiona analiza metodom selekcije unazad. Modeli za predviđanje specifične zapremine hleba i čvrstoće sredine hleba, kao najvažnijeg parametra teksture, obuhvatali su samo one parametre koji su pokazali statistički značajnu korelaciju sa indikatorima kvaliteta hleba. U tabelama 17 i 18 su prikazani modeli za predviđanje V_{sp} i čvrstoće hleba koji su statistički značajni na nivou $p < 0,05$.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se specifična zapremina hleba od uzoraka brašna iz 2011. godine može uspešno predvideti pomoću nekoliko modela koji su obuhvatali različite indikatore hemijskog sastava brašna i pokazatelje reoloških osobina testa. Odlično predviđanje specifične zapremine postiže se pomoću sadržaja vlažnog glutena, pri čemu ovaj model objašnjava 76,7% varijacije V_{sp} (tabela 17, slika 33a). Veoma dobro predviđanje V_{sp} ($R^2_{adj} = 0,715$) se postiže i primenom modela koji sadrži parametar glutopika, maksimalnu torziju, kao nezavisnu promenljivu. Model koji obuhvata moć upijanja vode brašna i stabilitet testa objašnjava 70,8% varijacije zavisne promenljive V_{sp} . Umereno predviđanje zapremine hleba je postignuto pomoću modela koji su obuhvatali rad deformacije ($R^2_{adj} = 0,439$) i MUV_m ($R^2_{adj} = 0,607$). Model koji sadrži indikator otpornosti na retrogradaciju je objašnjavao 51,2% varijanse V_{sp} . U istraživanju Różyło i Laskowski (2011), najbolje predviđanje zapremine hleba postignuto je pomoću sadržaja proteina brašna, broja padanja i rastegljivosti testa.

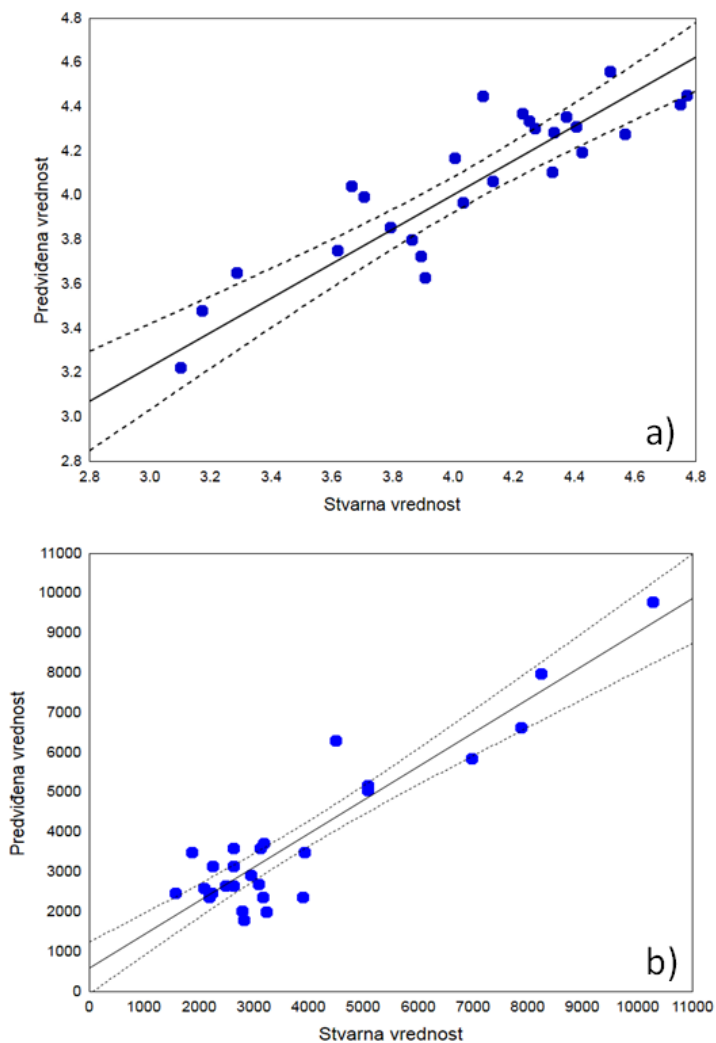
Tabela 17. Prikaz jednačina modela za predviđanje pokazatelja kvaliteta hleba od brašna pšenice iz 2011. godine

Jednačina modela		Opis modela			
V_{sp}	R	R^2	R^2_{adj}	SE	
$V_{sp} = 0,800 + 0,104 \times VG$	0,881	0,776	0,767	0,230	
$V_{sp} = 1,956 + 0,043 \times MT$	0,838	0,733	0,715	0,256	
$V_{sp} = 2,058 + 0,094 \times MUV + 0,041 \times Stab$	0,854	0,730	0,708	0,258	
$V_{sp} = 2,625 + 0,006 \times W$	0,679	0,461	0,439	0,357	
$V_{sp} = 2,884 + 0,122 \times MUV_m$	0,789	0,622	0,607	0,299	
$V_{sp} = 4,984 - 1,131 \times C_5 - C_4$	0,729	0,531	0,512	0,333	
Čvrstoća		R	R^2	R^2_{adj}	SE
$Čvrstoća = 17833,81 - 453,8 \times VG$		0,846	0,715	0,704	1177,0
$Čvrstoća = 14737,3 - 224,8 \times MT$		0,918	0,843	0,836	874,9
$Čvrstoća = 28030,6 - 442,5 \times MUV + 42,0 \times SO$		0,863	0,744	0,723	1138,7
$Čvrstoća = 9902,8 - 75,1 \times P$		0,692	0,479	0,458	1592,6
$Čvrstoća = 39132,7 - 325,3 \times Muv_m - 404,0$ $\times DDT_m - 543,2 \times Stab_m - 15906,1$ $\times C_5 - C_4$		0,897	0,805	0,769	1039,6

VG, vlažni gluten; MT, maksimalna torzija; MUV, farinografska moć upijanja vode, Stab, farinografski stabilitet testa; SO, stepen omekšanja; P, žilavost testa; W, rad deformacije; MUV_m, moć upijanja vode određena miksolabom; DDT_m, razvoj testa određen miksolabom; Stab_m, stabilitet testa određen miksolabom; C₅-C₄, razlika između maksimuma torzije nakon perioda hlađenja na 50 °C (C₅) i torzije u tački (C₄)

Što se tiče čvrstoće sredine hleba, predviđanje ovog parametra može se postići primenom različitih pokazatelja reološkog ponašanja testa. Dobro predviđanje čvrstoće hleba postignuto je pomoću sadržaja vlažnog glutena, pri čemu je vrednost prilagođenog koeficijenta determinacije iznosila 0,704, ukazujući da je doprinos nezavisne promenljive na zavisnu promenljivu na visokom nivou. Model za čvrstoću hleba koji sadrži indikatore moći upijanja vode i stepena omekšanja kao nezavisne promenljive objašnjava 72,3% varijacije zavisne promenljive. Umereno predviđanje čvrstoće je postignuto pomoću žilavosti testa ($R^2_{adj} = 0,458$). Kombinacijom moći upijanja vode, razvoja, stabiliteta testa i indikatora otpornosti na retrogradaciju određenih miksolabom postiže se dobro predviđanje čvrstoće sredine hleba ($R^2_{adj} = 0,769$). Međutim, najbolje predviđanje je ostvareno je pomoću modela koji sadrži maksimalnu torziju i koji objašnjava 83,6% varijacije čvrstoće sredine hleba (slika 33b). Rózyło i

Laskowski (2011) su najbolje predviđanje čvrstoće sredine hleba postigli kombinacijom vrednosti rada deformacije, broja padanja i sadržaja pepela brašna. Uključivanjem više faktora u jednačinu modela ne postiže se bolje predviđanje kvaliteta hleba u odnosu na modele koji su sadržali jednu nezavisnu promenljivu.



Slika 33. Predviđene (—) i stvarne vrednosti (•) odabranih jednačina modela za a) specifičnu zapreminu, b) čvrstoću sredine hleba od brašna pšenice iz 2011. godine

Regresiona analiza je pokazala da se kvalitet hlebova proizvedenih od brašna pšenice iz 2012. godine može predvideti pomoću nekoliko reoloških parametara (tabela 18). Odlično predviđanje V_{sp} je postignuto primenom sadržaja vlažnog glutena, pri čemu je model objašnjavao 76,4 % varijacije V_{sp} . Nešto lošije predviđanje V_{sp} se postiže primenom parametara J_0 i J_{max} ($R^2_{adj} = 0,666$). Model koju je obuhvatao energiju

agregacije i model koji je obuhvatao razvoj testa i kvalitetni broj umereno su objašnjavali varijacije u V_{sp} . Najbolje predviđanje V_{sp} je postignuto primenom modela koji je obuhvatao sledeće prediktore: vlažan gluten, razvoj testa i kvalitetni broj. Na osnovu vrednosti R^2_{adj} može se zaključiti da ovaj model objašnjava 82,4% varijacije specifične zapremine hleba (slika 34a). Za razliku od 2011. godine, da bi se postigla uspešnija predikcija kvaliteta hleba od uzoraka brašna iz 2012. godine neophodno je uključiti više parametara, odnosno, potrebno je izvesti nekoliko različitih reoloških merenja. Ispitivane proizvodne godine su se značajno razlikovale u vremenskim uslovima tokom faze nalivanja zrna do žetve. Temperature koje su u 2012. godini bile značajno više od višegodišnjeg proseka izazvale su varijacije u kvalitetu brašna i hleba. Stoga se kvalitet hleba od brašna pšenice iz 2012. godine ne može pouzdano predvideti na osnovu samo jednom indikatora kvaliteta, već primenom nekoliko pokazatelja kvaliteta bašna.

Tabela 18. Prikaz jednačina modela za predviđanje pokazatelja kvaliteta hleba od brašna pšenice iz 2012. godine

