Mogućnosti primjene ječma u proizvodnji nutritivno poboljšane tjestenine – utjecaj udjela ječma i procesnih parametara

Kosović, Indira

Doctoral thesis / Disertacija

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:926315

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Indira Kosović

MOGUĆNOSTI PRIMJENE JEČMA U PROIZVODNJI NUTRITIVNO POBOLJŠANE TJESTENINE – UTJECAJ UDJELA JEČMA I PROCESNIH PARAMETARA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Osijek, ožujak, 2017.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Poslijediplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologije prerade žitarica
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

UDK: 664.69 : 613.2
Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Znanstvena grana Inženjerstvo
Tema rada je prihvaćena na X. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 28. lipnja 2016.
Voditelj: izv.prof.dr.sc. *Đurđica Ačkar*

MOGUĆNOSTI PRIMJENE JEČMA U PROIZVODNJI NUTRITIVNO POBOLJŠANE TJESTENINE – UTJECAJ UDJELA JEČMA I PROCESNIH PARAMETARA

Indira Kosović, 37/D

Sažetak: Cilj ovog istraživanja bio je ispitati mogućnosti primjene sorte golozrnog ječma u proizvodnji nutritivno poboljšane tjestenine, te ispitati utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na kakvoću tjestenine. Ječmeno brašno se dodavalo u udjelima 10, 20, 30, 40 i 50%, a kontrolni uzorak bio je od durum krupice. U sklopu istraživanja određena su fizikalna i kemijska svojstva sirovina, uzoraka sušene i kuhane tjestenine, reološka svojstva zamjesa i uzoraka sušene tjestenine, te je provedeno senzorsko ocjenjivanje odabranih uzoraka kuhane tjestenine. Dodani ječam imao je značajan utjecaj na boju uzoraka, gubitak kuhanjem, tvrdoću i mikrostrukturu uzoraka tjestenine. Značajno se povećao udio topljivih i netopljivih prehrambenih vlakana, β-glukana, antioksidativna aktivnost i udio ukupnih polifenola, *in vitro* probavljivost ugljikohidrata, viskoznost zamjesa i uzoraka sušene tjestenine u odnosu na kontrolni uzorak. Temperatura sušenja se pokazala značajnim faktorom za boju, gubitak kuhanjem, indeks bubrenja, parametre teksture, udio prehrambenih vlakana, antioksidativnu aktivnost i udio ukupnih polifenola, *in vitro* probavljivost ugljikohidrata i reološka svojstva uzoraka u odnosu na kontrolni uzorak. Vrsta uređaja za proizvodnju tjestenine također se pokazala značajnim faktorom za boju, optimalno vrijeme kuhanja, gubitak kuhanjem, indeks apsorpcije vode i bubrenja, teksturalna svojstva, kemijski sastav, reološka svojstva uzoraka u odnosu na kontrolni uzorak. Dodatak ječma nije imao negativan utjecaj na senzorska svojstva i prihvatljivost uzoraka kod potrošača.

Ključne riječi: golozrni ječam, ekstruder, β-glukani, *in vitro* probavljivost ugljikohidrata
Rad sadrži: 165 stranica
70 slika
32 tablica
116 literaturnih referenci
Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	izv. prof. dr. sc. *Daliborka Koceva Komlenić*	Predsjednik
2.	prof. dr. sc. *Jurislav Babić*.	Član
3.	dr. sc. *Gordana Šimić,* znan.savj.	Član
4.	izv. prof. dr. sc. *Mirela Planinić*.	zamjena člana

Datum obrane: 16. ožujka 2017.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Rektoratu sveučilišta u Osijeku, Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu te samo u elektroničkom obliku u Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici u Osijeku

BASIC DOCUMENTATION CARD

DOCTORAL THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Postgraduate University Study-Food Engineering
Department of Food Technologies
Subdepartment of Cereal Technology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

UDC: 664.69 : 613.2
Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology

Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. X. held on July 28, 2016.
Mentor: *Đurđica Ačkar*, PhD, assistant prof.

POSSIBILITIES OF BARLEY APPLICATION IN THE PRODUCTION OF NUTRITIONALLY ENHANCED PASTA – IMPACT OF BARLEY CONTENT AND PROCESS PARAMETERS

Indira Kosović, 37/D

Summary: The objective of this research was to explore the possibilities of using hull-less barley for the production of nutritionally enhanced pasta and to examine the influence of barley content, type of apparatus and drying temperature on the quality of pasta. Barley flour was mixed in 10%, 20%, 30%, 40% and 50% portions, while the control sample was made of durum semolina. As part of the research, physical and chemical properties of raw materials and dried and cooked pasta were investigated, as well as rheological properties of the mixtures and dried pasta samples. A sensory assessment of selected cooked pasta samples was also conducted. Addition of barley had a significant influence on the colour, cooking loss, hardness, and microstructure of pasta samples. Amount of soluble and insoluble dietary fibres, β-glucans, antioxidant activity, amount of total polyphenols, *in vitro* digestibility of carbohydrates, and viscosity of the mixture and dried pasta samples increased significantly compared to the control sample. Drying temperature showed to be a significant factor when it came to colour, cooking loss, swelling index, texture parameters, amount of dietary fibres, antioxidant activity and amount of total polyphenols, *in vitro* digestibility of carbohydrates, and rheological properties of samples in comparison to the control sample. Another significant factor for colour, optimal cooking time, cooking loss, water absorption and swelling index, textural properties, chemical composition, and rheological properties of samples when compared to the control sample, was the type of apparatus used for pasta production. Addition of barley had no negative effect on sensory properties and the acceptability of samples by consumers.

Key words: hull-less barley, extruder, β-glucans, *in vitro* digestibility
Thesis contains: 165 pages
70 figures
32 tables
116 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1.	*Daliborka Koceva Komlenić*, PhD, associate prof.	chair person
2.	*Jurislav Babić*, PhD, full prof.	member
3.	*Gordana Šimić*, PhD	member
4.	*Mirela Planinić*, PhD, associate prof.	stand-in

Defense date: March 16, 2017.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, University of Osijek; President's office, University Library in Zagreb and only in electronic version in University Library in Osijek

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom broj 1321.

Zahvaljujem prof. dr. sc. Ženeti Ugarčić na ukazanom povjerenju, prenesenom znanju i bezrezervnoj podršci tijekom cijelog ovog puta kojega bez nje ne bi ni bilo. Hvala Vam od srca.

Najveće hvala mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Đurđici Ačkar bez koje ovo sve ne bih dovela kraju. Hvala na guranju naprijed kada sam to trebala!

Također, zahvaljujem Anđi Kuleš, dipl. ing., koja je svoje znanje i iskustvo nesebično prenijela na mene, te mi svojim prisustvom uljepšala trenutke provedene na Fakultetu.

Hvala mojim dragim prijateljima i bivšim kolegama dr. sc. Anti Lončariću, dr. sc. Mariji Nujić, Blanki Bilić Rajs, mag. ing., Vedrani Škoro, mag. nutr., Jeleni Panak Balentić, mag. ing., i Tihomiru Kovaču, mag. ing. proc., na svemu. Hvala vam na društvu, skretanju misli, ohrabrenju kada je to trebalo i divnim trenutcima koje smo proveli skupa.

Hvala mojim dragim prijateljicama Aniti Špoljarević, dipl. ing., Sanji Adam, dipl. iur., i dr. sc. Manueli Grčević na svemu što su učinile za mene i pomogle mi da sve bude podnošljivo.

Hvala dr. sc. Antunu Jozinoviću na pomoći kada je trebalo, kao i na svim satima provedenim sa mnom na ekstruderu tijekom izrade uzoraka tjestenine.

Neizmjerno hvala mojoj mami koja me bodrila i bila uz mene kada nitko drugi nije bio i bez koje ovo sve ne bi bilo moguće. Također, hvala ostatku moje obitelji na pomoći i potpori.

Sadržaj

1. UVOD ... **1**

2. TEORIJSKI DIO ... **4**

2.1. Tjestenina ... **5**

2.1.1. Definicija i podjela tjestenine ... 5

2.2. Sirovine za proizvodnju tjestenine ... **7**

2.2.1. Durum pšenica ... 7

2.2.2. Ječam ... 11

2.2.2.1. Neškrobni polisaharidi ... 13

2.2.2.2. Proteini ... 14

2.2.2.3. Lipidi ... 16

2.2.2.4. Ostali sastojci ... 16

2.2.3. Ostale sirovine za proizvodnju tjestenine ... 17

2.3. Proizvodnja tjestenine ... **18**

2.3.1. Mljevenje durum pšenice ... 18

2.3.2. Izrada tjestenine ... 19

2.3.3. Proces sušenja tjestenine ... 21

2.3.4. Kuhanje tjestenine ... 23

2.3.5. Promjene u tjestenini tijekom procesa proizvodnje ... 24

2.4. OBOGAĆIVANJE TJESTENINE ... **27**

3. EKSPERIMENTALNI DIO ... **29**

3.1. ZADATAK ... **30**

3.2. MATERIJALI ... **32**

3.3. METODE ... **32**

3.3.1. Priprema uzoraka tjestenine ... 32

3.3.1.1. Određivanje udjela β-glukana u uzorcima ječma ... 32

3.3.1.2. Izrada tjestenine ... 33

3.3.1.3. Sušenje tjestenine ... 34

3.3.2. Fizikalna svojstva ... 35

3.3.2.1. Boja zamjesa i uzoraka tjestenine ... 35

3.3.2.2. Optimalno vrijeme kuhanja ... 35

3.3.2.3. Gubitak kuhanjem ... 36

3.3.2.4. Indeks apsorpcije vode i indeks bubrenja ... 36

3.3.2.5. Analiza teksturalnog profila uzoraka kuhane tjestenine ... 37

3.3.2.6. Snimanje mikrostrukture uzoraka tjestenine na skenirajućem elektronskom mikroskopu ... 38

3.3.3. Kemijska svojstva ... 38
3.3.3.1. Određivanje udjela vode ... 38
3.3.3.2. Određivanje udjela mineralnih tvari u sirovinama ... 39
3.3.3.3. Određivanje udjela proteina u sirovinama ... 39
3.3.3.4. Određivanje udjela masti u sirovinama ... 40
3.3.3.5. Određivanje udjela škroba u sirovinama ... 41
3.3.3.6. Određivanje udjela ukupnih, topljivih i netopljivih vlakana ... 42
3.3.3.7. Određivanje udjela β-glukana ... 44
3.3.3.8. Određivanje stupnja oštećenog škroba ... 44
3.3.3.9. Određivanje antioksidativne aktivnosti DPPH metodom ... 45
3.3.3.10. Određivanje udjela ukupnih polifenola ... 45
3.3.3.11. Određivanje probavljivosti ugljikohidrata in vitro ... 46
3.3.4. Reološka svojstva ... 46
3.3.4.1. Određivanje viskoznosti brašna i uzoraka tjestenine ... 46
3.3.5. Senzorska analiza ... 47
3.3.5. Statistička obrada podataka ... 48
4. REZULTATI ... **49**
4.1. Analiza sirovina ... **50**
4.1.1. Udio β-glukana u uzorcima ječma ... 50
4.1.2. Određivanje veličine čestica sirovina ... 50
4.2. Fizikalna svojstva sirovina i uzoraka tjestenine ... **51**
4.2.1. Boja sirovina i uzoraka tjestenine ... 51
4.2.2. Optimalno vrijeme kuhanja ... 61
4.2.3. Gubitak kuhanjem ... 63
4.2.4. Indeks apsorpcije vode ... 65
4.2.5. Indeks bubrenja kuhane tjestenine ... 67
4.2.6. Tekstura (tvrdoća, adhezivnost i kohezivnost) uzoraka kuhane tjestenine ... 69
4.2.7. Mikrostruktura sirovina, uzoraka sušene i kuhane tjestenine ... 75
4.3. Kemijska svojstva ... **80**
4.3.1. Osnovni kemijski sastav ... 80
4.3.7. Određivanje *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata ... 114
4.4. Reološka svojstva ... **118**
4.4.1. Određivanje viskoznosti brašna i uzoraka tjestenine ... 118
4.5. Senzorska analiza ... **126**
5. RASPRAVA ... **127**
5.1. Analiza sirovina ... **128**
5.2. Fizikalna svojstva sirovina i uzoraka tjestenine ... **128**