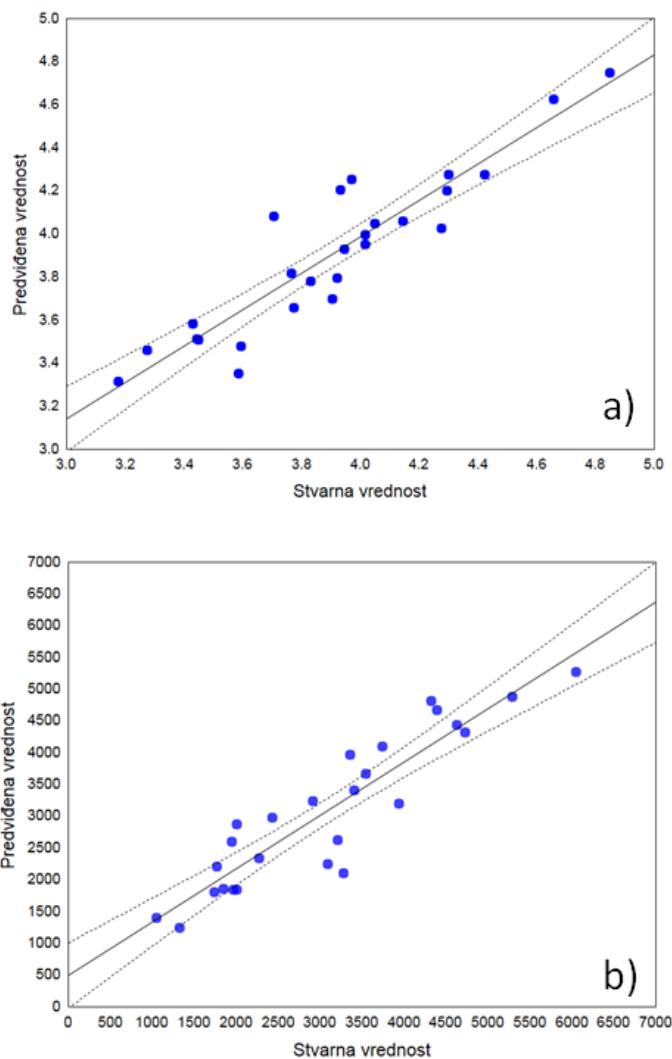
<i>Jednačina modela</i>	<i>Opis modela</i>			
V_{sp}	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>R²_{adj}</i>	<i>SE</i>
$V_{sp} = 1,769 + 0,069 \times VG$	0,890	0,792	0,764	0,196
$V_{sp} = 2,268 + 0,001 \times AgE$	0,692	0,480	0,458	0,300
$V_{sp} = 3,551 + 0,188 \times DDT - 0,005 \times KB$	0,681	0,463	0,417	0,311
$V_{sp} = 2,862 + 0,976 \times J_0 - 0,128 \times J_{max}$	0,832	0,693	0,666	0,235
$V_{sp} = 1,877 + 0,067 \times VG + 0,067 \times DDT - 0,004 \times KB$	0,919	0,845	0,824	0,171
<i>Čvrstoća</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>R²_{adj}</i>	<i>SE</i>
$Čvrstoća = 11106,5 - 23,8 \times Pr$	0,862	0,744	0,733	668,4
$Čvrstoća = 9667,5 - 118,5 \times MT$	0,867	0,752	0,742	657,6
$Čvrstoća = 14894,9 - 170,6 \times MUV - 189,7 \times DDT$	0,808	0,652	0,622	795,1
$Čvrstoća = 5823,6 - 147,2 \times P + 29,9 \times W + 3307,3 \times P/L$	0,729	0,531	0,468	944,0
$Čvrstoća = 16131,3 - 219,7 \times MUV_m$	0,735	0,541	0,522	894,8
$Čvrstoća = -1806,3 + 0,79 \times G''$	0,765	0,585	0,568	850,6
$Čvrstoća = 11264,3 - 373,4 \times Pr - 67,8 \times MT$	0,916	0,839	0,825	540,5

VG, vlažni gluten; Pr, sadržaj proteina; MT, maksimalna torzija; AgE, energija agregacije; MUV, farinografska moć upijanja vode, DDT, farinografski razvoj testa; KB, kvalitetni broj; P, žilavost testa; W, rad deformacije; P/L, odnos žilavosti i rastegljivosti testa; MUV_m , moć upijanja vode određena

miksolabom; G'' , viskozni moduo; J_0 , početna popustljivost materijala; J_{max} , maksimalna vrednost popustljivosti u fazi puzanja.

Razvijeno je nekoliko modela za predviđanje čvrstoće sredine hleba pomoću indikatora kvaliteta brašna. Model koji se sastojao od sadržaja proteina dobro je objašnjavao varijacije u čvrstoći sredine hleba ($R^2_{adj} = 0,733$). Dobra predikcija čvrstoće sredine hleba je postignuta i primenom modela koji je obuhvatao maksimalnu torziju merenu glutopikom ($R^2_{adj} = 0,742$), kao i primenom modela koji je obuhvatao farinografsku moć upijanja vode i razvoj ($R^2_{adj} = 0,622$). Kombinacija alveografskog rada deformacije, žilavosti testa i odnosa P/L omogućila je umerenu predikciju čvrstoće sredine ($R^2_{adj} = 0,468$). Međutim, na osnovu vrednosti R^2_{adj} može se zaključiti da se najbolja predikcija čvrstoće sredine hleba postiže pomoću sadržaja proteina i indikatora jačine glutena, maksimalne torzije, i da se kombinacijom ovih indikatora može objasniti 82,5% varijacije u čvrstoći hleba (slika 34b).

Graybosch i sar. (1993) navode da je sadržaj proteina brašna glavni faktor koji doprinosi jačini testa i kvalitetu hleba. Međutim, prema njima, nijedna pojedinačna biohemijska komponenta ne objašnjava više od 41% varijacije u kvalitetu hleba i modeli za predviđanje kvaliteta hleba zahtevaju merenja brojnih komponenti. Prema Dowell i sar. (2008), kod predviđanja zapremine hleba, sadržaj proteina zrna ili brašna je najvažniji podatak koji treba uključiti u model za predviđanje, pri čemu se model može unaprediti dodavanjem mera jačine testa, sposobnosti apsorpcije brašna, kvaliteta proteina ili viskoelastičnih osobina.



Slika 32. Predviđene (—) i stvarne vrednosti (•) odabranih jednačina modela za a) specifičnu zapreminu, b) čvrstoću sredine hleba od brašna pšenice iz 2012. godine

5.3. Uticaj sorte, lokaliteta i proizvodne godine na tehnološki kvalitet brašna

U ovom delu istraživanja ispitan je uticaj sortimenta, lokaliteta gajenja, proizvodne godine, kao i njihovih interakcija na tehnološki kvalitet brašna. U tu svrhu analizirani su uzorci brašna tri različite pšenične sorte (Apač, Pobeda i Zvezdana) sa četiri lokalita: Bačka Topola (BT), Sremska Mitrovica (SM), Vršac (VR) i Sombor (SO) tokom tri proizvodne godine (2011, 2012 i 2013). Za evaluaciju kvaliteta brašna odabrani su pokazatelji koji se najčešće koriste u mlinskoj i pekarskoj industriji za procenu kvaliteta. U tabeli 19 su prikazane vrednosti odabranih parametara u zavisnosti od uticaja sorte (S), lokaliteta (L) i godine (G).

Tabela 19. Uticaj sorte, lokaliteta, godine i njihovih interkcija na odabrane pokazatelje kvaliteta brašna i hleba

Faktor		VG (%)	MV (AJ)	SO (BJ)	KB	E (cm ²)	O ₅ /r	W (10 ⁻⁴ J)	MT (BJ)	V _{sp} (cm ³ g ⁻¹)
Sorta	Apač	26,6 ^a	1340 ^b	78 ^a	77 ^a	58 ^a	1,28 ^a	152 ^a	40 ^a	3,45 ^a
	Pobeda	32,4 ^b	684 ^a	60 ^a	128 ^b	62 ^a	1,35 ^a	223 ^b	57 ^b	3,98 ^b
	Zvezdana	31,0 ^b	1215 ^b	68 ^a	74 ^a	59 ^a	1,75 ^a	221 ^b	54 ^b	4,00 ^b
Lokalitet	BT	29,7 ^a	1063 ^{ab}	84 ^b	95 ^a	50 ^{ab}	1,43 ^{ab}	170 ^a	50 ^a	3,61 ^a
	SM	29,4 ^a	1116 ^{ab}	65 ^{ab}	94 ^a	78 ^c	1,74 ^b	222 ^b	50 ^a	3,87 ^a
	VR	30,4 ^a	937 ^a	57 ^a	102 ^a	67 ^{bc}	1,54 ^{ab}	221 ^b	51 ^a	3,96 ^a
	SO	30,6 ^a	1204 ^b	68 ^{ab}	79 ^a	43 ^a	1,13 ^a	182 ^a	51 ^a	3,81 ^a
Godina	2011	29,5 ^a	1110 ^b	60 ^a	105 ^a	84 ^c	1,58 ^a	220 ^b	46 ^a	3,85 ^b
	2012	29,7 ^a	1473 ^c	65 ^{ab}	88 ^a	61 ^b	1,85 ^a	194 ^{ab}	53 ^b	3,88 ^b
	2013	30,9 ^a	655 ^a	82 ^b	85 ^a	34 ^a	0,94 ^b	183 ^a	52 ^b	3,60 ^a
Sorta		111,02*	1455680*	1019	11033*	35	0,775	19846*	975.24*	1.190*
Lokalitet		2,87	112360	1129*	805	2267*	0,580*	6363*	2.57	0.194
Godina		7,41	2015442*	1609	1341	7431*	2,622*	4413*	143.87*	0.116*
Sorta x Lokalitet		10,18*	34918	1899*	263	247	0,055	791	23.22	0.042
Sorta x Godina		7,42*	76554	650*	547	245	0,181	3487*	20.21	0.067
Lokalitet x Godina		37,42*	61380	1602*	1623*	1018*	1,307*	3195*	135.33*	0.444*
Sorta x Lokalitet x Godina		2,19	32052	191	313	222	0,101	497	12.69	0.106

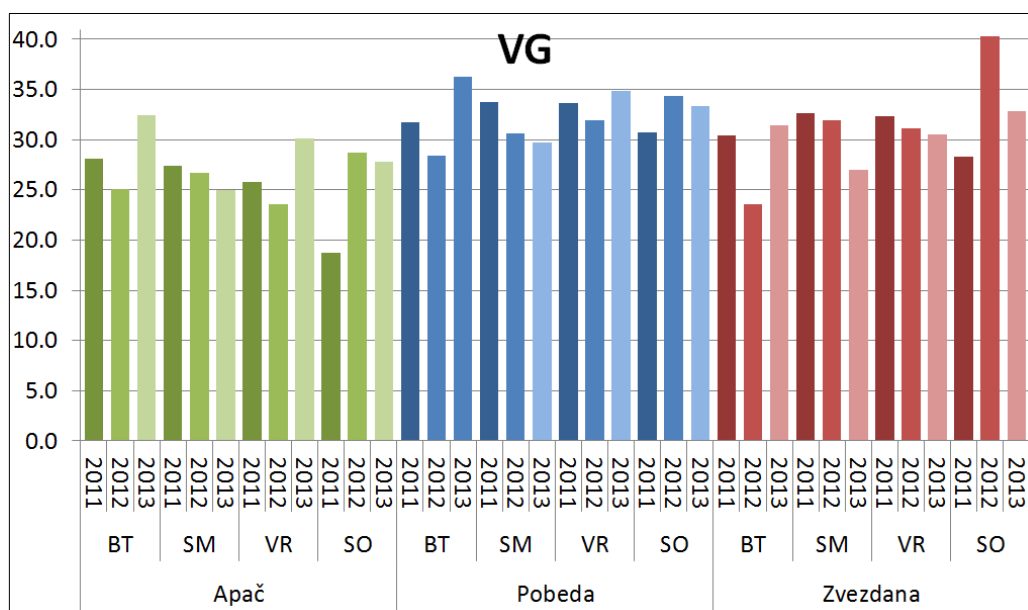
VG, vlažan gluten; MV, maksimalni viskozitet; SO, stepen omekšanja; KB, kvalitetni broj; E, energija; O₅/r, odnos otpora prema rastegljivosti; W, rad deformacije, V_{sp}, specifična zapremina hleba

Rezultati predstavljaju srednju vrednost; vrednosti označene istim malim slovom u koloni nisu statistički značajno različite (p > 0,05)

Lokalitet je posmatran kao nasumičan faktor

* vrednosti su statistički značajne na nivou p < 0,05

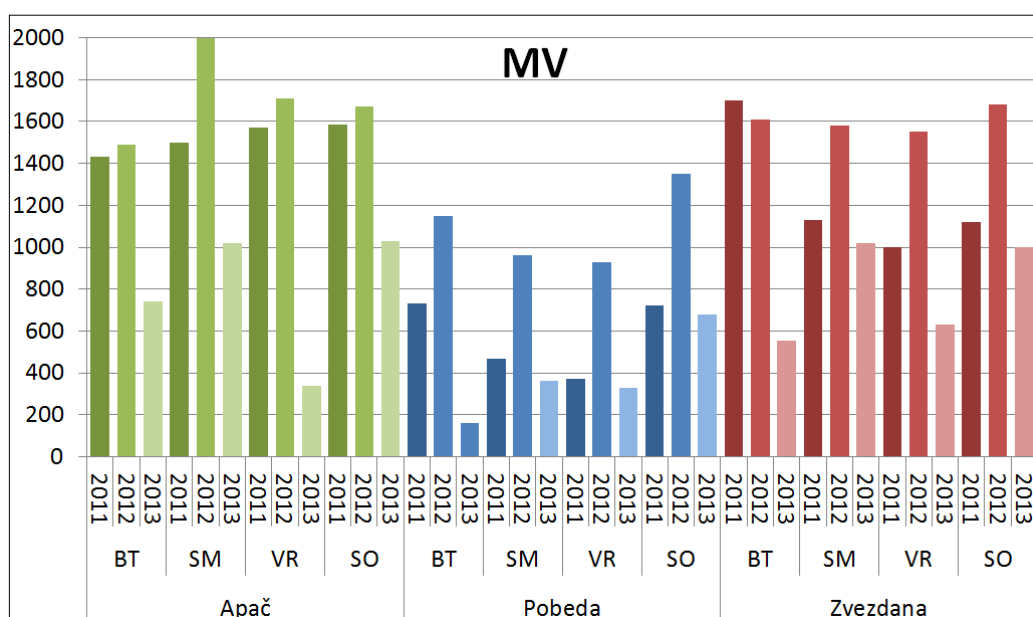
Koncentracija vlažnog glutena je zavisila od sortnih karakteristika pšenice, interakcija između sorte i lokaliteta (SxL), sorte i godine (SxG) i lokaliteta i godine (LxG). Posmatrano po sortama, Pobeda i Zvezdana su se izdvojile po većem sadržaju glutena, dok je Apač u proseku imao najmanji sadržaj glutena. Na slici 35 se može uočiti da su sve sorte gajene na lokalitetu SO u 2011. godini imale najmanji sadržaj glutena, dok su u 2012. godini imale najveći sadržaj glutena na tom lokalitetu. Drugačiji trend je zabeležen kod ispitivanih sorti gajenih u SM, koje su u 2012. godini imale najmanji sadržaj glutena (najveći broj tropskih dana u 2012. godini) a najveći u 2013. godini. Sorte gajene u BT i VR su takođe imale najveću koncentraciju glutena u 2013. godini (prosečne temperature su ispod višegodišnjeg proseka), dok je najmanja koncentracija glutena na ovim lokalitetima zabeležena u 2012. godini (prosečne temperature su značajno iznad višegodišnjeg proseka). Značajan uticaj sorte i interakcije između sorte i lokaliteta je zabeležen i u drugim istraživanjima (Denčić i sar., 2011a; Mladenov i sar., 2001; Zečević i sar., 2009).



Slika 35. Vrednosti sadržaja vlažnog glutena u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

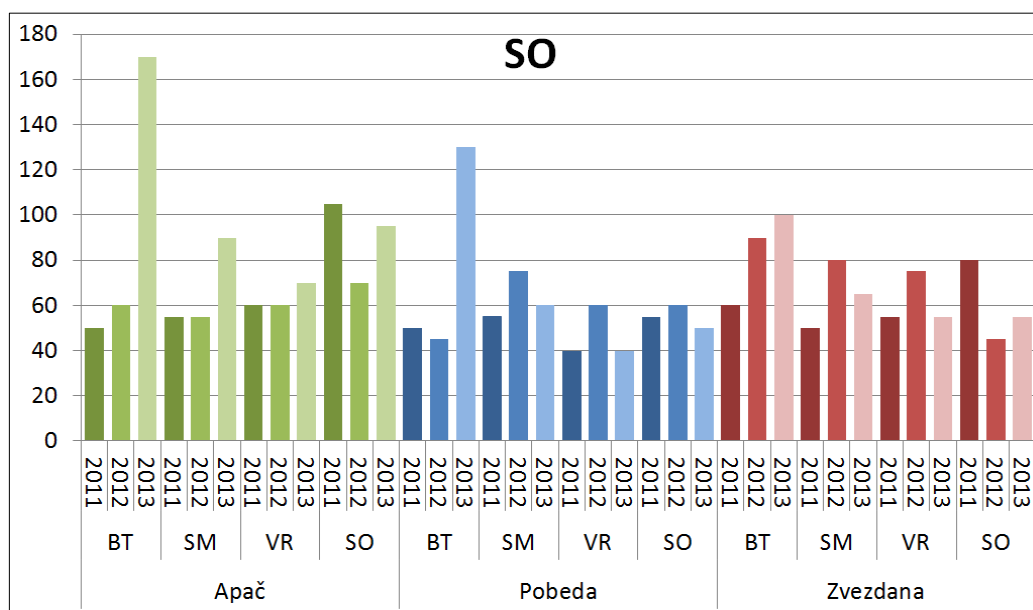
Maksimalni viskozitet je bio pod uticajem sortnih karakteristika pšenice i proizvodne godine. U odnosu na ostale sorte, Pobeda je u proseku ispoljila najmanje vrednosti MV i odgovarajuće za potrebe pekarske proizvodnje (Kaluderski i Filipović, 1988). Vrednosti MV kod Pobede na pojedinim lokalitetima u 2013. godini su bile značajno male i ispod

optimalnih (od 160 do 360 AJ) (slika 36). Posmatrano po godinama, u proizvodnoj 2013. godini vrednosti MV su bile najmanje, dok su u 2012. godini bile značajno iznad optimuma. Najnepovoljniji klimatski uslovi su bili u 2012. godini kada je bila karakteristična po toplotnom stresu, što ukazuje na značajan uticaj klimatskih faktora na proces sinteze skrobne komponente. U radu Yong i sar. (2004) maksimalni viskozitet je bio pod uticajem genotipa, interakcija između godine i lokaliteta i interakcija GxLxY.



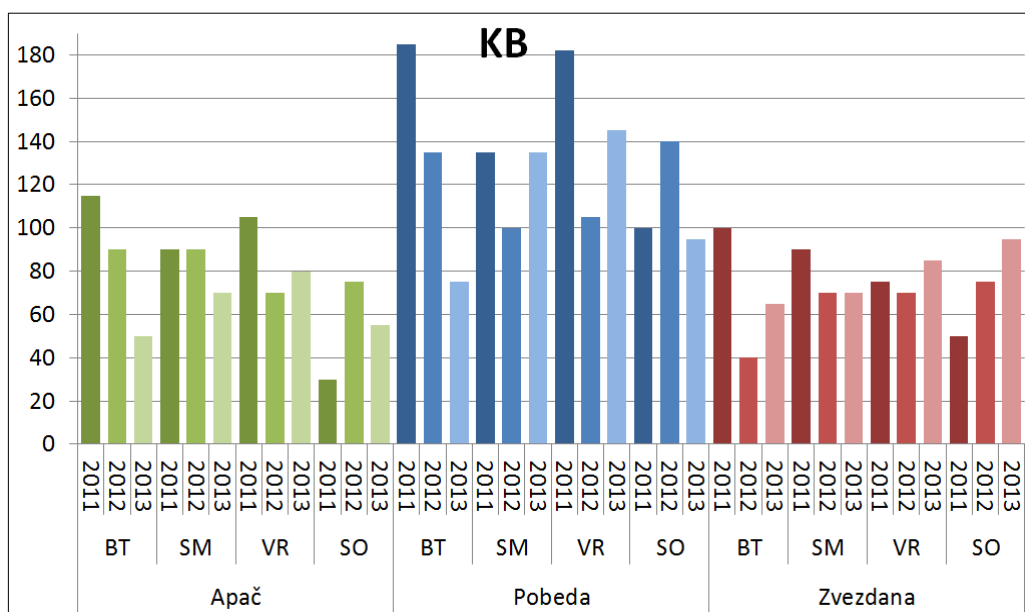
Slika 36. Vrednosti maksimalnog viskoziteta u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

U ovom istraživanju primećen je značajan uticaj lokaliteta i interakcija SxG, SxL i LxG na stepen omekšanja testa. Posmatrajući vrednosti stepena omekšanja testa, može se uočiti da je kod svih sorti na lokalitetu BT u 2013. godini došlo do značajnog povećanja (slika 37). Uzorci gajeni na lokalitetu BT su u proseku imali najveće vrednosti stepena omekšanja i iznad granice optimuma za pekarsku proizvodnju (< 75 BJ) (Stojceska i sar., 2007), dok su uzorci iz VR imali najmanje vrednosti stepena omekšanja. U 2013. godini su vrednosti stepena omekšanja bile veće od optimuma, dok su u 2011. i 2012. godini vrednosti bile odgovarajuće za proizvodnju hleba.



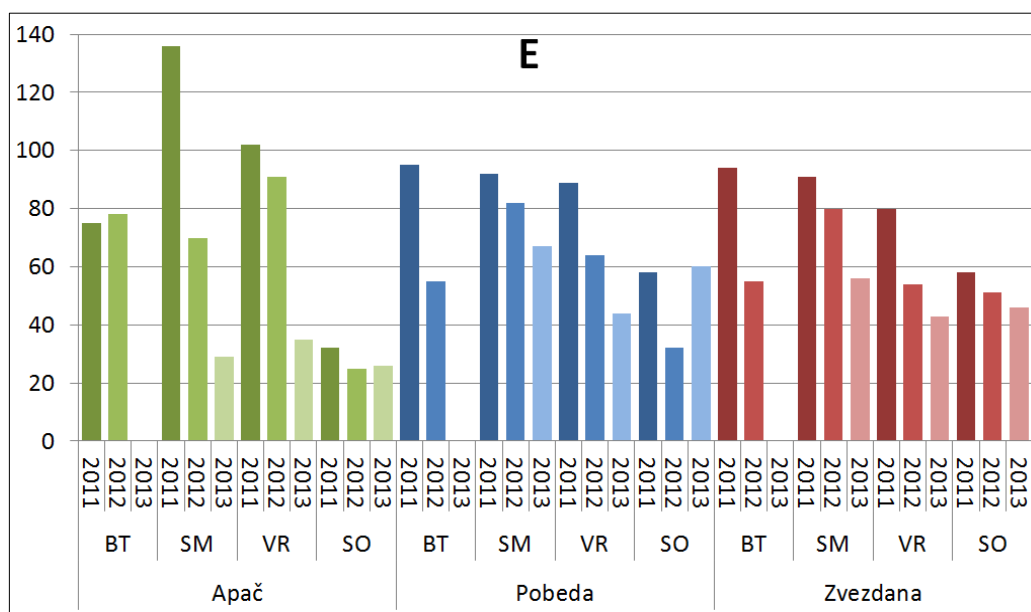
Slika 37. Vrednosti stepena omekšanja u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Vrednosti kvalitetnog broja su bile pod uticajem sortnih karakteristika pšenice i interakcija LxG. Posmatrano po sortama, Pobeda se izdvojila po značajno većim vrednostima kvalitetnog broja (slika 38), koje su bile u opsegu 75-185, što je ukazivalo na odličan tehnološki kvalitet brašna ove sorte pšenice. Na lokalitetu SO u 2011. godini je zabeleženo značajno smanjenje vrednosti KB. U istraživanju Denčić i sar. (2011a), vrednosti kvalitetnog broja su bile prvenstveno sortna karakteristika pšenice, dok su interakcije između sorte i lokaliteta imale najveći uticaj na kvalitetni broj u radu Mladenov i sar. (2001).