5.2.1. Boja sirovina i uzoraka tjestenine 128
5.2.3. Gubitak kuhanjem 131
5.2.4. Indeks apsorpcije vode 132
5.2.5. Indeks bubrenja tjestenine 133
5.2.7. Mikrostruktura sirovina, uzoraka sušene i kuhane tjestenine 135
5.3. Kemijska svojstva 137
5.3.1. Osnovni kemijski sastav 137
5.3.2. Udio topljivih, netopljivih i ukupnih prehrambenih vlakana 138
5.3.3. Udio β-glukana u uzorcima tjestenine 141
5.3.4. Stupanj oštećenja škroba 143
5.3.5. Antioksidativna aktivnost 145
5.3.6. Udio ukupnih polifenola 146
5.3.7. *In vitro* probavljivost ugljikohidrata 147
5.4. Reološka svojstva 148
5.5. Senzorska analiza 151
6. ZAKLJUČCI 152
7. LITERATURA 156

Popis oznaka, kratica i simbola

AACC	American Association of Cereal Chemists
ANOVA	analiza varijance (engl. *analysis of variance*)
AOA	antioksidativna aktivnost
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ADP	adenozin difostat
ATP	adenozin trifosfat
BB	Barley balance
BU	Brabenderove jedinice
CL	gubitak kuhanjem (engl. *cooking loss*)
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DK	durum krupica
EFSA	Europska agencija za sigurnost hrane (engl. *European Food Safety Authority*)
FDA	Agencija za hranu i lijekove (engl. *Food and Drug Administration*)
GAE	ekvivalenti galne kiseline (engl. *gallic acid equivalents*)
GOPOD	glukoza oksidaza-peroksidaza-aminoantipirin reagens
HT	visoka temperatura (engl. *high temperature*)
ISO	International Standard Organization
JB	ječmeno brašno
L*, a*, b*	parametri CIELab sustava za boje
LDL	lipoprotein niske gustoće (engl. *low-density lipoprotein*)
LSD	najmanja značajna razlika (engl. *least significant difference*)
LT	niska temperatura (engl. *low temperature*)
MES	2-*N*-morfolino-etansulfonska kiselina
NADPH	nikotinamid adenin dinukleotid fosfat
NN	Narodne novine (službeno glasilo RH)
NV	netopljiva prehrambena vlakna
OCT	optimalno vrijeme kuhanja (engl. *optimal cooking time*)
SDS	natrij dodecil sulfat (engl. *sodium dodecyl sulfate*)
SEM	skenirajući elektronski mikroskop

SI	indeks bubrenja (engl. *swelling index*)
TRIS	tris-hidroksimetil-aminometan
TV	topljiva prehrambena vlakna
UN.A.F.P.A.	Union of Organizations of Manufactures of Pasta Products of the E.U.
UV	ukupna prehrambena vlakna
VHT	vrlo visoka temperatura (engl. *very high temperature*)
ΔE	ukupna promjena boje
WAI	indeks apsorpcije vode (engl. *water absorption index*)

1. UVOD

Tjestenina je namirnica koja je danas rasprostranjena i prihvaćena u cijelom svijetu zbog relativno brze pripreme, prihvatljive cijene i dugog roka trajanja u sušenom obliku. Radi niskog udjela masti i natrija, visokog udjela ugljikohidrata i relativno niskog glikemijskog indeksa svrstava ju se u „zdravu“ namirnicu (Kill i Turnbull, 2001.; Foschia i sur., 2015.).

Kvalitetna kuhana tjestenina je čvrsta, ne lijepi se i ima nizak gubitak suhe tvari kuhanjem. Odlučujući čimbenik za kakvoću kuhane tjestenine je gluten, a bitan je i u samom formiranju tjestenine i u reologiji tijesta (Baiano i sur., 2006.; Sissons, 2008.). Najbolja sirovina za proizvodnju tjestenine je krupica durum pšenice, te su Italija, Grčka i Francuska zakonski regulirale uporabu durum pšenice (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) kao osnovne sirovine za proizvodnju sušene tjestenine (Landi, 1995.; Petitot, 2009.).

Posljednjih godina među potrošačima raste interes za konzumacijom nutritivno bogatih prehrambenih proizvoda, posebice onih koji sadrže komponente s pozitivnim utjecajem na ljudsko zdravlje, npr. prehrambena vlakna, antioksidansi i dr. (Doxastakis i sur., 2007.), a tjestenina nije prepoznata kao balansirani proizvod zbog niske biološke vrijednosti proteina i niskog udjela prehrambenih vlakana.

Istraživanja su pokazala da se miješanjem brašna žitarica bogatih prehrambenim vlaknima (sirak, ječam) s pšeničnim brašnom mogu dobiti tzv. „funkcionalni proizvodi“, koji imaju pozitivno djelovanje na ljudsko zdravlje (Marconi i sur., 2000.; Khan i sur., 2013.; Aravind i sur., 2012.). Glavna komponenta prehrambenih vlakana u zrnu žitarica je β-glukan, a on ima utjecaj na smanjenje kolesterola i regulaciju šećera u krvi, prevenciju kardiovaskularnih bolesti, regulaciju probave, te se stoga ubraja u funkcionalni dodatak (Izydorczyk i Dexter, 2008.; Ahmad i sur., 2012.; Wood, 2007.; Brennan i Cleary, 2005.). Europska agencija za sigurnost hrane (engl. *European Food Safety Authority*, EFSA) 2011. godine objavila je znanstveno mišljenje o pozitivnom učinku β-glukana na razinu kolesterola u krvi i na postprandijalni glikemijski odgovor. Ječam je jedna od žitarica koja sadrži β-glukan u većem udjelu (2,5 – 11,3% β-glukana), ovisno o sorti i okolišnim čimbenicima (Izydorczyk i Dexter, 2008.). Osim β-glukana ječam sadrži i druge nutritivno vrijedne komponente kao što su ostala topljiva i netopljiva prehrambena vlakna, vitamin E, minerali, polifenoli i dr. (Izydorczyk i Dexter, 2008.; Verardo i sur., 2011.). Ječam se najviše koristi u proizvodnji piva i za stočnu hranu, dok je u ljudskoj prehrani nedovoljno zastupljen. Provedeno je nekoliko istraživanja o utjecaju dodatka brašna, frakcija ili brašna obogaćenog β-glukanima na kakvoću tjestenine (Marconi i sur., 2000.; Dexter i sur., 2004.; Lagassé i sur.; 2006.; Sinesio i sur., 2008.; Chillo i sur., 2011.a; Chillo i sur., 2011.b; Lamacchia i sur., 2011.; Aravind i sur., 2012.; Montalbano i sur., 2016.).

Stoga je cilj ovog istraživanja bio ispitati mogućnost primjene ječma u proizvodnji tjestenine s prehrambenom tvrdnjom „izvor vlakana“. Također, rezultati ovog istraživanja doprinijeli bi poticaju razvoja domaće selekcije novih sorti ječma namijenjenih ljudskoj prehrani. Kao osnovna sirovina korištena je krupica durum pšenice u koju je dodavano brašno iz cijelog zrna ozimog ječma s Poljoprivrednog instituta Osijek s najvećim udjelom β-glukana. Brašno ječma dodavalo se u udjelima 10%, 20%, 30%, 40% i 50% na ukupnu masu brašna. Tjestenina je proizvedena primjenom dva uređaja: laboratorijske preše i laboratorijskog jednopužnog ekstrudera, te se ispitalo koji je uređaj prikladniji s obzirom na specifičan sastav sirovina. Dobivena svježa tjestenina sušena je do vlažnosti ispod 13,5% prema Pravilniku o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta (MP, 2005.) korištenjem tri temperaturna režima: niskog (50 °C), srednjeg (70 °C) i visokog (90 °C). Glavne prednosti visokog temperaturnog režima sušenja su veća produktivnost uslijed skraćenog vremena sušenja, mikrobiološka sigurnost proizvoda, poboljšana teksturalna svojstva i boja tjestenine te poboljšana kakvoća kuhane tjestenine (Zweifel i sur., 2003.). Sušenjem na visokoj temperaturi mogu se dobiti kvalitetni proizvodi korištenjem sirovina lošije kvalitete (nizak udio glutena), odnosno zamjenom durum krupice nekom drugom sirovinom (Baiano i sur., 2006.). Stoga je ispitan utjecaj procesa sušenja tjestenine na niskom (50 °C), srednjem (70 °C) i visokom (90 °C) temperaturnom režimu na reološka, senzorska i nutritivna svojstva proizvoda. Uzorcima tjestenine određena su fizikalna, senzorska i kemijska svojstva, s posebnim naglaskom na udio vlakana, β-glukana i polifenola.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Tjestenina

2.1.1. Definicija i podjela tjestenine

Tjestenina je široko rasprostranjena namirnica s relativno niskim glikemijskim indeksom, niskim sadržajem soli i masti, relativno niske cijene, jednostavna za pripremu i stabilna tijekom skladištenja u sušenom obliku. Prosječni nutritivni sastav tjestenine prikazan je u **Tablici 1** (Kill i Turnbull, 2001.).

Prema Pravilniku o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta (MP, 2005.), tjestenina je proizvod dobiven miješanjem i oblikovanjem pšenične krupice ili namjenskog brašna i vode. Svjetska zdravstvena organizacija tjesteninu smatra dobrim „medijem“ za dodatak različitih sastojaka s pozitivnim utjecajem na ljudsko zdravlje (Brennan i Tudorica, 2008.; Gallegos-Infante i sur., 2010.; Simonato i sur., 2015.; Zou i sur., 2015.).

Tablica 1 Prosječni nutritivni sastav nekoliko vrsta tjestenine, izražen na 100 g proizvoda (Kill i Turnbull, 2001.)

	Vrsta tjestenine			
	Obična	Obogaćena vitaminima	S jajima	Kuhani špageti
Nutrijenti				
Kalorije (kcal)	342	370	380	104
Proteini (g)	12	12,8	14	3,6
Masti (g)	1,8	1,6	4,2	0,7
Ugljikohidrati (g)	74	74	75	22,2
Prehrambena vlakna (g)	2,9	4,2	4,7	1,2
Minerali				
Kalcij (mg)	25	17,5	29	7
Željezo (mg)	2,1	3,8	4,5	0,5
Magnezij (mg)	56	47	60	15
Fosfor (mg)	190	149	214	44
Kalij (mg)	250	161	233	24
Natrij (mg)	3	7	21	T
Cink (mg)	1,5	1,2	1,6	0,5
Bakar (mg)	0,32	0,2	0,3	0,1
Mangan (mg)	0,9	0,7	0,7	0,3
Vitamini				
Askorbinska kiselina (mg)	0	0	0	0
Tiamin (mg)	0,22	1	1	0,01
Riboflavin (mg)	0,31	0,44	0,5	0,01
Vitamin B_3 (mg)	3,1	7,5	8	0,5
Pantotenska kiselina (mg)	0,3	0,43	0,7	T
Vitamin B_6 (µg)	0,17	0,1	0,1	0,02
Folacin (µg)	34	17,5	30	4
Vitamin B_{12} (µg)	0	0	0,4	0
Vitamin A (IU)	0	0	61	0
Kolesterol (mg)	0	0	94	0

T – u tragovima

Proizvodnja tjestenine u Europi u blagom je porastu tijekom posljednjih nekoliko godina (Wrigley i sur., 2004.), što je vidljivo u **Tablici 2**. Konzumacija tjestenine najveća je u Italiji, odakle se izvozi u mnoge druge zemlje, te se vrhunsku talijansku tjesteninu smatra međunarodnim mjerilom kvalitete (Sissons, 2008.).