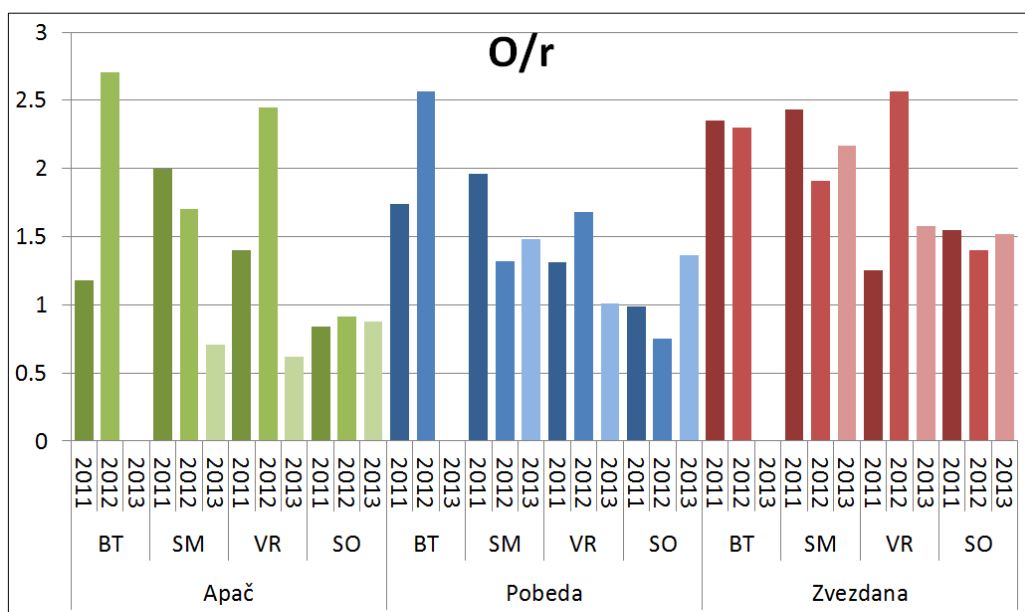
Slika 38. Vrednosti kvalitetnog broja u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Testa od uzoraka pšenice proizvedene na lokalitetu BT u 2013. godini su bila izuzetno lošeg kvaliteta i prilikom merenja na ekstezografu došlo je do kidanja testa na samom početku rastezanja. Vrednosti energije testa, E, su bile pod uticajem lokaliteta, proizvodne godine i LxG. U poređenju sa ostalim ispitivanim lokalitetima, uzorci gajeni u SO su se uzdvojili po najmanjoj prosečnoj jačini jesta, dok su brašna pšenice sa lokaliteta SM imali najveće prosečne vrednosti energije (slika 39). Primećeno je značajno smanjenje vrednosti energije testa kod uzoraka gajenih u 2013. godini (0-67 cm²), što je ukazivalo na značajan uticaj klimatskih faktora tokom te godine. Uzorci iz 2011. godine su imali najveće prosečne vrednosti indikatora jačine testa koje su se kretale u opsegu od 32 do 136 cm².



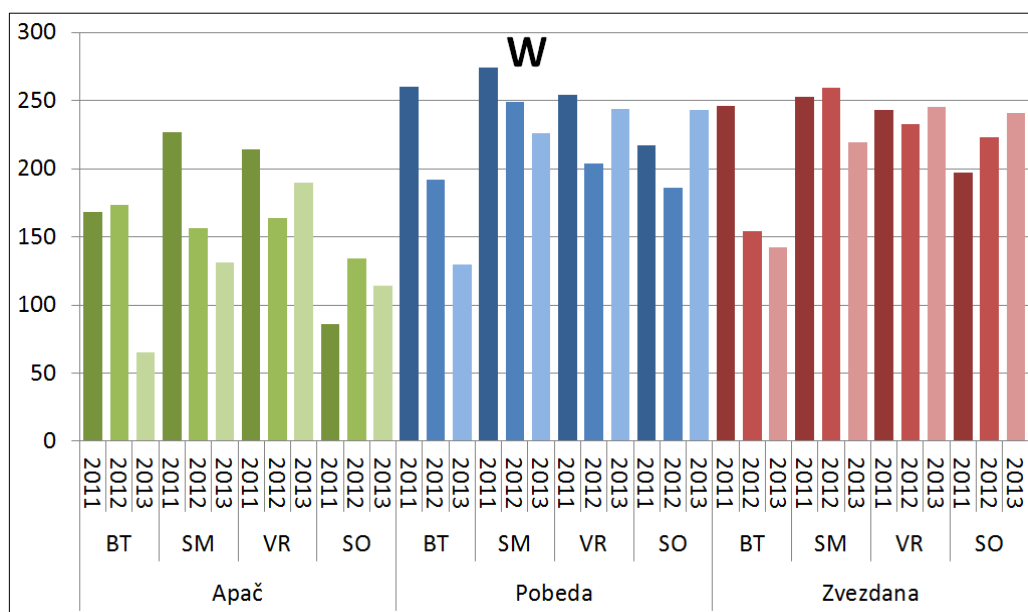
Slika 39. Vrednosti energije testa u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

U ovom radu je uticaj godine, lokaliteta i interakcije LxG na vrednosti odnosnog broja, O_5/r , bio značajan ($p < 0,05$). Brašna iz 2011. i 2012. godine su imale optimalne vrednosti odnosnog broja, što znači da su uzorci iz pomenutih proizvodnih godina imali odgovarajuć odnos elastičnih i viskoznih osobina (slika 40). U 2013. godini je prosečna vrednost odnosnog broja bila značajno manja, što je ukazivalo na dominantnu rastegljivost testa u odnosu na jačinu. Iako su ispitivani lokaliteti u proseku ispoljili zadovoljavajuće vrednosti odnosnog broja, najniže vrednosti su imali uzorci iz SO, dok su uzorci pšenice iz SM imali najveće prosečne vrednosti odnosnog broja.



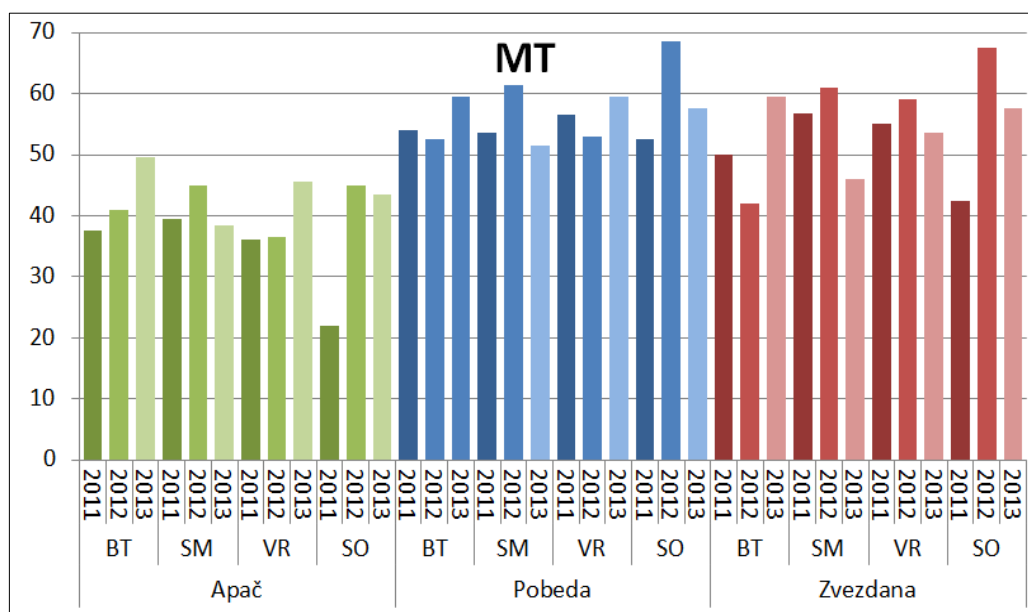
Slika 40. Vrednosti odnognog broja u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Varijacije u vrednostima rada deformacije, W , su rezultat uticaja sorte, lokaliteta, godine i interakcija $S \times G$ i $L \times G$. Posmatrano po sortama, Apač se izdvojio po najnižim prosečnim vrednostima W (slika 41). Vrednosti W kod Apača su se kretale u opsegu od 65 do 214 cm^2 , što ukazuje da je ova sorta na pojedinim lokalitetima ispoljila loš kvalitet a na pojedinim standardan kvalitet (Bordes i sar., 2008). Pobeda i Zvezdana su u proseku imale visoke vrednosti W , na osnovu kojih se klasifikuju kao sorte odličnog kvaliteta. Međutim, i kod ovih sorti je na lokalitetu BT u 2012. i 2013. godini došlo do pogoršanja kvaliteta (male vrednosti W). Najpovoljnije vrednosti za potrebe pekarstva su imala brašna pšenice iz 2011. godine, dok su najnepovoljnije vrednosti imali uzorci iz 2013 godine. Lokaliteti SO i BT su se značajno razlikovali ($p < 0,05$) od lokaliteta SM i VR u pogledu vrednosti W . Naime, uzorci iz SO i BT su imali u proseku najmanju jačinu testa. U istraživanju Li i sar. (2013), sorta je bila primarni faktor koji je uticao na vrednosti pokazatelja jačine testa.



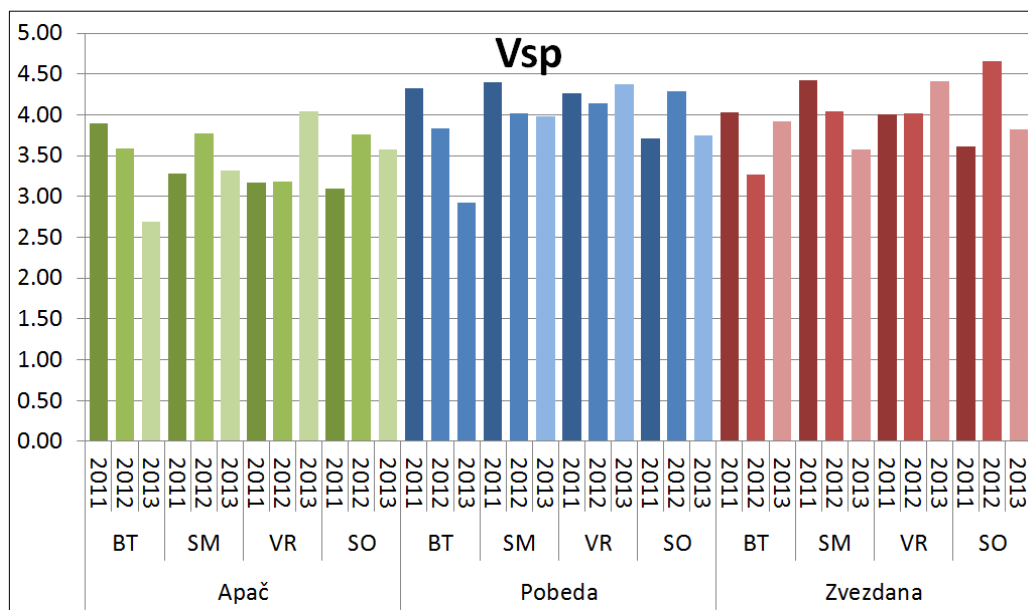
Slika 41. Vrednosti rada deformacije u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Varijacije u vrednostima glutopik maksimalne torzije, MT, su posledica sortnih osobina pšenice, proizvodne godine i interakcije GxL. Sorta Apač se izdvojila po najnižim prosečnim vrednostima MT, na osnovu kojih se klasifikuje kao sorta lošijeg kvaliteta ($MT < 50$ BJ), dok su se Pobeda i Zvezdana izdvojile po većim prosečnim vrednostima MT ($MT > 50$ BJ), na osnovu kojih se definišu kao sorte dobrog kvaliteta (slika 42). Međutim, kod Zvezdane je na pojedinim lokalitetima vrednost MT bila znatno niža od 50 BJ, dok se kod Pobede vrednost MT nije značajno menjala uprkos različitim lokalitetima i klimatskim uslovima u proizvodnim godinama. Nisu zabeležene značajne razlike u vrednosti MT među posmatranim lokalitetima. Proizvodnu 2011. godinu su u proseku imala najniže vrednosti MT, dok su 2012. i 2013. godina imale zadovoljavajuće prosečne vrednosti.



Slika 42. Vrednosti maksimalne torzije u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Vrednosti najvažnijeg pokazatelja kvaliteta hleba, specifične zapremine, V_{sp} , su pod uticajem sortnih karakteristika pšenice, proizvodne godine i interakcija LxG. Posmatrano po sortama, specifična zapremina hlebova proizvedenih od brašna sorte Apač je bila najmanja i kretala se u opsegu od 2,69 do 4,04 cm³ g⁻¹. Najmanje vrednosti V_{sp} hleba od Apača su bile očekivane, obzirom da je ova sorta imala najmanji sadržaj proteina, glutena i rada deformacije. Od domaćih sorti najujednačeniju specifičnu zapreminu hleba imala je sorta Pobeda, što nije iznenađujuće, obzirom da Pobeda pripada grupi odličnih hlebnih sorti kao i grupi poboljšivača. Zahvaljujući visokoj adaptabilnosti i odličnom pecivnom kvalitetu ova sorta je prisutna u proizvodnji više od jedne decenije (Denčić i sar., 2011b). Uprkos tome što su se pokazatelji jačine testa i kvaliteta brašna značajno razlikovali u proizvodnim godinama, razlike u kvalitetu hleba nisu bile u velikoj meri izražene. Najmanje vrednosti V_{sp} su imali hlebovi od brašna pšenice proizvedene u 2013. godini, dok su hlebovi od uzoraka iz 2011. i 2012. godine imali nešto veće vrednosti (slika 43).

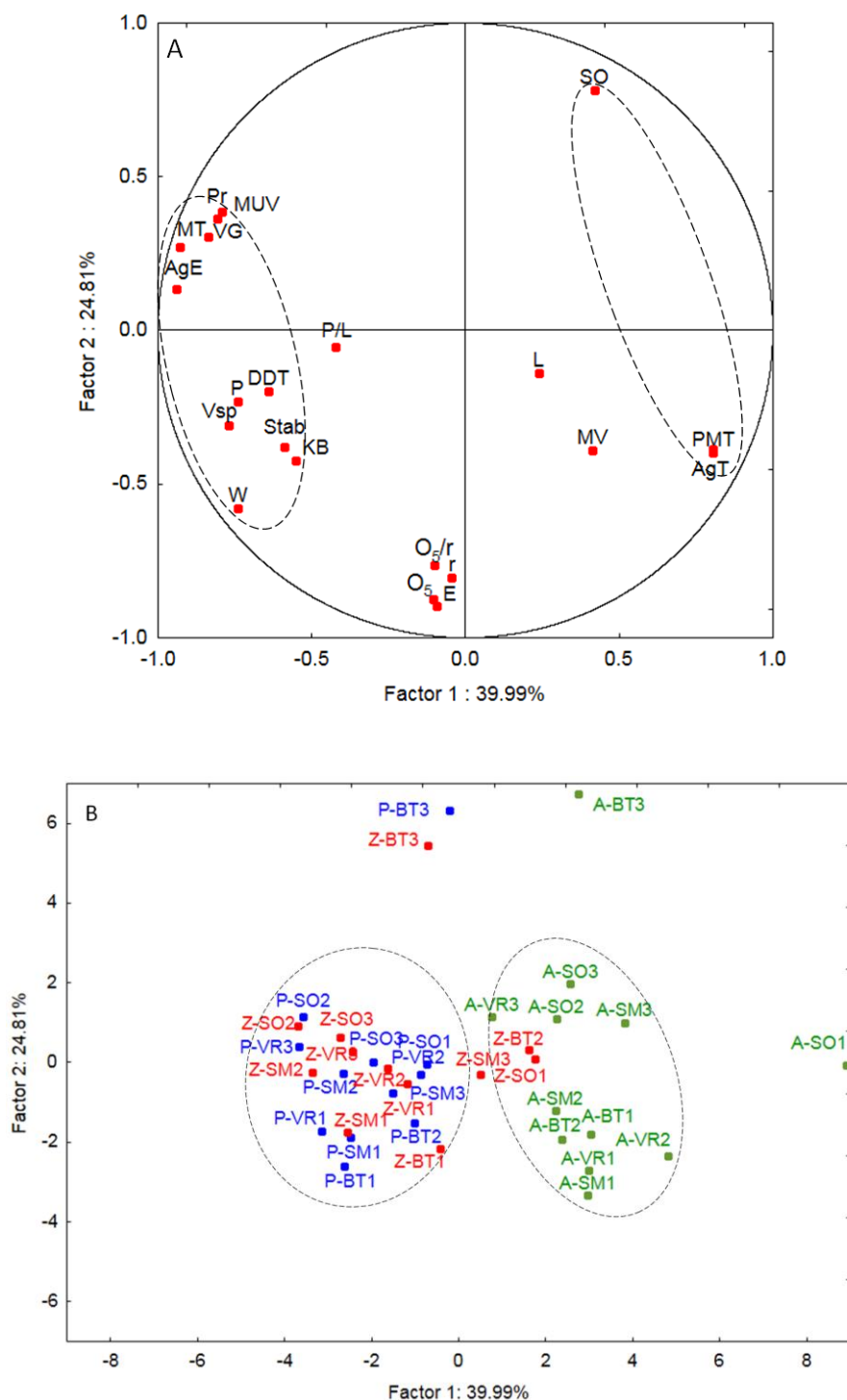


Slika 43. Vrednosti specifične zapremine hleba u zavisnosti od sorte, lokaliteta i godine

Kvalitet brašna zavisi od velikog broja spoljašnjih faktora i individualni doprinos svakog faktora varira u zavisnosti od odgovora sorte na uslove gajenja (Mladenov i sar., 2001). Velike varijacije u kvalitetu brašna na ispitivanim lokalitetima kroz tri proizvodne godine jasno ukazuju na značaj ispitivanja interakcija između sortimenta i uslova gajenja (lokaliteta i godina) i razvoja strategija koje imaju za cilj smanjenje uticaja spoljašnjih faktora na kvalitet pšenice (Finlay i sar., 2007).

5.3.1. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na pokazatelje kvaliteta brašna i hleba iz tri proizvodne godine

PC analiza je korišćena u cilju vizualizacije odnosa između pokazatelja kvaliteta brašna i hleba proizvedenog od uzoraka brašna iz tri proizvodne godine. Pve dve komponente objašnjavaju 64,8% ukupne varijanse osnovnog seta podataka, dok prve tri komponente objašnjavaju preko 70% varijanse.



Slika 44. a) PCA grafik (loading plot) međusobne zavisnosti pokazatelja kvaliteta brašna i hleba, b) (score plot) distribucija ispitivanih sorti pšenice iz tri proizvodne godine

Kada se posmatra veza između pokazatelja kvaliteta hleba, V_{sp} i indikatora reoloških karakteristika testa, utvrđen je mali broj jakih korelacija (slika 44a). Zapremina hleba se povećala sa povećanjem rada deformacije ($r = 0,707$, $p < 0,05$) što je u saglasnosti sa

Addo i sar. (1990). Jaka korelacija je zabeležena između V_{sp} i maksimalne torzije ($r = 0,626$, $p < 0,05$), žilavosti testa ($r = 0,589$, $p < 0,05$), kvalitetnog broja ($r = 0,551$, $p < 0,05$), sadržaja glutena ($r = 0,579$, $p < 0,05$) i proteina ($r = 0,542$, $p < 0,05$). Umerena korelacija je postignuta između V_{sp} i MUV ($r = 0,512$, $p < 0,05$), razvoja ($r = 0,512$, $p < 0,05$) i stabilneta testa ($r = 0,504$, $p < 0,05$). Zapremina hleba se smanjila sa povećanjem stepena omekšanja ($r = -0,679$, $p < 0,05$), vremena postizanja maksimuma torzije ($r = -0,447$, $p < 0,05$) i vremena agregacije ($r = -0,446$, $p < 0,05$). Parametri koji su pozicionirani duž negativnih vrednosti prve komponente pozitivno su uticali na povećanje V_{sp} , dok su indikatori koji se prostiru duž pozitivnih vrednosti prve komponente nepovoljno uticali na V_{sp} .

Na slici 44b je dat prikaz distribucije ispitivanih uzoraka brašna iz tri proizvodne godine. Na slici se može jasno uočiti formiranje dva klastera uzoraka. Jedan klaster čine uzorci sorte Apač koji su pozicionirani u oblasti negativnih vrednosti prve komponente i koji su imali lošije pokazatelje kvaliteta (sadržaj glutena, rad deformacije). Drugi klaster čine uzorci sorte Pobeda i Zvezdana koji su ispoljili bolji pecivni kvalitet. Od ove dve sorte, uniforminiji kvalitet je imala sorta Pobeda, koja pripada grupi odličnih hlebnih sorti i ispojila je najveće vrednosti kvalitetnog broja, energije, rada deformacije, maksimalnu torziju, najmanji stepen omekšanja i optimalnu vrednost maksimalnog viskoziteta.

Poglavlje 6

Zaključak

Zaključci koji se odnose na ispitivanje mogućnosti primene nove glutopik metode u proceni kvaliteta brašna pšenice i gotovog proizvoda:

- Kako bi se ispitale i iskoristile mogućnosti reološkog uređaja glutopik za procenu kvaliteta pšeničnog brašna definisani su optimalni uslovi merenja koji su podrazumevali upotrebu NaCl kao rastvarača i zadate parametre temperature (36 °C), obrtne brzine mešača (2700 rpm) i odnos brašna i rastvarača (8,5/9,5).
- Korelativnom analizom je utvrđeno da sadržaj proteina i glutena brašna značajno utiču na parametre dobijene merenjem na glutopiku. Brašna koje karakteriše veći sadržaj proteina i glutena brže formiraju jaku glutensku strukturu, dok brašna sa relativno malom koncentracijom proteina i glutena sporije formiraju glutensku mrežu koju karakteriše slabija struktura. Visok stepen korelacije je zabeležen između parametara glutopika i farinografskih i alveografskih pokazatelja kvaliteta brašna, dok veza između ekstenzografskih parametara i glutopik parametara nije primećena. Visok stepen korelacije je zabeležen između parametara glutopika i moći upijanja vode i razvoja testa određenih pomoću miksolaba. Primenom fundamentalnih reoloških testova dobijene su negativne korelacije između glutopik parametara (maksimalna torzija i energija agregacije) i pokazatelja jačine testa G' , koje se mogu objasniti dominantnim interakcijama između skrobnih molekula u odnosu na interakcije između proteina. Takođe je

utvrđena značajna korelacija između parametara glutopika i pokazatelja kvaliteta hleba u pogledu specifične zapremine i teksturnih karakteristika sredine hleba.