Tablica 2 Proizvodnja i konzumacije tjestenine u Europi u periodu od 2007.-2015. godine (UN.A.F.P.A)

	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
Proizvedeno [Mt]	4,150	4,097	4,119	4,231	4,515	4,544	4,641	4,818	4,580
Konzumirano [Mt]	3,079	3,165	3,173	3,180	3,400	3,315	3,399	3,625	3,406

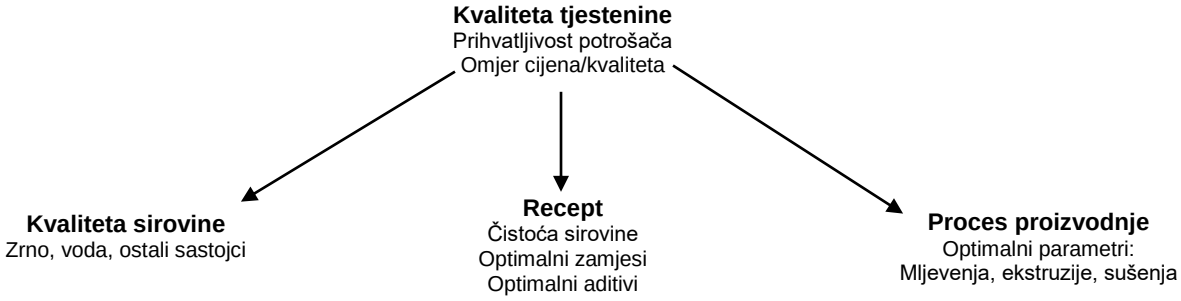
Prema tehnološkom postupku tjestenine se razvrstavaju i stavljaju na tržište pod nazivom:

- svježa tjestenina;
- sušena tjestenina;
- predkuhana tjestenina;
- brzo zamrznuta tjestenina.

Prema sastojcima tjestenine se razvrstavaju i stavljaju na tržište pod nazivom:

- obična tjestenina;
- tjestenina s jajima;
- tjestenina s dodacima;
- punjena tjestenina.

Kvalitetna tjestenina mora zadovoljiti iduće kriterije: imati ujednačenu žutu boju bez sivih ili crvenih sjena, površinu bez smeđih, crnih ili bijelih točkica koje bi ukazivale na nepravilno provedeno mljevenje, kuhana tjestenina treba biti dovoljno čvrsta i davati otpor tijekom žvakanja, ugodnu aromu i okus tipičan za tjesteninu i gotovo bez kontaminacije kemijskim pesticidima i konzervansima (Landi, 1995.; Feillet i sur., 2000.). Kakvoća tjestenine može se izraziti preko optimalnog vremena kuhanja (vrijeme potrebno za želatinizaciju škroba u uzorku tjestenine), gubitka kuhanjem (gubitak organske tvari u vodu od kuhanja), apsorpcije vode (količina vode koju tjestenina apsorbira tijekom kuhanja), boje sušene, odnosno kuhane tjestenine, teksturalnih svojstava kuhane tjestenine (čvrstoća i ljepljivost) i senzorskih svojstava. Kvalitetna kuhana tjestenina je čvrsta, ne lijepi se i ima nizak gubitak kuhanjem (Baiano i sur., 2006.; Chillo i sur., 2008.a). Kvaliteta tjestenine određena je trima glavnim faktorima: sirovinom, recepturom i procesom proizvodnje (**Slika 1**).



Slika 1 Kvaliteta tjestenine (Sissons, 2008.)

Za proizvodnju tjestenine bitna su svojstva tijesta kao primjerice snaga tijesta, rastezljivost i stabilnost, a njih prvenstveno određuju skladišni proteini. Ostali faktori koji utječu na kakvoću tjestenine su škrob i neškrobni polisaharidi, kao i ostali proteini (Sissons, 2008.).

Pojam „snaga“ glutena odnosi se na mogućnost proteina da formiraju zadovoljavajući matriks koji će svojom snagom i kontinuitetom odrediti teksturalna svojstva tjestenine i smatra se bitnim sekundarnim faktorom kvalitete kuhane tjestenine (Marchylo i Dexter, 2001.; Kratzer, 2007.). Ukoliko se radi o istom udjelu proteina, jaki, u odnosu na slabi gluten, daje tijesto smanjene ljepljivosti i boljih svojstava prilikom procesa ekstruzije, te kuhanu tjesteninu boljih teksturalnih svojstava. Mehanička tekstura opisuje se rasponom pojmova (tvrdoća, elastičnost, ljepljivost, žvakljivost i voluminoznost) i može se odrediti subjektivno - senzorskim ispitivanjem od strane panela ili objektivnim testovima (Wrigley i sur., 2004.).

Senzorsko ispitivanje smatra se najvažnijim testom kakvoće kuhane tjestenine i često se uzima kao referentna metoda s kojom se ostale metode uspoređuju. Problem kod senzorskog ispitivanja predstavlja iskustvo i znanje ispitivača. Kako bi se izbjegla subjektivnost, osmišljeni su različiti instrumenti za određivanje teksture proizvoda, a svi uključuju deformiranje proizvoda silom te bilježenje upotrijebljene sile, vremena i jačine kompresije. Osim navedenog, određuje se količina organske tvari koja izlazi u vodu od kuhanja. Ova metoda u visokoj je korelaciji sa senzorskim ispitivanjem (Wrigley i sur., 2004.).

2.2. Sirovine za proizvodnju tjestenine

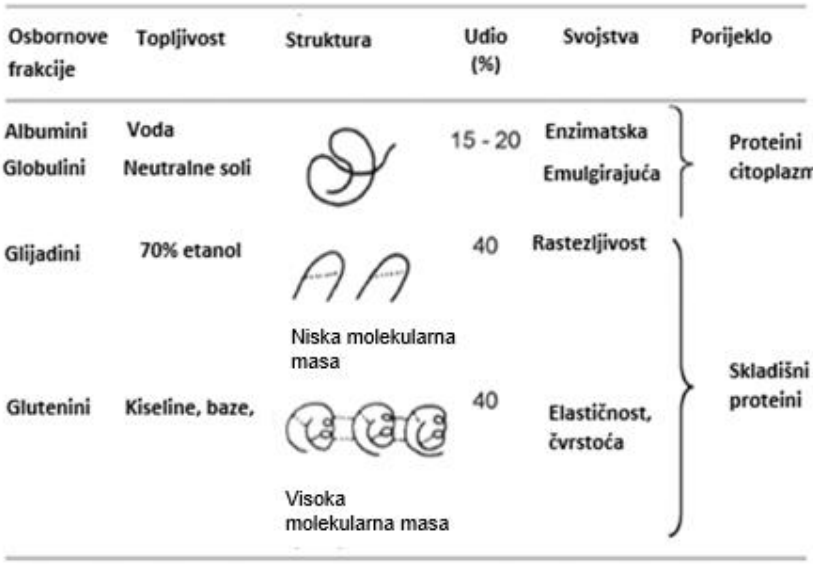
Najbolja sirovina za proizvodnju tjestenine je krupica durum pšenice. Italija, Grčka i Francuska su zakonski regulirale uporabu durum pšenice (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) kao osnovne sirovine za proizvodnju sušene tjestenine (Landi, 1995.; Carini i sur., 2009.; Petitot, 2009.).

2.2.1. Durum pšenica

Durum pšenica je, za razliku od obične krušne pšenice (*Triticum aestivum* L.) koja se koristi u proizvodnji kruha i orijentalnih rezanaca, tvrđa te se mljevenjem dobiju krupnije čestice brašna

(krupica), koje su idealne za proizvodnju tjestenine i kuskusa. Glavne značajke durum pšenice su njena tvrdoća, koja je povezana s udjelom proteina, kvalitetom proteina, intenzivna žuta boja i prihvatljiv okus. Durum pšenica preradom u tjesteninu daje proizvod dobre kvalitete tijekom i nakon kuhanja, s neusporedivom kvalitetom konzumacije. U usporedbi s ostalim običnim vrstama pšenice, durum pšenica ima veći udio proteina, od 9 do 18 g/100 g s. tv., no kako bi se dobila tjestenina željene kvalitete, krupica bi trebala sadržavati najmanje 11% proteina.

Durum pšenica s visokim udjelom kvalitetnih proteina daje krupicu ujednačene veličine čestica sa smanjenim udjelom škrobnih čestica, te se takva krupica hidratira ujednačeno i daje čvrstu i elastičnu tjesteninu. Kuhanjem tjestenina nabubri, a gubitak suhe tvari tijekom kuhanja je minimalan, te tjestenina zadržava čvrstoću do trenutka konzumiranja. Pšenica s niskim udjelom proteina daje tjesteninu smanjene kakvoće. Kvaliteta krupice određuje se preko udjela mineralnih tvari, boje, udjela tamnih čestica, veličine čestica, kvalitete proteina i kontaminacije drugim žitaricama.



Slika 2 Fizikalno-kemijska svojstva pšeničnih proteina (Zweifel, 2001.)

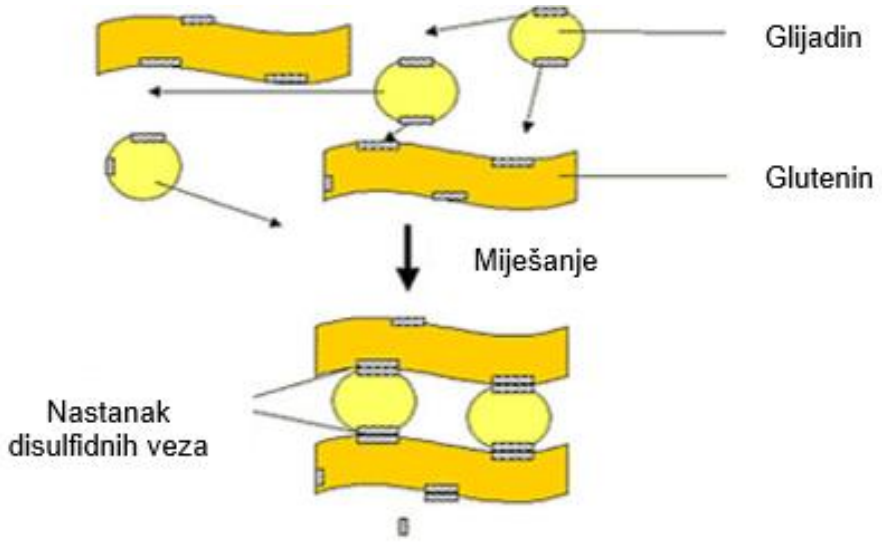
Proteini pšenice izrazito su heterogeni (**Slika 2**). Prema klasifikaciji Osborne-a (preuzeto iz Lásztity, 1996.) iz 1907., proteini pšenice dijele se na četiri razreda na osnovu njihove topljivosti:

- albumini – topljivi u vodi,
- globulini – topljivi u otopinama soli (najčešće se upotrebljava 10%-tna otopina NaCl), netopljivi u vodi:
- glijadini – netopljivi u vodi, ali topljivi u 70 – 90%-tnom etanolu i

- glutenini – netopljivi u neutralnim vodenim otopinama, fiziološkoj otopini ili alkoholu, ali topljivi u kiselinama i lužinama (Lásztity, 1996.).