- Primenom glutopik metode može se izvršiti klasifikacija brašna prema kvalitetu, na brašna dobrog i lošeg kvaliteta. Brašna dobrog kvaliteta karakterisale su vrednosti maksimalne torzije veće od 50 BJ i vrednosti energije agregacije veće od 1300 GPJ. Diferencijacija brašna standardnog kvaliteta nije moguća primenom ove metode. Vrednosti maksimalne torzije od 50 BJ i energije agregacije od 1300 GPJ su predložene kao granične vrednosti. Ustanovljeno je da glutopik ima veliki potencijal da zameni alveograf u proceni kvaliteta brašna u mlinarskoj i pekarskoj industriji.
- Utvrđeno je da glutopik ima sposobnost klasifikacije pšeničnih sorti prema kvalitetu. Sorte Pobeda, Zvezdana i Gordana, koje su na osnovu vrednosti alveografskog rada deformacije pripadale klasi standardnog ili odličnog kvaliteta imale su vrednosti maksimalne torzije i energije agregacije veće od predloženih graničnih, dok su Apač, Etida i Gora, koje su pripadale klasi lošeg ili standardnog kvaliteta imale vrednosti maksimalne torzije i energije agregacije manje od graničnih. Primenom glutopik metode nije utvrđena diferencijacija uzoraka prema lokalitetu gajenja, što je ukazivalo da je klasifikacija brašna na osnovu parametara glutopika preventivno određena sortnim karakteristikama pšenice.
- Primenom regresionih modela ustanovljeno je da se pomoću parametara glutopika najbolje predviđanje postiže kod reoloških parametara koji zavise od sadržaja proteina kao što su moć upijanja vode i žilavost testa. Primenom glutopik metode postignuta je umerena predikcija specifične zapremine hleba, dok je postignuta veoma dobra predikcija teksturnih karakteristika sredine hleba.

Zaključci koji se odnose na uticaj sorte i lokaliteta na tehnološki kvalitet brašna pšenice iz dve proizvodne godine:

- Na osnovu empirijskih reoloških pokazatelja kvaliteta ustanovljeno je da su brašna domaćih sorti (Pobeda, Zvezdana i Gordana) odličnog kvaliteta koje karakteriše visok sadržaj proteina, veliki stabilitet testa, mali stepen omekšanja, velike vrednosti rada deformacije i energije. Od domaćih sorti Gordana se izdvojila po najvećoj koncentraciji i kvalitetu glutena i najvećoj jačini testa.

Brašno sorte Apač je lošijeg tehnološkog kvaliteta koje se odlikuje malim sadržajem proteina i lošijim kvalitetom glutena i jačinom testa.

- Optimalne vrednosti maksimalnog viskoziteta za proizvodnju hleba u 2011. godini su postigle sorte Gordana i Pobeda, dok je u 2012. godini optimalnu vrednost ovog parametra imala samo Gordana. Značajno povećanje prosečnih vrednosti maksimalnog viskoziteta je zabeleženo u 2012. godini kao posledica uticaja klimatskih faktora na proces sinteze skroba.
- Merenjima na glutopiku je utvrđeno da su domaće sorte u obe proizvodne godine imale sposobnost brzog formiranja jake glutenske mreže, dok je Apač karakterisalo sporo formiranje slabe glutenske strukture. Brašno sorte Gordana je imalo najkonzistentniji kvalitet uprkos različitim mikroklimatskim uslovima na ispitivanim lokalitetima.
- Uprkos lošijim pokazateljima kvaliteta testa određenih empirijskim reološkim metodama, brašno sorte Apač je u uslovima testa malih deformacija ispoljilo najveću jačinu testa i otpornost na deformaciju, što je bilo posledica dominantnog uticaja skrobne komponente brašna u datim uslovima merenja.
- Najmanju prosečnu vrednost specifične zapremine hleba u obe godine imala je sorta Apač koja je u proseku imala i najmanje vrednosti sadržaja proteina i glutena i najmanji rad deformacije. Kod domaćih sorti je u 2012. godini došlo do smanjenja specifične zapremine hleba u odnosu na 2011. godinu usled promena u kvalitetu proteina izazvanih klimatskim faktorima. Kod Apača je u 2012. godini došlo do povećanja specifične zapremine koje može biti posledica povećanja vrednosti rada deformacije kod ove sorte. Zbijenu strukturu sredine hleba sa velikim brojem malih pora kao posledicu velike čvrstoće sredine imala je sorta Apač koja je ispoljila i najmanju otpornost na retrogradaciju skroba. Hlebovi proizvedeni od domaćih pšeničnih sorti su imali rastresitu strukturu sredine sa izraženim velikim porama i malu čvrstoću sredine. Od domaćih sorti najujednačeniji kvalitet hleba u obe godine je ispoljila sorta Pobeda.
- U 2011. godini pokazatelji kvaliteta brašna su dominantno sortno određeni, međutim, zabeležen je i određeni uticaj mikroklimatskih faktora na lokalitetima gajenja. Domaće sorte su na mikroklimatski povoljnijim lokalitetima ispoljile

dobar kvalitet, dok su mikroklimatski nepovoljniji lokaliteti uticali na pogoršanje kvaliteta ovih sorti. Odličan i najstabilniji kvalitet brašna u 2011. godini je imala sorta Gordana koja je pokazala najveću adaptabilnost na mikroklimatske faktore. Apač je uniformno imao najlošiji kvalitet duž svih ispitivanih lokaliteta. Tehnološki kvalitet brašna iz 2012. godine je prvenstveno uslovnjen sortnim osobinama pšenice, ali i uticajem mikroklimatskih faktora na lokalitetu gajenja i mogućim interakcijama između sorte i lokaliteta. Domaće sorte su u 2012. godini imale promenljiv kvalitet u zavisnosti od lokaliteta gajenja.

- Najbolje predviđanje specifične zapremine hleba proizvedenog od brašna pšenice iz 2011. godine je postignuto primenom sadržaja vlažnog glutena, dok je najbolje predviđanje čvrstoće sredine hleba postignuto pomoću maksimalne torzije određene glutopikom. Za postizanje uspešne predikcije kvaliteta hleba od brašna iz 2012. godine, neophodno je izvesti nekoliko različitih reoloških merenja. Stoga se specifična zapremina hleba najbolje predvidela kombinacijom sadržaja vlažnog glutena, farinografskog razvoja testa i kvalitetnog broja, dok je visok stepen predikcije čvrstoće sredine hleba postignut primenom sadržaja proteina i maksimalne torzije.

Zaključci koji se odnose na ispitivanje uticaja sortimenta, lokaliteta, proizvodne godine i njihovih interakcija na tehnološki kvalitet brašna:

- Zabeležene su velike varijacije u kvalitetu brašna i hleba na ispitivanim lokalitetima i u proizvodnim godinama, što jasno ukazuje na značajan uticaj interakcija između sortimenta i uslova gajenja (lokaliteta i godina), kao i značaj ispitivanja ovih interakcija i razvoja strategija koje imaju za cilj smanjenje uticaja spoljašnjih faktora na kvalitet pšenice.
- Najlošije vrednosti pokazatelja kvaliteta brašna i hleba imala je sorta Apač koja je u proseku ispoljila najmanji sadržaj glutena, najveći stepen omekšanja, najmanju vrednost energije testa, rada deformacije i specifičnu zapreminu hleba. Najpovoljniji kvalitet za proizvodnju hleba je imala Pobeda koju karakteriše najveći sadržaj glutena, optimalna vrednost maksimalnog viskoziteta, najveća vrednost kvalitetnog broja, energije testa, rada deformacije, maksimalne torzije i ujednačena vrednost specifične zapremine hleba.

- Uzorci brašna proizvedeni u 2013. godini su u proseku imali najlošije vrednosti pokazatelja jačine testa, odnosno, najmanje prosečne vrednosti energije testa, rada deformacije i kvalitetnog broja i najveće vrednosti stepena omekšanja.
- Uzorci pšenice gajeni na lokalitetu Bačka Topola i Sombor su imali najlošije pokazatelje jačine testa, odnosno, najmanje prosečne vrednosti energije i rada deformacije, i veći udeo viskozne komponente u odnosu na elastičnu komponentu testa. Uzorke iz Vršca i Sremske Mitrovice su karakterisale znatno jača testa i odgovarajući odnos elastičnih i viskoznih osobina.

Literatura

- Abang Zaidel, D.N., Chin, N.L., Yusof, Y.A. (2010). A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Journal of Applied Sciences*, 10 (20), 2478–2490.
- AbuHammad, W.A., Elias, E.M., Manthey, F.A., Alamri, M.S., Mergoum, M. (2012). A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 2561–2573.
- Addo, K., Coahran, D.R., Pomeranz, Y. (1990). A new parameter related to loaf volume based on the first derivative of the alveograph curve. *Cereal Chemistry*, 67 (1), 64–69.
- Ai, Y., Jane, J. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch– A review. *Starch/Stärke*, 67, 213–224
- Altenbach, S.B. (2012). New insights into the effects of high temperature, drought and post-anthesis fertilizer on wheat grain development. *Journal of Cereal Science*, 56, 39–50.
- Amemiya, J.I., Menjivar, J.A. (1992). Comparison of small and large deformation measurements to characterize the rheology of wheat flour doughs. *Journal of Food Engineering*, 16, 91–108.
- Amjid, M.R., Shehzad, A., Hussain, S., Shabbir, M.A., Khan, M.R., Shoaib, M. (2013). A comprehensive review on wheat flour dough rheology. *Pakistan Journal of Food Sciencies*, 23 (2), 105–123.
- Asseng, S., Foster, I., Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17, 997–1012.

- Attenburrow, G.E., Barnes, D.J., Davies, A.P., Ingman, S.J. (1990). Rheological properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, 12, 1–14.
- Atwell, W.A. (1998). Method for reducing syruing in refrigerated doughs. Patent Application WO 97/26794.
- Autio, K., Flander, L., Kinnunen, A., Heinonen, R. (2001). Bread quality relationship with rheological measurements of wheat flour dough. *Cereal Chemistry*, 78, 654–657.
- Balla, K., Rakszegi, M., Li, Z.G., Bekes, F., Bencze, S., Veisz, O. (2011). Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech Journal of Food Science*, 29, 117–128.
- Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11–38.
- Biliaderis, C.G., Izydorczyk, M.S., Rattan, O. (1995). Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*, 5, 165–171.
- Blumenthal, C., Bekes, F., Gras, P.W., Barlow, E.W.R., Wrigley, C.W. (1995). Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chemistry*, 72, 539–544.
- Blumenthal, C.S., Barlow E.W.R., Wrigley, C.W. (1993). Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 18, 3–21.
- Blumenthal, C.S., Batey, I.L., Bekes, F., Wrigley, C.W., Barlow, E.W.R. (1991). Seasonal changes in wheat-grain quality associated with high temperatures during grain-filling. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42 (1) 21–30.
- Bloksma, A.H. (1990). Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World*, 35, 237–244.
- Bouachra, S., Begemann, J., Aarab, L., Hüsken, A. (2017). Prediction of bread wheat baking quality using an optimized GlutoPeak®-Test method. *Journal of Cereal Science*, 76, 8–16.
- Bordes, J., Branlard, G., Foury, X., Charmet, G., Balfourier, F. (2008). Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, 48, 569–579.

- Bourne, M.C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2nd ed.). Academic Press, UK.
- Carson, G.R., Edwards, N.M. (2009). Criteria of wheat and flour quality. In: K.Khan, P.R. Shewry (Eds.), *Wheat: chemistry and technology* (4th ed.) (pp. 97–118). St. Paul, MN: Association of Cereal Chemists, Inc., USA.
- CHOPIN Technologies Applications Laboratory (2012). *Mixolab applications handbook. Rheological and Enzymatic Analysis*, Chopin Technology, Villeneuve-la-Garenne, France.
- Clerici, M.T.P.S., Airoidi, C., El-Dash, A.A. (2009). Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. *LTW-Food Science and Technology*, 42, 618-623.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Collar, C., Bollaín, C., Rosell, C.M. (2007). Rheological behaviour of formulated bread doughs during mixing and heating. *Food Science and Technology International*, 13, 99–107.
- Courtin, C.M., Delcour, J.A. (2002). Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *Journal of Cereal Science*, 35, 225–243.
- Cuq, B., Yildiz, E., Kokini, J. (2002). Influence of mixing conditions and rest time on capillary flow behavior of wheat flour dough. *Cereal Chemistry*, 79 (1), 129-137.
- Ćurić, D., Karlović, D., Tušak, D., Petrović, B., Đugum, J. (2001). Gluten as a standard of wheat flour quality. *Food Technology and Biotechnology*, 39, 353–361.
- Daniel, C., Triboï, E. (2000). Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 32, 45–56.
- Dapčević, T., Hadnađev, M., Pojić, M. (2009). Evaluation of the possibility to replace conventional rheological wheat flour quality control instruments with the new measurement tool – Mixolab. *Agriculturae Conspectus Scientifici*, 74(3), 169–174.

- Dapčević Hadnađev, T., Pojić, M., Hadnađev, M., Torbica, A. (2011). The role of empirical rheology in flour quality control. In: I. Akyar (Ed.), *Wide spectra of quality control* (pp. 335–360). Rijeka: InTech, Croatia.
- Dapčević Hadnađev, T., Torbica, A., Hadnađev, M. (2013). Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough. *Food and Bioprocess Technology*, 6(7), 1770–1781.
- Diez-Gonzalez, F. (2014). Evaluating a new rapid technique to assess spring wheat flour performance, 2014 Research Report, available at <http://www.extension.umn.edu/agriculture/crops-research/wheat/2014/docs/2014-new-wheat-flour-performance-technique.pdf>.
- Debet, M.R., Gidley, M.J. (2006). Three classes of starch granule swelling: influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, 64, 452–465.
- Denčić, S., Mladenov, N., Kobiljski, B. (2011a). Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*, 5, 71–82.
- Denčić, S., Kobiljski, B., Mladenović, G., Kovačević, N. (2011b). Sadašnjost i budućnost NS sortimenta pšenice. *Zbornik Referata Instituta za Ratarstvo i Povrtarstvo Novi Sad*, 15–25.
- Dobraszczyk, B.J., Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38 (3), 229–245.
- Don, C., Mann, G., Bekes, F., Hamer, R.J. (2006). HMW-GS affect the properties of glutenin particles in GMP and thus flour quality. *Journal of Cereal Science*, 44, 127–136.
- Dowell, F.E., Maghirang, E.B., Pierce, R.O., Lookhart, G.L., Bean, S.R., Xie, F., Caley, M.S., Wilson, J.D., Seabourn, B.W., Ram, M.S., Park, S.H., Chung, O.K. (2008). Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal Chemistry*, 85 (1), 82–91.
- Dubat, A., Boinot, N. (2012). *Mixolab applications handbook. Rheological and enzymes analyses*. Villeneuve La Garenne, France: Chopin Technology.
- Dupont, M.F., Altenbach, B.S. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*, 38, 133–146.

- Dupont, F.M., Hurkman, W.J., Vensel, W.H., Chan, R., Lopez, R., Tanaka, C.K., Altenbach, S.B. (2006). Differential accumulation of sulfur-rich and sulfur-poor wheat flour proteins is affected by temperature and mineral nutrition during grain development. *Cereal Chemistry*, 44, 101–112.
- Elangovan, M., Rai, R., Dholakia, B.B., Lagu, M.D., Tirwari, R., Gupta, R.K., Rao, V.S., Roder, M.S., Gupta, V.S. (2008). Molecular genetic mapping of quantitative trait loci associated with loaf volume in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereal Science*, 47, 587–598.
- Eliasson, A.C., Larsson, K. (1993). *Cereals in breadmaking. A molecular colloidal approach*. NY Marcel Dekker, New York.
- FAOSTAT, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Finney, K.F. (1985). Experimental breadmaking studies, functional (breadmaking) properties, and related gluten protein fractions. *Cereal Foods World*, 30, 794–801.
- Finlay, G.J., Bullock, P.R., Sapirstein, H.D., Naeem, H.A., Hussain, A., Angadi, S.V., DePauw, R.M. (2007). Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of western Canadian spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 87, 679–690.
- Foca, G., Ulrici, A., Corbellini, M., Pagani, M.A., Lucisano, M., Franchini, G.C., Tassi, L. (2007). Reproducibility of the Italian ISQ method for quality classification of bread wheats: an evaluation by expert assessors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 839–846.
- Fu, B.X., Wang, K., Dupuis, B. (2017). Predicting water absorption of wheat flour using high shear-based GlutoPeak test. *Journal of Cereal Science*, 76, 116–121.
- Gan, Z., Ellis, P.R., Schofield, J. D. (1995). Mini review: Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough. *Journal of Cereal Science*, 21, 215–230.
- Garrido-Lestache, E., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L. (2004). Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 85, 213–236.
- Gianibelli, M.C., Larroque, O.R., MacRitchie, F., Wrigley, C.W. (2001). Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chemistry*, 78 (6), 635-646.

Glutopik product brochure (2016). available at: http://neuheiten.koelnmesse.net/750/2015/de/products/download_whitepaper/20641

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C.M., Gebruers, K., Delcour, J.A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 12–30.

Goldstein, A., Ashrafi, L., Seetharaman, K. (2010). Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour. *International Journal of the Food Science and Technology*, 45 (8), 1641–1646.

Gómez, M., Ronda, F., Caballero, P.A., Blance, C.A., Rosell, C.M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21 (2), 167–173.

Graybosch, R.A., Peterson, C.J., Moore, K.J., Stearns, M., Grant, D.L. (1993). Comparative effects of wheat flour protein, lipid and pentosan composition in relation to baking and milling quality. *Cereal Chemistry*, 70, 95–101.

Graybosch, R.A., Peterson, C.J., Shelton, D.R., Baezinger, P.S. (1996). Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Science*, 36, 296–300.

Gray, J.A., Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1–21.

Gujral, H.S., Gaur, S., Rosell, C.M. (2003). Note: Effect of barley flour, wet gluten and ascorbic acid on bread crumb texture. *Food Science and Technology International*, 9 (1), 17–21.

Hadnađev, M., Dapčević Hadnađev, T., Pojić, M. (2016). Glutopik method: Assessment of its ability to discriminate among wheat flours of different quality. In: *Proceedings of III International Congress of Food Technology, Quality and Safety*. Novi Sad, Serbia: University of Novi Sad, Institute of Food Technology, pp. 495–498.

Hrušková M., Švec I. (2009). Wheat hardness in relation to other quality factors. *Czech Journal of Food Sciences*, 27, 240–248.

Hurkman W.J., McCue K.F., Altenbach S.B., Korn, A., Tanaka, C.K., Kothari, K.M., Johnson, E.L., Bechtel, D.B., Wilson, J.D., Anderson, O.D., DuPont, F.M. (2003) Effect of

- temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science*, 164, 873–881.
- He, H., Hosney, R.C. (1991). Differences in gas retention, protein solubility, and rheological properties between flours of different baking quality. *Cereal Chemistry*, 68, 526–530.
- Hosney, R.C. (1994). *Principles of cereal science and technology* (2nd ed.). St. Paul, MN: Association of Cereal Chemists, Inc, USA
- Hosney, R.C. (1985). The mixing phenomenon. *Cereal Foods World*, 30, 453–457.
- ICC. International Association for Cereal Science and Technology, International Association for Cereal Science and Technology, Vienna, Austria. Standard Methods 114/1, 115/1, 121, 126/1 (1992), 155, 137/1 (1994), 173 (2011).
- Issarny, C., Cao, W., Falk, D., Seetharaman, K., Bock, J.E. (2017). Exploring functionality of hard and soft wheat flour blends for improved end-use quality prediction. *Cereal Chemistry*, 94, 723–732.
- Janssen, A.M., van Vliet, T., Vereijken, J.M. (1996). Rheological behaviour of wheat glutes at small and large deformations. Comparison of two glutes differing in bread making potential. *Journal of Cereal Science*, 23, 19–31.
- Johansson, E. (2002). Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities, and protein concentration and composition. *Euphytica*, 126, 143–149.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M.L., Svensson, G., Jönsson, J.Ö. (2003). Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and amount and size distribution of mono- and polymeric proteins in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 140, 275–284.
- Johansson, E., Svensson, G. (1998). Variation in bread-making quality: effects of weather parameters on protein concentration and quality in some Swedish wheat cultivars grown during the period 1975–1996. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78, 109–118.
- Johnson, J.A., Khan, M.N.A., Sanchez, C.R.S. (1972). Wheat cultivars, environment and breadmaking quality. *Cereal Science Today* 17, 323–326.

- Kaluđerski, G., Filipović, N. (1998). Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda. Novi Sad: Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Zavod za tehnologiju žita i brašna. SRJ Jugoslavija
- Karim, A.A., Norziah, M.H., Seow, C.C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation– A review. *Food Chemistry*, 71, 9–36.
- Kaur Chandi, G., Seetharaman, K. (2012). Optimization of gluten peak tester: A statistical approach. *Journal of Food Quality*, 35, 69–75.
- Khatkar, B.S., Bell, A.E., Schofield, J.D. (1995). The dynamic rheological properties of glutes and gluten sub-fractions from wheats of good and poor bread making quality. *Journal of Cereal Science*, 22, 29–44.
- Khatkar, B.S., Schofield, J.D. (2002a). Dynamic rheology of wheat flour dough. I. Non-linear viscoelastic behaviour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 827–829.
- Khatkar, B.S., Schofield, J.D. (2002b). Dynamic rheology of wheat flour dough. II. Assessment of dough strength and bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 823–826.
- Kim, S.K., D’Appolonia, B.L. (1977a). Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chemistry*, 54, 207–215.
- Kim, S.K., D’Appolonia, B.L. (1977b). Bread staling studies. II. Effect of protein content and storage temperature on the role of starch. *Cereal Chemistry*, 5, 216–224.
- Koksel, H., Kahraman, H., Sanal, T., Ozay, D.S., Dubat, A. (2009). Potential utilization of mixolab for quality evaluation of bread wheat genotypes. *Cereal Chemistry*, 86 (5), 522–526.
- Konopka, I., Fornal, Ł., Abramczyk, D., Rothkaehl, J., Rotkiewicz, D. (2004). Statistical evaluation of different technological and rheological tests of Polish wheat varieties for bread volume prediction. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 11-20.
- Kuktaite, R. (2004). Protein quality in wheat: Changes in protein polymer composition during grain. PhD thesis. Swedish University of Agricultural Science, Sweden.