Glutenin, polimerni protein koji čini oko 50% mase glutena, ima najveći utjecaj na reološka svojstva glutena. Njegovi polimeri dolaze u raznim veličinama, do 10^7, što ga čini najvećom molekulom proteina u prirodi. Kako bi dosegli tu veličinu, od 2 do 20 manjih polipeptida (5×10^4 – 10^5) veže se intermolekularnim disulfidnim (S-S) vezama koje stabiliziraju tercijarnu strukturu glutenina. U spiralnoj strukturi središnje se područje sastoji od ponavljajućih sekvenci bogatih glutaminom, prolinom i glicinom, a stabilizira ju opsežno hidrogensko vezanje sporednih susjednih lanaca glutamina. Skladišni proteini, u odnosu na druge proteine u pšenici, sadrže viši udio glutamina.

Nasuprot tome, glijadin je mješavina jednolančanih hidrofobnih polipeptida srednje veličine ($3 – 5\times10^4$) vezanih intramolekularnim disulfidnim vezama, čiju proteinsku jezgru čine spiralne podjedinice glutenina kovalentno vezane disulfidnim vezama. Kombinacija glijadina i glutenina daje viskoelastična svojstva pšeničnog tijesta na način da su elastična svojstva glutena posljedica velikih polimera glutenina i njihova agregatnog stanja, dok je viskoznost posljedica plastifikatorske funkcije monomera glijadina. Uz to, lipidi (8%) i ugljikohidrati (2%) se vežu uz gluten (Belitz i sur., 2009.). Zajednička svojstva glijadina i glutenina važna su u proizvodnji tjestenine, kruha i drugih namirnica baziranih na pšenici (**Slika 3**).



Slika 3 Nastanak glutena u tijestu (http://www.perten.com/products/glutomatic/about-gluten/)

Glavni sastojak durum pšenice je škrob (74 – 90 g/100 g s. tv.), a javlja se u obliku velikih A-tip granula koje su lentikularnog oblika i promjera 25 – 40 μm i malih B-tip granula koje su sferične i promjera 5 – 10 μm, te čine 25 – 30% ukupnog volumena škroba i oko 90% broja granula škroba. Obično se škrob sastoji od amiloze (~25%) – linearnog polimera (1→4) α-

D-glikopiranozil jedinica i razgranatog amilopektina (~75%) – koji dodatno sadrži α(1→6) veze. Udio amiloze je 23 – 29 g/100 g s. tv. škroba, te je viši u durum pšenici nego u krušnoj pšenici. Struktura granula škroba u durum pšenici manje je kompaktna te je stoga škrob podložniji djelovanju enzima. Škrob durum pšenice želatinizira na nižoj temperaturi, bolje veže vodu i apsorbira jod te je viskozniji od škroba obične tvrde pšenice. U durum pšenici proteinska jezgra jače prianja uz granule škroba nego u tvrdoj pšenici i tijekom mljevenja dolazi do većeg oštećenja škrobnih granula (Zweifel, 2001.).

U usporedbi s proteinima i škrobom, lipidi su manjinski sastojak tjestenine. Količina lipida u durum pšenici varira ovisno o kultivaru, tehnikama i otapalima korištenim za ekstrakciju, a udio ne prelazi 3% mase zrna. Količina endogenih lipida u krupici i tjestenini varira od 1 do 2 g/100 g s. tv., od čega je 63% nepolarno, a preostalih 37% polarno. Slobodnih je lipida tek 5% jer 90% lipida postaje vezano tijekom sušenja. Smatra se da se lizofosfolipidi isprepliću s amilozom. U glutenu se slobodni polarni lipidi simultano vežu za glijadin hidrofilnim, a glutenin hidrofobnim vezama, što doprinosi stabilnosti proteinske mreže. Bitan čimbenik kvalitete endosperma duruma čine karotenoidi (žuti pigmenti), osobito β-karoten i ksantofili kojih u durum pšenici ima od 1,5 do 4,8 mg/kg s. tv. Povećanjem udjela navedenih pigmenata, dolazi do povećanja žute boje dobivene krupice, no žuta boja krupice ne rezultira uvijek i žutom bojom proizvedene tjestenine, uslijed degradacije pigmenata tijekom procesa proizvodnje. Do degradacije pigmenata uglavnom dolazi zbog oksidacijskih reakcija koje uključuju peroksidaciju nezasićenih masti lipooksigenazom, uz što polifenol oksidaza i peroksidaza pridonose dobivanju nepoželjne smeđe boje do čega dolazi tijekom sušenja tjestenine. Do degradacije karotenoida dolazi također i tijekom mljevenja te skladištenja. Radi navedenog poželjan je niži udio enzima u sirovini (**Tablica 3**) (Landi, 1995.; Hidalgo i sur., 2010.; Fu i sur., 2013.). Hidalgo i sur. (2010.) utvrdili su da je gubitak karotenoidnih pigmenata manji prilikom uporabe vakuuma tijekom zamjesa, a samim tim limitirane dostupnosti kisika i aktivnosti lipooksigenaze.

Tablica 3 Kvaliteta krupice u ovisnosti o udjelu pigmenata (Landi, 1995.)

Udio pigmenta	Visoka kvaliteta	Srednja kvaliteta
β-karoten (ppm s. tv.)	>5	3-5
Indeks žutoće	>23,5	19,0-23,5

Iako krupica durum pšenice sadrži tek 2,2 – 2,8% pentozana, ta hemicelulozna frakcija ima važnu ulogu u vezanju 25% ukupne vode, te tako pridonosi strukturi i svojstvima tijesta. Relativno veliki broj pentozana, koji su topljivi u vodi, konjugira sa proteinima i tvori glikoproteine.

α-amilaze su endo enzimi koji hidroliziraju α-1,4 glikozidne veze škroba. Nastaju tijekom faze klijanja, dok ih u zrelom zrnu nema. Tijekom mljevenja dolazi do smanjenja udjela enzima u proklijalom zrnu jer se enzim nalazi u klici, a dodatni gubitci enzimske aktivnosti događaju se tijekom visoko temperaturnog (HT, engl. *high temperature*) sušenja, te se preostali mali udio enzima uništi tijekom faze kuhanja tjestenine. Prisutnost enzima u zrnu rezultira povećanim udjelom šećera što tijekom HT sušenja dovodi do nastanka crvene boje u tjestenini. Durum pšenica uzgojena u suhim i vrućim uvjetima općenito ima visok broj padanja (engl. *Falling number*, FN) 460-660 s, što znači izuzetno nisku amilolitičku aktivnost, te u konačnici tjestenina od takve pšenice ima bolju kakvoću (Sissons, 2008.).

Lipooksigenaze su grupa enzima odgovornih za oksidaciju masnih kiselina. Svijetlo žuta boja durum pšenice proizlazi od karotenoida i njihovih produkata oksidativne razgradnje lipooksigenazama. Najznačajniji pokazatelji obima degradacije lipooksigenazama su kvaliteta krupice i procesni parametri. Gubitak pigmenata najveći je prilikom zamjesa (16,3% β-karotena se gubi tijekom procesa proizvodnje tjestenine, dok se tijekom mljevenja gubi 7,9%), a u visokoj je korelaciji s aktivnosti lipooksigenaza. β-karoteni i povišen udio karotenoida inhibiraju reakcije lipooksogenaza te je stoga poželjan visok udio karotenoida u krupici. Lipooksigenaze su stabilne na 50 °C, ali povišenjem temperature na 65 i 75°C dolazi do inaktivacije, što se događa tijekom sušenja na povišenim temperaturama (Borrelli i sur., 1999.; Zweifel, 2001.; Sissons, 2008.).

Peroksidaze su enzimi koji kataliziraju oksidaciju prema općenitoj reakciji:

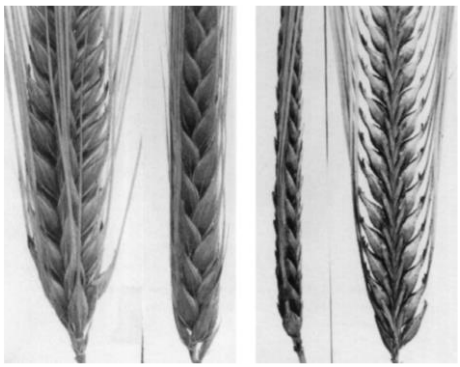
$$ROOH + H_2O_2 \rightarrow ROH + H_2O + 1/2O_2 \qquad \textbf{(1)}$$

Peroksidaze nisu specifične te kataliziraju oksidaciju velikog broja fenolnih spojeva koji se nalaze u zrnu dok polifenol oksidaze u prisustvu molekularnog kisika kataliziraju oksidaciju fenolnih spojeva. Oba enzima uzrokuju enzimsko posmeđivanje namirnica i razvijaju se rano tijekom razvoja zrna, no zrenjem zrna, njihov udio se smanjuje. Tjestenina proizvedena od durum pšenice s povišenom aktivnošću peroksidaze, tijekom procesiranja razvija smeđu boju, koja maskira žutu boju (Sissons, 2008.).

2.2.2. Ječam

Ječam (*Hordeum vulgare* L.) je važna antička žitarica koja po proizvodnji u svijetu zauzima peto mjesto (Baik i Ullrich, 2008.). Pretpostavlja se da je u antičko doba predstavljao važno mjesto u ljudskoj prehrani, te se njegova konzumacija povezivala sa snagom, izdržljivošću i zdravljem (Newman i Newman, 2008.), a kasnije i kao stočna hrana te u proizvodnji slada. U posljednje vrijeme oko dvije trećine ječma se koristi za ishranu stoke, jedna trećina u

proizvodnji slada, a tek oko 2% direktno za ljudsku prehranu (Baik i Ullrich, 2008.). Zadnjih godina raste interes za uporabom ječmom za ljudsku prehranu radi njegovog pozitivnog učinka na zdravlje. Iako je interes za ječmom kao namirnicom za ljudsku prehranu u porastu jer sadrži tvari koje sprječavaju i ublažavaju određena oboljenja, u suvremeno je doba unos ječma u padu, s izuzetkom alkoholnih pića, a poglavito piva. U usporedbi s drugim žitaricama, ječam sadrži visoki udio β-glukana, koji uz ostala topljiva vlakna imaju pozitivan učinak na sniženje kolesterola i količinu glukoze u serumu ljudi i životinja nakon jela (Marconi i sur., 2000.). Ječam pripada porodici *Poaceae*, odjel *Triticeae*, i rodu *Hordeum*. Botanički se može podijeliti na dvoredni i šesteroredni (**Slika 4**).



Slika 4 Lijevo: prednja i bočna strana šesterorednog ječma, desno: prednja i bočna strana dvorednog ječma (Newman i Newman, 2008.)

Kompleksni ugljikohidrati, koji se još nazivaju i polisaharidi, u ječmu i ostalim žitaricama dijele se na škrobne (topljive) i neškrobne (netopljive) polisaharide. Jedni od najvažnijih neškrobnih polisaharida ječma su (1,3)(1,4)-β-D-glukani (β-glukani) i arabinoksilani. Zajedno s (1,4)-β-D-glukanom (celulozom), glukomananom i (1,3)-β-D-glukanom čine ukupna prehrambena vlakna (UV). Ugljikohidrati čine najveći dio zrna ječma, oko 80% suhe tvari. Škrob u zrnu ječma varira od 45% ili manje, pa sve do 65% suhe tvari zrna, zavisno o uvjetima uzgoja. Ječmeni škrob se sastoji iz dva strukturalna tipa, amilopektina i amiloze. Amilopektin je razgranati polisaharid u kojem se jedinice α-(1,4)-D-glukoze granaju preko α-(1,6)-D-glukoznih veza, a amiloza je primarno ravnolančana, te se sastoji od α-(1,4)-D-glukoznih jedinica. Iako se općenito smatra da je amiloza ravnolančana, postoji limitirano grananje u molekuli. Bočni lanci nisu još do kraja karakterizirani u amilozi ječma, ali mogu varirati u veličini od 4 do više od 100 glukoznih ostataka. Ječmeni amilopektin je velika molekula, no unatoč njegovoj veličini ima relativno nisku viskoznost u razrijeđenoj otopini u usporedbi sa viskoznošću amiloze. Molekule amiloze ječma manje su nego molekule amilopektina, a imaju nasumičnu strukturu zavojnice. Amiloza je nestabilna u vodenim otopinama, s tendencijom taloženja i retrogradacije u razrijeđenim otopinama i formiranja gelova u koncentriranim otopinama. Škrob ječma sadrži 72 do 78% amilopektina te 22 do

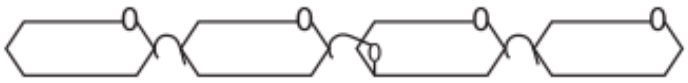
28% amiloze. Iako ječam većinom sadrži amilopektin i amilozu u omjeru 3:1, određene sorte sadrže škrob koji je 95 do 100% amilopektin, a postoje najmanje tri sorte koje sadrže 40 do 70% amiloze kao postotak od ukupnog škroba. Izraz voštani ječam se upotrebljava za sorte koje sadrže visoki udio amilopektina, a nevoštani ječam za ječam koji sadrži škrob sa normalnim omjerom od 3:1 amilopektina i amiloze. Općenito, voštani ječam sadrži 5 do 8% manje ukupnog škroba u odnosu na nevoštane tipove. Smanjenje udjela škroba je obično popraćeno sa malim porastom jednostavnih šećera fruktoze, glukoze i saharoze i udjelom β-glukana. Ječam koji sadrži više od normalne količine amiloze (40 do 70% od ukupnog) je ječam karakteriziran kao visoko-amilozna sorta (Newman i Newman, 2008.).

Ječmeni škrob se sastoji od mješavine granula velikog promjera (15 do 25 μm) i nepravilnih granula koje imaju manji promjer (<10 μm). Velike i male granule se nazivaju A- i B-tip granulama. Male granule, 2 do 4 μm u promjeru, čine 80 do 90% ukupnih granula škroba, ali samo 10 do 15% ukupne mase škroba. Velike granule, 10 do 30 μm su manje brojčano, ali čine 85 do 95% ukupne mase škroba. Veličina škrobnih granula u visoko-amiloznom i voštanom ječmu se značajno razlikuje od onih nađenih u škrobu normalnog ječma. B-tip granule su veće, a A-tip granule su manje u visoko-amiloznom ječmu nego u škrobu normalnog ječma. Granule u visoko-amiloznom ječmu imaju ravnomjerniju raspodjelu veličina, pošto veliki udio čine frakcije malih molekula. U škrobu voštanog ječma, male granule su slične po veličini malim granulama u škrobu normalnog ječma, i kao u potonjem, velike granule se pojavljuju u manjem broju, ali čine veliki dio ukupne mase. Goering i sur. (1973.) navode da velike granule u škrobovima visoko-amiloznog i voštanog ječma imaju manje granula u rasponu od 20 do 30 μm nego što je nađeno u škrobu normalnog ječma. Škrob je pohranjen isključivo u endospermu zrelog zrna, ali nije jednoliko raspoređen. Centralno smještene stanice endosperma sadrže viši udio škroba nego subaleuronski dio, koji pretežno sadrži više proteina nego škroba. Točan način rasporeda amiloze i amilopektina u škrobu normalnog ječma je nepoznat. Tip i količina škroba u ječmu imaju različit utjecaj na nutritivnu kvalitetu, procesne parametre i iskoristivost krajnjeg produkta (Newman i Newman, 2008.).

2.2.2.1. Neškrobni polisaharidi

Neškrobni polisaharidi zrna ječma su strukturne komponente stanične stijenke ljuske, aleuronskog sloja i endosperma. Za razliku od škroba i šećera, neškrobni polisaharidi nisu probavljivi u ljudskom probavnom sustavu, te stoga daju malo ili ni malo energije, ali su važni iz drugih razloga. Najvažniji neškrobni polisaharidi ječma su β-glukani, arabinoksilani i celuloza. β-glukan je, uz arabinoksilane, važna strukturna komponenta stanične stijenke u aleuronskom sloju i endospermu koja čini 67% stanične stijenke aleuronskog sloja i 20%

stijenke endosperma. Ječam, uz zob, spada u jedine žitarice sa značajnim udjelom β-glukana, u rasponu od 2,5% do 11,3%, a koji je pod utjecajem genetskih i okolišnih čimbenika, kao i interakcije između njih. S nutritivnog gledišta, od svih prehrambenih vlakana u ječmu, β-glukani su najvažniji. Zdravstveni značaj β-glukana iz ječma i zobi ispituje se od 1970. godine, a smatra se da potječe od viskoznosti β-glukana. β-glukani utječu na sniženje glikemijskog indeksa, a primarni uzrok je viskoznost (Lyly, 2006.; Wood, 2007.). Godine 2005. Agencija za hranu i lijekove Sjedinjenih Američkih Država objavila je da integralni ječam, kao i proizvodi koji sadrže ječam, smanjuju rizik od koronarnih srčanih oboljenja (objava za medije FDA, 2006.). Godine 2011. Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA, 2011.) objavila je znanstveno mišljenje o potvrdi pozitivnog učinka β-glukana iz ječma i zobi na koncentraciju LDL-kolesterola u krvi, osjećaj sitosti, utjecaju na probavu i povišenje glukoze u krvi nakon obroka. β-glukani se sastoje od visokomolekularnih linearnih lanaca β-glukozil ostataka polimeriziranih preko β-(1,3) i β-(1,4) veza. Iako je nemoguće prikazati pojedinačnu strukturu β-glukana, poznato je da su blokovi od 2 ili 3 granična (1,4)-vezana β-glukozil ostatka odvojeni jednom β-(1,3) vezom duž polisaharidnog lanca. Shematska struktura β-glukana ječma prikazana je na **Slici 5** (Newman i Newman, 2008.).



Slika 5 Shematski prikaz 1,3:1,4 β-glukana (Newman i Newman, 2008.)

Za razliku od celuloze, β-glukani su djelomično topljivi u vodenim otopinama, a tu je karakteristiku prvotno identificirala industrija piva. U proizvodnji piva, β-glukani su nepoželjna komponenta iz tri razloga: (I) visoki udio β-glukana povezan je s niskom vrijednošću ekstrakta slada; (II) β-glukani povećavaju viskoznost, te stvaraju probleme prilikom filtracije; (III) nerazgrađeni β-glukani mogu stvarati talog ili zamutiti napitak. Zbog svoje viskoznosti, mogu se koristiti kao sredstva za zgušnjavanje, a moguće ih je koristiti i kao zamjenu za masti u tzv. „light“ i dijetalnim proizvodima (Newman i Newman, 2008.; Oliveira i sur., 2012.).

2.2.2.2. Proteini

Udio proteina, dušičnih spojeva velike molekularne mase čije su osnovne sastavnice L-aminokiseline grupirane u peptide, u ječmu varira od 7 do 25%, iako je najčešće od 9% do 13%. U zrnu ječma proteini su odgovorni za strukturalne funkcije i metaboličku aktivnost, te osiguravaju dušik za razvoj embrija pri klijanju. Kako se ugljikohidrati i lipidi često kemijski vežu za te proteine, nazivamo ih glikoproteinima i lipoproteinima, te glikolipoproteinima ako sadrže

i jedno i drugo. Uz to, mogu sadržavati i kalcij, fosfor, željezo i bakar. Ječam prosječno sadrži relativno niski udio proteina, koji uz to, u usporedbi sa mesom, peradi i mliječnim proizvodima nisu visoke kvalitete, pri čemu se misli na količinu i ravnotežu esencijalnih i neesencijalnih aminokiselina. Ukupno je identificirano 18 L-aminokiselina, od kojih lizin i treonin imaju najmanji utjecaj na razvoj organizma. Prosječni sastav proteina i aminokiselina pljevičastog i golozrnog ječma prikazan je u **Tablici 4** (Newman i Newman, 2008.).

Tablica 4 Prosječni sastav aminokiselina pljevičastog i golozrnog ječma, izraženo na suhu tvar (Newman i Newman, 2008.)

Proteini i Aminokiseline (g/kg)	Pljevičasti	Golozrni
Proteini (F = 6,25)	13,2	14,0
Aminokiseline		
Alanin	0,44	0,47
Arginin	0,60	0,64
Aspartamska kiselina	0,71	0,75
Cistin	0,28	0,31
Glutaminska kiselina	2,98	3,24
Glicin	0,42	0,44
Histidin	0,26	0,28
Izoleucin	0,43	0,46
Leucin	0,79	0,84
Lizin	0,41	0,41
Metionin	0,20	0,28
Fenilalanin	0,68	0,73
Prolin	1,32	1,43
Serin	0,54	0,57
Treonin	0,42	0,45
Triptofan	0,22	0,23
Tirozin	0,37	0,42
Valin	0,59	0,63

S izuzetkom vlakana, uklanjanje ovojnice povećava udio proteina, aminokiselina i drugih hranjivih tvari u ostatku zrna. T. B. Osborne (preuzeto iz Newman i Newman, 2008.) je 1924. godine podijelio proteine ječma u četiri skupine - albumine i globuline (koji su topljivi u vodi i u razrijeđenim otopinama soli), prolamine (topljive u razvodnjenim otopinama alkohola) i gluteline (koje se može ekstrahirati razrijeđenom kiselinom ili lužinom, no uobičajeno se koriste deterdženti – natrijev dodecil sulfat – uz prisustvo reducirajućeg sredstva). Kako su ječmeni proteini heterogeni, lakše ih je promatrati kroz dvije grupe – skladišnu, koju čine većina prolamina (nazivaju se hordeinima, te skladište u endospermu od 35% do 50% ukupnog dušika), glutelini i manji dio globulina, i neskladišnu, koju čine albumini i globulini. Endosperm

ječma sadrži većinom hordeine i gluteline dok u perikarpu, aleuronskom sloju i klici prevladavaju albumini i globulini (Newman i Newman, 2008.; Wang i sur., 2010.). Proteini koji se nalaze na površini škrobne granule, smanjuju kontakt između škrobnih granula i probavnih enzima i tako djeluju kao fizička barijera probavljivosti škroba (Svihus i sur., 2005.).

2.2.2.3. Lipidi

Ječmene lipide možemo podijeliti u dvije osnovne grupe – neškrobne, koji uključuju sve lipide s izuzetkom onih koji se nalaze unutar granula škroba, i škrobne. Ovisno o molekularnoj strukturi mogu biti polarni ili vezani (koje se ekstrahira pomoću polarnih otapala) i nepolarni ili slobodni (koje se ekstrahira pomoću nepolarnih otapala), što utječe na topljivost, a omjeri variraju od tkiva do tkiva (Newman i Newman, 2008.).