- Labuschagne, M.T., Elago, O., Koen, E. (2009): The influence of temperature extremes on some quality and starch characteristics in bread, biscuit and durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 49, 184–189.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033–1047.
- Li, Y., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, N., Peña, R.J. (2013). The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *Journal of Cereal Science*, 57, 73–78.
- Ma, W., Appels, R., Békés, F., Larroque, O.R., Morell, M.K., Gale, K.R. (2005). Genetic characterisation of dough rheological properties in a wheat doubled haploid population: additive genetic effects and epistatic interactions. *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 410–422.
- Mani, K., Eliasson, A.-C., Lindahl, L., Trägårdh, C. (1992). Rheological properties and bread making quality of wheat flour doughs made with different dough mixers. *Cereal Chemistry*, 69, 222–225.
- Marti, A., Augst, E., Cox, S., Koehler, P. (2015a). Correlations between gluten aggregation properties defined by the GlutoPeak test and content of quality-related protein fractions of winter wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 66, 89–95.
- Marti, A., Cecchini, C., D'Egidio, M.G., Dreisoerner, J., Pagani, M.A. (2014). Characterization of durum wheat semolina by means of a rapid shear-based method. *Cereal Chemistry*, 91 (6), 542–547.
- Marti, A., Ulrici, A., Foca, Giorgia., Quaglia, Lucio, Pagani M.A. (2015b). Characterization of common wheat flours (*Triticum aestivum* L.) through multivariate analysis of conventional rheological parameters and gluten peak test indices. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 95–103.
- Martin, M.L., Zeleznak, K.J., Hosney, R.C. (1991). A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chemistry*, 68 (5), 498–503.

- Masi, P., Cavella, S., Piazza, L., (2001). An interpretation of the rheological behaviour of wheat flour dough based on fundamental tests. In: P. Chinachoti, Y. Vodovotz (Ed.), *Bread staling* (pp. 75-91). Boston: CRC press Boca Raton, Washington, USA.
- MacRitchie, F. (1977). Flour lipids and their effects in baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28, 53–58.
- MacRitchie, F. (1986). Physicochemical processes in mixing. In: J.M.V. Blanshard, P.J. Frazier, T. Galliard (Ed.), *Chemistry and Physics of Baking*. London: The Royal Society of Chemistry, UK.
- Malik, A. H. (2009). Nutrient uptake, transport and translocation in cereals: influences of environmental and farming conditions. Introductory Paper at the Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science (1654–3580), 1, 1-46.
- McCann, T.H., Small, D.M., Batey, I.L., Wrigley, C.W., Day, L. (2009). Protein-lipid interactions in gluten elucidated using acetic-acid fractionation. *Food Chemistry*, 115, 105–112.
- Melnyk, J.P., Dreisoerner, J., Marcone, M.F., Seetharaman, K. (2012). Using the Gluten Peak Tester as a tool to measure physical properties of gluten. *Journal of Cereal Science*, 56, 561–567.
- Mezger, T. (2002). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillation rheometers*, Vincentz Verlag, Hannover.
- Miller, R.A., Hosene, R.C. (2008). Role of salt in baking. *Cereal Foods World*, 53, 4–6.
- Mikos, M., Podolska, G. (2012). Bread-making quality of old common bread (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) wheat cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10, 221–224.
- Mirsaeedghazi, H., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M.A. (2008). Rheometric measurement of dough rheological characteristics and factors affecting it. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10 (1), 112–119.
- Mladenov, N., Przulj, N., Hristov, N., Duric, V., Milovanovic, M. (2001). Cultivar-by-environment interactions for wheat quality traits in semiarid conditions. *Cereal Chemistry*, 78, 363–367.

- Moldestad, A., Fergestad, E.M., Hoel, B., Skjelvag, A.O., Uhlen, A.K. (2011). Effect of temperature variation during grain filling on wheat gluten resistance. *Journal of Cereal Science*, 53, 347–354.
- Morrison, W.R. (1988). Lipids in cereal starches: A review. *Journal of Cereal Science*, 8, 1–15.
- Nelles, E.M., Dewar, J., Bason, M.L., Taylor, J.R.N. (2000). Maize starch biphasic pasting curves. *Journal of Cereal Science*, 31, 287–294.
- Ozturk, S., Kahraman, K., Tiftik, B., Koxsel, H. (2008). Predicting the cookie quality of flours by using Mixolab®. *European Food Research Technology*, 227, 1549–1554.
- Pagani, M. A., Bottega, G., Mariotti, M. (2013). Technology of Baked Goods. In: M. Gobbetti, M. Gänzle (Ed.), *Handbook on Sourdough Biotechnology* (pp. 47-83). US: Springer.
- Panozzo, J.F., Eagles, H.A. (1998). Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. I. Starch. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 757–766.
- Panozzo, J.F., Eagles, H.A. (2000). Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51 (5), 629–636.
- Pareyt, B., Finnie, S.M., Putseys, J.A., Delcour, J.A. (2011). Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54, 266–279.
- Petersen, C.J., Graybosch, R.A., Shelton, D.R., Baenziger, P.S. (1998). Baking quality of hard winter wheat: Response of cultivars to environment in the great plains. *Euphytica*, 100, 157–162.
- Pomeranz, Y. (1988). Chemical composition of kernel structure. In: Y. Pomeranz, *Wheat: Chemistry and Technology* (3rd ed.) (pp. 97–158). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, USA.
- Pyler, E.J. (1988). *Baking Science and Technology*. Kansas City: Sosland Publishing Corporation, USA.

- Quayson, E.T., Atwell, W., Morris, C.F., Marti, A. (2016). Empirical rheology and pasting properties of soft-textured durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) and hard-textured common wheat (*T. aestivum*). *Journal of Cereal Science*, 69, 252–258.
- Rosell, C.M., Collar, C., Haros, M. (2007). Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*, 21, 452–462.
- Rózuło, R., Laskowski, J. (2011). Predicting bread quality (bread loaf volume and crumb texture). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61 (1), 61–67.
- Schober, T.J., Clarke, C.I., Kuhn, M. (2002). Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements. *Cereal Chemistry*, 79, 408–417.
- Schramm, G. (2004). *A Practical Approach to Rheology and Rheometry* (2nd ed.). Thermo Electron (Karlsruhe) GmbH, Karlsruhe, Germany.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S., Forde, J., Kreis, M., Miflin, B.J. (1986). The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4, 97–106.
- Shewry, P.R., Tatham, A.S. (1990). The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution. *Journal of Biochemistry*, 1-12.
- Sissons, M. (2016). GlutoPeak: A breeding tool for screening dough properties of durum wheat semolina. *Cereal Chemistry*, 93 (6), 550–556.
- Službeni list SFRJ. (1988). Pravilnik o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa, 74.
- Singh, N., Singh, J., Kur, L., Sodhi, N.S., Gill, B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources– A review. *Food Chemistry*, 81, 219–231.
- Souza, E.J., Martin, J.M., Guttieri, M.J., O'Brien, K.M., Habernicht, D.K., Lanning, S.P., McLean, R., Carlson, G.R., Talbert L.E. (2004). Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality, *Crop Science*, 44, 425–432.
- Sroan, B., MacRitchie, F. (2009). Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. *Journal of Cereal Science*, 49, 41–46.

- Statistički godišnjak Republike Srbije, 2016, <http://pod2.stat.gov.rs/ObjavljenePublikacije/G2016/pdf/G20162019.pdf>
- Stauffer, C. (1999). Principles of dough formation. In: S.P. Cauvain, L.S. Young, (Eds.), *Technology of breadmaking* (pp. 262-295). Gaithersburg: Aspen Publishers, USA.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Freeman Press, USA.
- Stojceska, V., Butler, F., Gallagher, E., Keehan, D. (2007). A comparison of the ability of several small and large deformation rheological measurements of wheat dough to predict baking behaviour. *Journal of Food Engineering*, 83, 475–482.
- Svihus, B. (2014). Nutritive and digestive effects of starch and fiber in whole wheat. In: R.R.Watson, V. Preedy, S. Zibadi (Eds.), *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* (pp. 81–87). London: Elsevier-Publishing Inc, UK.
- Tester, M., Bacic, M. (2005) Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. *Plant Physiology*, 137, 791–793.
- Tester, R.F., Karkalas, J., Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture – A review. *Journal of Cereal Science*, 39, 151–165.
- Torbica, A., Živančev, D., Hadnađev, M., Mastilović, J. (2010). Influence of heat stress on wheat grain quality. *Proceedings of 45th Croatian and 5th International Symposium on Agriculture* (pp. 940–944), Opatija, Croatia.
- Torbica A., Živančev D., Mastilović J. Knežević, D., Bodroža-Solarov, M. (2011). Impact of changes in climate conditions on the technological quality of wheat. *Proceedings of 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture* (pp. 617–621), Opatija, Croatia.
- Toufeili, I., Ismail, B., Shadarevian, S., Baalbaki, R., Khatkar, B.S., Bell, A.E., Schofield, J.D. (1999). The role of gluten proteins in the baking of Arabic bread. *Journal of Cereal Science*, 30, 255–265.
- Triboï, E., Martre, P., Triboï-Blondel, A.M. (2003): Environmentally- induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany*, 54, 1731–1742.

- Triboï, E., Triboï-Blondel, A.-M. (2002). Productivity and grain or seed compositions: a new approach to an old problem e invited paper. *European Journal of Agronomy*, 16, 163–186.
- Tronsmo, K.M., Magnus, E.M., Baardseth, P. (2003). Comparison of small and large deformation rheological properties of wheat dough and gluten, *Cereal Chemistry*, 80, 587–595.
- Uhlen, A.K., Dieseth, J.A., Koga, S., Böcker, U., Hoel, B., Anderson, J.A., Moldestad, A. (2015). Variation in gluten quality parameters of spring wheat varieties of different origin grown in contrasting environments. *Journal of Cereal Science*, 62, 110–116.
- Uthayakumaran, S., Newberry, M., Phan-Thien, N., Tanner, R. (2002). Small and large strain rheology of wheat gluten. *Rheologica Acta*, 41, 162–172.
- Vamadevan, V., Bertoft, E. (2015). Structure-function relationships of starch components– A review. *Starch/Stärke*, 67, 55–68.
- Van Der Borght, A., Goesaert, H., Veraverbeke, W. S., Delcour, J.A. (2005). Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*, 41, 221–237.
- Veraverbeke, W., Delcour, J. (2002). Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 179–208.
- Wardlaw, I.F, Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W. (2002). Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 25–34.
- Wilhoft, E.M. (1973). Mechanism and theory of stalling of bread and baked goods and associated changes in textural properties. *Journal of Texture Studies*, 4, 292–322.
- Weipert, D. (1988). The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67, 311–317.
- Weipert, D. (1992). Descriptive and fundamental rheology in a new light. *Cereal Foods World*, 37, 15–24
- Weipert, D. (2006). Fundamentals of rheology and spectrometry. In: L. Popper, W. Schafer, W. Freund (Eds.), *Future of flour a compendium of flour improvment* (pp. 117–146). Clenze: Agrimedia, Germany.

- Wrigley, C.W., Blumenthal, C., Gras, P.W., Barlow, E.W.R. (1994). Temperature variation during grain filling and changes in wheat-grain quality. *Functional Plant Biology*, 21, 875–885.
- Wrigley, C.W. (2007). Mitigating the damaging effects of growth and storage conditions on grain quality. In: H.T. Buck, J.E. Nisi, N. Salomón (Eds.), *Wheat Production in Stressed Environments* (pp. 425–439). Dordrech: Springer, The Netherlands.
- Yong, Z., Zhonghu, H., Ye, G., Aimin, Z., Van Ginkel, M. (2004). Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Euphytica*, 139, 75–83.
- Zečević, V., Knežević, D., Bošković, J., Madić, M. (2009). Effect of genotype and environment on wheat quality. *Genetika*, 41 (3), 247–253.