Iako klica čini otprilike 3% ukupne mase zrna, sadrži 18% ukupnog udjela lipida u ječmu, endosperm sadrži 77% ukupnog udjela, a preostalih 5% nalazi se u ljusci. 75% lipida u zrnu su nepolarni lipidi, dok je preostalih 25% podjednako podijeljeno između glikolipida i fosfolipida. Ti omjeri prenose se i na mekinje, endosperm, aleuron, klicu i ljusku. Glavne su masne kiseline u triacilglicerolu ječma palmitinska (16:0), oleinska (18:1), linolna (18:2) i linolenska (18:3), koje čine oko 23, 13, 56 i 8% ukupne količine. Stearinska kiselina (18:0) čini manje od 1% ukupne količine. U usporedbi sa pšenicom ječam ima više linolne kiseline, dok među sobom veća zrna ječma obično imaju više palmitinske i manje linolne i linolenske kiseline od manjih. Uz iznimku vitamina A, D, K, B12 i C, zrna ječma sadrže sve vitamine i kolin, dok među glavnim žitaricama ječam sadrži najviše tokola – koncentracije α-tokoferola i α-tokotrienola u ulju ječma su 24 i 17 puta više nego u ulju kukuruza. Od svih žitarica, ječam sadrži najviše nikotinske kiseline, koncentrirane u aleuronskom sloju (61%), dok su manje količine u perikarpu (12%). Tiamin se uglavnom nalazi u skutelumu (62%) i aleuronskom sloju (32%), dok se podjednake količine riboflavina nalaze u aleuronskom sloju (37%) i endospermu (32%), te u manjoj količini u embrijskoj osi (12%) i skutelumu (14%). U aleuronskom sloju su također koncentrirani i piridoksin (61%) – u perikarpu i skutelumu se nalazi po 12% - te pantotenska kiselina (41%) – koncentracija koje je 43% u endospermu (Newman i Newman, 2008.).

2.2.2.4. Ostali sastojci

Minerale često nazivamo anorganskim hranjivim tvarima, jer nastaju sagorijevanjem uzorka dok u istom ne nestane ugljika i ostane samo tzv. pepeo. U ječmu varira od 2% kod tipova bez ljuske do 3% kod tipova s ljuskom, a ljuska sadrži oko 6% mineralnih tvari. Najmanje se 14

hranjivih minerala nalazi u ječmu: kalcij, fosfor, kalij, magnezij, natrij, klor, sumpor, kobalt, bakar, željezo, jod, mangan, selen i cink (Newman i Newman, 2008.).

Od fitokemikalija (koje nazivamo i fitonutrijentima ili nutraceuticima, ako su ektrahirani i pročišćeni) – spojeva koji se nalaze u biljkama i za koje postoje naznake da štite od određenih vrsta karcinoma, kardiovaskularnih i degenerativnih bolesti – u ječmu su najistraživaniji steroli, tokotrienoli, flavonoli i fenolni spojevi (od kojih dolazi većina antioksidirajućeg djelovanja kod žitarica, a koji se esterificiraju na polisaharide i lignin staničnih stijenki) (Newman i Newman, 2008.).

Zrno ječma sadrži nekoliko enzima koji pomažu oslobađanju energije iz škroba. α-amilaza hidrolizira α-1,4 veze škrobnih lanaca, do čega dolazi nasumično i za posljedicu ima proizvodnju α-graničnih dekstrina, maltoze i maltotrioze. β-amilaza proizvodi maltozu zbog čega je se često naziva enzimom proizvođačem šećera. Ova dva enzima u kombinaciji razgrađuju škrob brže nego pojedinačno, no ni jedan ne može hidrolizirati α-1,6 veze u amilopektinu, te ne mogu potpuno razgraditi škrob. Općenito, oko 85% škroba se hidrolizira u šećer njihovim djelovanjem. Uz to što hidrolizira α-1,4 veze, glukoamilaza može raskinuti i α-1,6 veze u amilopektinu, čime može u potpunosti pretvoriti škrob u β-D-glukozu (Prendergast, 2014.).

Ječam sadrži visoki udio bioaktivnih spojeva, poput fenolnih spojeva - derivata benzoične i cinamične kiseline, pro-antocijanida, kvinona, flavonola, halkona, flavona, flavonona i amino fenolnih spojeva. U ječmu ih je većina u vezanom obliku - slobodni spojevi uključuju proantocijanide i flavonoide, dok vezani uključuju feruličnu kiselinu i njene derivate (Bonoli i sur., 2004.).
Najobilnije fenolne kiseline u ječmu su ferulična i *p*-kumarinska, a akumuliraju se u vanjskim slojevima zrna kao ester-vezani polimeri staničnih stjenki. Ferulična je kiselina vezana za arabinoksilan u staničnim stjenkama aleurona, dok se *p*-kumarinska kiselina veže s ligninima u staničnim stijenkama ovojnica zrna (Prendergast, 2014.).

2.2.3. Ostale sirovine za proizvodnju tjestenine

Potrošači preferiraju običnu tjesteninu koja je dobar izvor složenih ugljikohidrata, no ne i prehrambenih vlakana. Mnogi znanstvenici su istraživali mogućnosti obogaćivanja tjestenine prehrambenim vlaknima. Yokoyama i sur. (1997.) koristili su ječmeno brašno obogaćeno β-glukanom u proizvodnji funkcionalne tjestenine smanjenog glikemijskog indeksa. Brennan i Tudorica (2008.) dodavali su različita prehrambena vlakna u proizvodnji obogaćene tjestenine, a ispitivali su utjecaj na glikemijski indeks, te su utvrdili da se glikemijski indeks tjestenine uz

dodatak prehrambenih vlakana dodatno smanjuje u usporedbi s bijelim kruhom i tjesteninom od durum krupice. Utjecaj dodatka brašna iz cijelog zrna ispitivali su West i sur. (2013.), a Verardo i sur. (2011.) su dodavali grube frakcije ječma u tjesteninu s ciljem povećanja udjela bioaktivnih komponenti u sušenoj tjestenini.

2.3. Proizvodnja tjestenine

2.3.1. Mljevenje durum pšenice

Mljevenje durum pšenice složen je postupak koji uključuje ponavljajuće mljevenje i prosijavanje, a u cilju povećanja prinosa pri datoj kakvoći. Pravilno provedeno mljevenje ima pozitivan utjecaj na kakvoću dobivene krupice (Landi, 1995.; Kill i Turnbull, 2001.). Zahtjevi za kakvoćom krupice mijenjaju se tijekom godina i samim tim se sustav mljevenja mora prilagoditi novim zahtjevima (Kill i Turnbull, 2001.). Prije mljevenja se izrazito tvrdo zrno duruma mora smekšati s ciljem postizanja visokog udjela vlage (~17 g/100 g s. tv.), nakon čega se melje u nizu žljebljenih valjaka, što za cilj ima razdvajanje zrna na endosperm i mekinje. Postupak mljevenja durum pšenice sastoji se od nekoliko koraka, a oni uključuju čišćenje, temperiranje, mljevenje i pročišćavanje. Na početku se zrno čisti od stranih primjesa, zatim slijedi temperiranje na određenu vlagu. Tako pripremljena durum pšenica ide na mljevenje tijekom kojeg se razdvaja na mekinje i endosperm od kojeg se dobiva krupica,a nakon toga se krupica odvaja od mekinja i brašna.

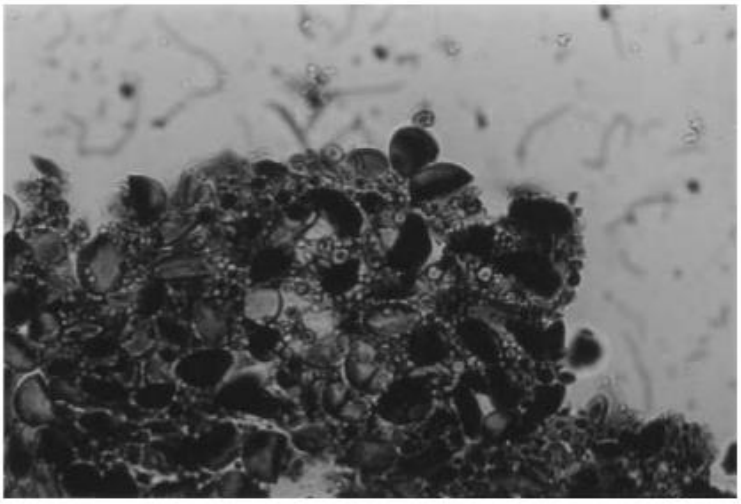
Tijekom mljevenja, otprilike 65 – 70% zrna postaje krupica, 10% brašno, a 20 – 25% mekinje. Krupica sadrži čestice širokog raspona granulacije, od 100 do 350 μm, a 65 – 70% je veličine oko 250 μm (Haraldsson, 2010.). Utjecaj veličine čestica na sposobnost upijanja vode, prikazana je u **Tablici 5** (Kill i Turnbull, 2001.).

Tablica 5 Vrijeme potrebno za apsorpciju vode krupica različite granulacije (Kill i Turnbull, 2001.)

Veličina čestica (μm)	Vrijeme zamjesa potrebno za apsorpciju (min)
630-125	15
525-125	15
525-0	15
350-125	10
350-0	10
250-0	5

2.3.2. Izrada tjestenine

Tijesto za izradu tjestenine izrađuje se od krupice i vode, te se oblikuje primjenom energije pri određenim uvjetima temperature i vlage. Tjestenina se može proizvoditi ekstrudiranjem ili stanjivanjem između valjaka (Pagani i sur., 1989.). Prilikom ekstrudiranja primjenom mehaničke energije puža i prolaskom mokrog zamjesa krupice i vode kroz ekstruder, formira se tijesto izlaskom kroz matricu. Matrica može biti teflonska ili brončana, a o vrsti matrice ovisi kakva će površina dobivene tjestenine biti. Ukoliko je površina nejednaka, ukupna površina je veća, a vrijeme kuhanja niže, dok je kod ujednačene površine potrebno duže vrijeme kuhanja. Nedostatak brončanih matrica je kraći rok uporabe (Haraldsson, 2010.; Wrigley i sur., 2004.). Karakteristika je ovog tijesta stvaranje glutenske mreže na način da čestice krupice izlučuju fibrile koji tvore kohezivno tijesto (**Slika 6**).



Slika 6 Struktura proteina u tijestu nakon brzog zamjesa (Kill i Turnbull, 2001.)

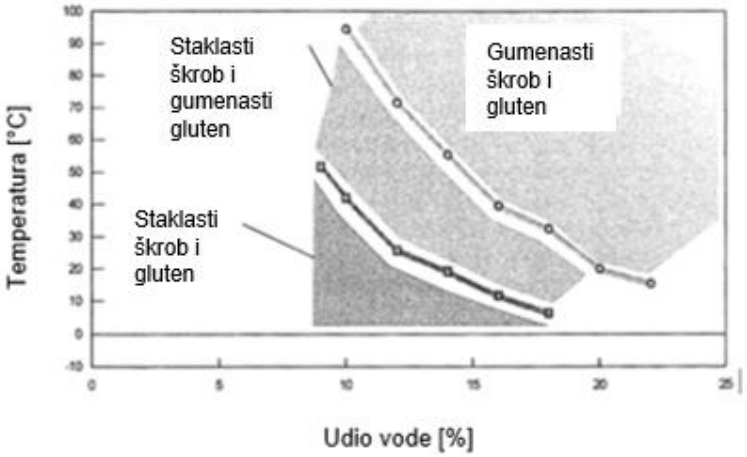
Promjene do kojih dolazi tijekom miješanja i ekstruzije nazivamo razvojem tijesta, a bilježe se farinografom i miksografom, što na molekularnoj razini znači da čestice tijesta upijaju vodu i tvore homogenu masu, čemu pomaže miješanje. Primijenjena energija tijekom procesa proizvodnje tjestenine ne smije biti previsoka niti preniska kako ne bi došlo do nastanka nekvalitetnog proizvoda. Mikroskopskom analizom utvrđeno je da nastala glutenska mreža nije jednaka kao kod tijesta za izradu kruha, u koje se dodaje znatno veća količina vode. Kod tijesta za kruh dolazi do potpunog formiranja glutena, dok kod tijesta za tjesteninu nastanak glutena nije potpun (Kratzer, 2007.). Glijadin i glutenin imaju najviše utjecaja na snagu i elastičnost tijesta. Prilikom zamjesa reagiraju, te se stvaraju disulfidne veze, pri čemu nastaje gluten koji je viskozno-elastična jezgra tijesta. Gluten u tjestenini treba biti dovoljno otporan da zadrži želatinizirane granule škroba tijekom kuhanja, te time smanji gubitak suhe tvari i površinsko prianjanje. Niski udjeli proteina dovode do lomljive tjestenine niske tvrdoće, dok durum pšenica bogata proteinima omogućava da tjestenina nabubri tijekom kuhanja, smanjuje gubitak suhe

tvari kuhanjem i omogućava zadržavanje tvrdoće u slučaju prekuhavanja, a što je povezano sa smanjenim prianjanjem. Udio proteina je primarni faktor vrhunske kvalitete tjestenine, dok je kvaliteta proteina manje važna (Zweifel, 2001.; Sissons, 2008.)

Tijekom sušenja tjestenine na temperaturama nižim od 40 °C udio proteina i jačina glutena imaju podjednaku važnost pri utvrđivanju kvalitete tjestenine, dok je za sušenje na temperaturama iznad 70 °C bitniji udio proteina. Pri niskim temperaturama sušenja suštinske razlike u kvaliteti ogledaju se u površinskoj čvrstoći i prianjanju, dok su kod visokih temperatura očite samo razlike u čvrstoći (Zweifel, 2001.).

Do preobrazbe krupice u tjesteninu dolazi zbog vlaženja, miješanja i ekstrudiranja, pri čemu nastaje mokra tjestenina čija mreža proteina oblaže granule škroba te tako nastaje struktura s minimumom pukotina i praznina. Dok je u krupici gluten staklast, dodatkom vode postaje gumenast i elastičan te formira niti i plohe putem intermolekularnih veza, što omogućava granulama škroba da ostanu zarobljene u tjestenini, te ne izgube oblik tijekom kuhanja. Voda uzrokuje bubrenje biopolimera u krupici, dok je istodobno slabo otapalo za iste (Kratzer, 2007.). Voda za proizvodnju tjestenine ne smije imati nepoželjnu aromu ili miris i mora biti zdravstveno ispravna bez mikrobioloških ili kemijskih kontaminanata. Poželjno je da nije pretvrda i s niskim udjelom iona natrija, magnezija i kalcija koji bi utjecali na nastanak nepoželjne arome i boje (Wrigley i sur., 2004.).

Prilikom zagrijavanja tjestenine nastaju ireverzibilne poprečne veze između proteina. Ispod 55 °C škrob je inertan te ne može upiti mnogo vode, no zagrijavanjem gubi svojstvo krutosti, prolazi staklastu tranziciju i postaje gumenast (**Slika 7**), što omogućuje povećano upijanje vode i otapanje topljivih tvari te porast viskoznosti.



Slika 7 Staklasti prijelaz škroba i glutena (Kill i Turnbull, 2001.)

Pri sobnoj temperaturi i vlažnosti manjoj od 12% i gluten i škrob u krupici su staklasti, no blagim povišenjem vlage gluten postaje gumenast, zahvaljujući staklastoj tranziciji, da bi povećanjem

udjela vode do 33% počeo teći pod pritiskom. Tijekom ove faze voda se jednoliko raspodjeljuje u krupici kako bi se postigao jednolik udio vlage. Kako zamjes prolazi u vakuumski vijak i ekstruder formira se tijesto u kojem se zbog mehaničkog pritiska proteini sjedinjuju u glutensku mrežu. Međutim, ukoliko temperatura pređe 55 °C, gluten postaje krut, te nepovratno prelazi u gel, što je nepoželjno jer oslabljuje tjesteninu. Stoga se temperatura treba držati ispod 55 °C. Abecassis i sur. (1994.) ispitivali su utjecaj procesnih parametara ekstruzije na kakvoću kuhane tjestenine i došli do zaključka da povećanjem temperature ekstruzije raste gubitak suhe tvari kuhanjem i pada kakvoća kuhane tjestenine. Istiskivanjem tijesta pod pritiskom kroz matrice dobiva se tjestenina željena oblika. Kako bi tjestenina bila otpornija na prekuhavanje, treba izbjegavati oštećenje proteinske mreže, do kojeg dolazi zbog djelovanja poprečnih sila, a to se postiže umjerenom homogenizacijom tijesta pod pritiskom (miješenjem). Pagani i sur. (1989.) ispitivali su tri načina proizvodnje tjestenine: ekstrudiranjem, stanjivanjem između valjaka i ručni zamjes. Utvrdili su da proces ekstruzije daje tjesteninu lošije kvalitete u odnosu na ostala dva. Mogući razlog dobivenih rezultata može biti uporaba krušne pšenice i pšenice nižeg udjela proteina u smjesi sa krupicom durum pšenice, a ne uporaba krupice duruma.

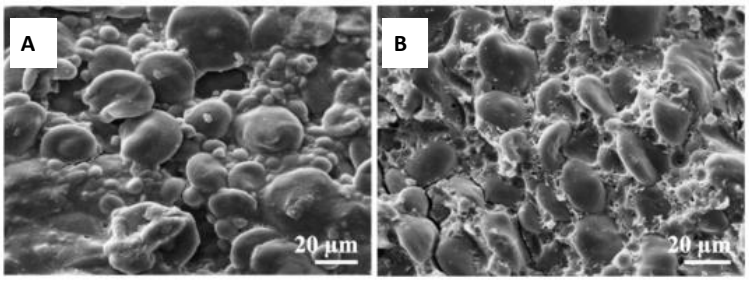
Osim ako je namijenjena za prodaju dok je svježa, s kratkim rokom uporabe, iz tjestenine se mora ukloniti višak vlage do udjela pri kojem je nemoguć razvoj mikroorganizama (a_w <0,65). Visoke temperature sušenja su potrebne za denaturaciju proteina glutena koja omogućuje stvaranje proteinske mreže koja zarobljava granule škroba (Sissons, 2008.).

2.3.3. Proces sušenja tjestenine

Proces sušenja tjestenine jedan je od značajnijih i zahtjevnijih postupaka prilikom proizvodnje, te o njemu uvelike ovisi kakvoća dobivene tjestenine. Udio vode u svježe ekstrudiranoj tjestenini iznosi 29 – 31 g/100 g s. tv., a postupkom sušenja treba se spustiti na udio <13,5 g/100 g s. tv. Na početku sušenja potrebno je ukloniti dio površinske vode, kako bi se spriječilo površinsko lijepljenje tjestenine. Brzina sušenja treba biti takva da ne dođe do rasta mikroorganizama, te da dobivena tjestenina ne bude lomljiva (Zweifel, 2001.; Haraldsson, 2010.).

Od 1970-ih godina, proces sušenja je unaprijeđen, te se sve više uvodi sušenje na visokoj (HT) (60 – 84 °C) ili vrlo visokoj (VHT) (>84 °C) temperaturi. Prednosti sušenja na visokim temperaturama su značajno smanjeno vrijeme sušenja u odnosu na sušenje pri niskim temperaturama, smanjen broj mikroorganizama u finalnom proizvodu, poboljšana boja i kakvoća kuhane tjestenine (veća tvrdoća, smanjena ljepljivost i gubitak suhe tvari kuhanjem). Mogući razlozi poboljšanja strukture kuhane tjestenine su nastanak novih veza između proteina i stvaranje većih i netopljivih polimera. Nastali polimeri ograničavaju apsorpciju vode

u škrobu i smanjuju izlazak amiloze iz granula, a tim se smanjuje ljepljivost tjestenine. Glutenska mreža je ojačana i povećana je tvrdoća. Nedostatak sušenja na visokim temperaturama je smanjenje nutritivne vrijednosti proizvoda, primjerice gubitak esencijalne aminokiseline lizina tijekom formiranja furozina u sklopu Maillardovih reakcija. Povišenjem udjela furozina u tjestenini, povećava se i udio smeđeg pigmenta. Gubitak lizina ovisi o temperaturi i vlazi, no on ne predstavlja značajan problem jer se tjestenina ne konzumira kao izvor esencijalnih aminokiselina (Petitot, 2009.).



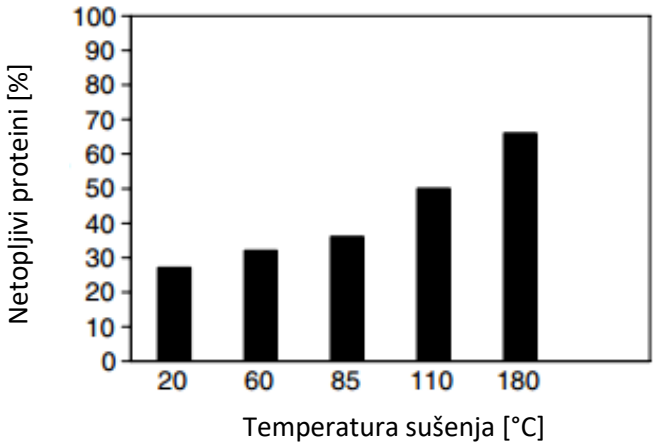
Slika 8 Prikaz strukture površine sušene tjestenine (A) i presjeka sušene tjestenine (B) skenirajućim elektronskim mikroskopom (povećanje 1000 puta) (Petitot, 2009.)

Slika površine sušene tjestenine snimana skenirajućim elektronskim mikroskopom pokazuje mnogobrojne škrobne granule različitih veličina koje su povezane filmom proteina, te su vidljive male šupljine i pukotine na proteinskoj mreži (**Slika 8A**). Površinska napetost tjestenine tijekom sušenja i skupljanje tijekom pripreme uzorka za slikanje su mogući razlozi navedenog. Unutarnja struktura sušene tjestenine karakterizirana je umreženim škrobnim granulama u proteinski matriks (**Slika 8B**) (Petitot, 2009.).

Na molekularnoj razini na temperaturi sušenja do 70 °C, vidljive su promjene na proteinima – dolazi do minimalne denaturacije, otprilike 65% proteina topljivo je u octenoj kiselini, a 63 – 70% topljivo je u natrij-dodecil sulfatu (engl. *sodium dodecyl sulfate*, SDS). Na višim temperaturama topljivost proteina drastično se smanjuje te je na 90 °C samo 50% proteina topljivo u octenoj kiselini i oko 25% u SDS-u, što je 20 – 60%-tno smanjenje topljivosti proteina u odnosu na LT sušenje. De Zorzi i sur. (2007.) ispitivali su promjene u topljivosti proteina u tjestenini sušenoj na 20, 60, 85, 110 i 180 °C i rezultati su pokazali da se topljivost proteina smanjuje povećanjem temperature sušenja (**Slika 9**).

Promjene na proteinima ovisne su prvenstveno o uvjetima temperature – vlage – vremena, jer su uvjetovane temperaturom staklastog prijelaza, T_g. Iznad T_g, proteini su u gumastom stanju, dok su ispod T_g u staklastom i mobilnost molekula je smanjena, a slobodni volumen (koji nije okupiran makromolekulama) u najnižoj je mogućoj termodinamičkoj vrijednosti. Iznad T_g mobilnost molekula raste, kao i slobodni volumen. Toplina utrošena tijekom sušenja povećava unakrsno povezivanje skladišnih proteina i agregaciju stvaranjem intersulfidnih veza, a što

utječe na smanjenje ekstraktibilnosti glutena iz tjestenine. Albumini, globulini i glutenini su osjetljiviji na toplinu od glijadina (Zweifel, 2001.)



Slika 9 Utjecaj temperature sušenja na proteine topljive u octenoj kiselini (De Zorzi i sur., 2007.)

Utjecaj sušenja na lipide malo je ispitivan. Udio slobodnih lipida se smanjuje tijekom sušenja tjestenine, tvore slabe veze s proteinskom i škrobnom frakcijom, a mehanički su zarobljeni u matriksu dehidriranih proteina i škroba.

Sušenje na visokim temperaturama pri povišenom udjelu vlage povisuje temperaturu želatinizacije. Pri povišenju temperature sa 40 °C (LT) na 90 °C (HT) smanjuje se entalpija želatinizacije. Škrob izoliran iz tjestenine sušene na visokoj temperaturi ima višu temperaturu želatinizacije i viskoznost, te manje bubri i ima manju topljivost u usporedbi sa škrobom iz tjestenine sušene na niskoj temperaturi. Škrob u tjestenini sušenoj na različitim HT režimima ima znatno manji raspon želatinizacije u usporedbi sa neobrađenom krupicom, a u početnoj temperaturi želatinizacije (engl. *onset temperature*, T_o) i u temperaturi vrha (engl. *peak temperature*, T_p), te u entalpiji želatinizacije nisu otkrivene promjene. Režim sušenja nema utjecaja na entalpiju taljenja amilozno-lipidnih kompleksa (Zweifel, 2001.).

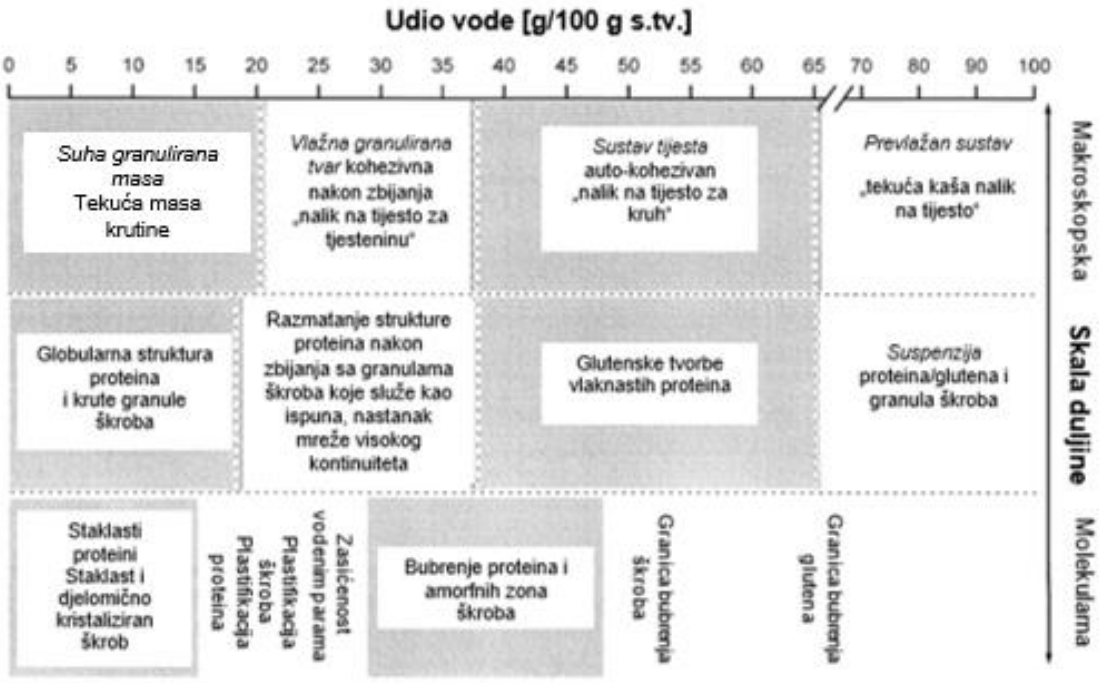
2.3.4. Kuhanje tjestenine

Škrob se u sušenoj tjestenini nalazi gotovo u nativnom obliku te zahtjeva dodatnu obradu prije konzumacije, tj. zahtijeva kuhanje. Tijekom kuhanja, temperatura raste do 100 °C, a dolazi do kontroliranog procesa difuzije i hidratacije produkta. Prije konzumacije, tjestenina se treba kuhati optimalno vrijeme, tj. do „al dente“ točke koja predstavlja vrijeme nestanka središnjeg neželatiniziranog dijela uzorka tjestenine. Dvije najznačajnije promjene do kojih dolazi tijekom kuhanja su koagulacija proteina i želatinizacija škroba (Petitot, 2009.; Zweifel, 2001.).

2.3.5. Promjene u tjestenini tijekom procesa proizvodnje

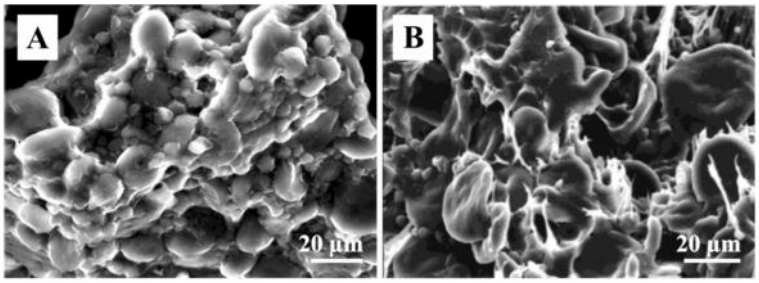
Mljevenjem durum pšenice dobiju se čestice krupice različite granulacije. Granulacija i raspodjela veličine čestica utječu na apsorpciju vode u tijestu, međutim nije postignut dogovor oko optimalne raspodjele veličine čestica krupice za proizvodnju tjestenine. Mljevenjem krupice na manje čestice dolazi do povećanog udjela oštećenog škroba, a koji tijekom sušenja tjestenine na nižem temperaturnom režimu dovodi do povećanog gubitka suhe tvari tijekom kuhanja. Samim tim povećava se adhezivnost površine kuhane tjestenine, te takve sitnije čestice mogu upiti veću količinu vode od krupnijih uslijed veće specifične površine (Marchylo i Dexter, 2001.; Kratzer, 2007.). Uzak raspon veličina granula pogoduje jednolikoj hidrataciji tijekom proizvodnje tjestenine te smanjuje rizik pojave „bijelih pjega“ koje su rezultat većeg udjela krupnih čestica (>500 μm) niskog udjela vlage. Nadalje, škrob sa mehaničkim oštećenjima tijekom mljevenja predstavlja odgovarajuću podlogu za amilolitičke enzime u postupku sušenja. Mljevenjem dolazi do najveće promjene u udjelu mineralnih tvari durum krupice (Cubbada i sur., 2009.).

S obzirom da tijesto sadrži oko 30 - 33 g vode/100 g s. tv., ono je poprilično suho i mrvičaste teksture. Nastaju heterogene hidratirane čestice veličine zrna graška, a među njima se mogu pronaći i nehidratirane čestice. Voda omogućava plastifikaciju proteina, što dovodi do promjene agregatnog stanja skladišnih proteina, a sve je potpomognuto mehaničkom energijom tijekom miješanja i ekstruzije. Na mikroskopskoj razini ne dolazi do značajnih promjena na početku miješanja radi nedovoljne hidratacije granula škroba. **Slika 10** prikazuje promjene u krupici tijekom procesa hidratacije (Kratzer, 2007., Petitot, 2009.).



Slika 10 Promjene durum krupice i glavnih komponenti, proteina i škroba u sustavu krupica/voda na različitim stupnjevima organizacije, a u funkciji udjela vode pri sobnoj temperaturi (Kratzer, 2007.)

Tijekom ekstruzije može doći do djelomičnog pucanja proteinske jezgre, što dovodi do brže razgradnje tjestenine prilikom kuhanja (Kruger i sur., 1997.). Temperature u ekstruderu iznad 55 °C mogu dovesti do denaturacije glutena i nepovoljnih učinaka na kvalitetu tjestenine (Kratzer, 2007.). Prilikom denaturacije skladišnih proteina pšenice dolazi do složene pojave rasipanja i repolimerizacije u kojoj se broj disulfidnih (S-S) veza povećava tijekom ekstruzije, dok se sulfhidrilne (S-H) grupe smanjuju, a vodikove (H-H) veze ostaju nepromijenjene. Ove promjene na skladišnim proteinima dovode do smanjenja topljivosti, što pak uzrokuje nižu mogućnost ekstrakcije iz tjestenine. Zbog niskog udjela vode, kratkog vremena miješanja i niske ulazne mehaničke energije, u tijestu za tjesteninu gluten je manje razvijen nego u tijestu za kruh (Icard-Vernière i Feillet, 1999.). Ukoliko temperatura ekstruzije ne premašuje 45 °C, dolazi do manje promjena u škrobu, dok iznad te temperature dolazi do taljenja kristala i bubrenja. **Slika 11** prikazuje mikrostrukturu durum krupice i svježe ekstrudirane tjestenine. U durum krupici struktura je kompaktna s nekoliko vidljivih škrobnih granula uklopljenih u proteinski matriks dok je u svježe ekstrudiranoj tjestenini vidljiv veći broj uklopljenih škrobnih granula koje su neznatno nabubrene. Tijekom procesa ekstruzije može doći do lokaliziranog porasta temperature unutar tijesta, a koje može prouzročiti promjene u strukturi (Petitot, 2009.).



Slika 11 Prikaz strukture krupice (A) i svježe ekstrudirane tjestenine (B) snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom (povećanje 1000 puta) (Petitot, 2009.)

Proces ekstruzije utječe i na škrobnu frakciju, te može doći do umjerenog oštećenja škroba. Prije spomenuti lokalni porast temperature (<60 °C) može dovesti do želatinizacije škroba. Ispitivanja diferencijalnim motridbenim kalorimetrom pokazala su smanjenje entalpije želatinizacije, što je moguće posljedica prisutnosti želatiniziranih ili oštećenih škrobnih granula, a koje zahtijevaju manje energije za topljenje (Petitot, 2009.).

Provedena su mnoga istraživanja s ciljem sprečavanja izbjeljivanja karotenoida tijekom proizvodnje tjestenine. Najčešće se to postiže uklanjanjem molekularnog kisika tako da se ekstruzija izvodi u vakuumu, što ograničava oksidaciju koju katalizira lipooksigenaza, dok istovremeno sprečava nastanak mjehurića zraka u tijestu, s obzirom da oni narušavaju izgled i učinkovitost kuhanja proizvoda (Kruger i sur., 1997.).

Vlažnost tjestenine pri izlasku iz ekstrudera iznosi između 29 i 30 g/100 g s. tv., te se sušenjem treba smanjiti na 12,5 g/100 g s. tv., što odgovara uravnoteženom udjelu vode u tjestenini pri 20 °C i 67% relativne vlažnosti, uz što dolazi do prijelaza tvari iz gumenaste u staklastu strukturu. Danas je u porastu upotreba tehnologije sušenja visokom temperaturom (HT – visoka temperatura). Prednosti su: znatno smanjeno vrijeme sušenja u usporedbi s konvencionalnim metodama, manja opasnost od razvoja mikroorganizama, poboljšana boja suhog proizvoda (Dexter i sur., 1981.), te poboljšana kvaliteta kuhanja krajnjeg proizvoda, osobito kad se upotrebljava durum pšenica s niskim udjelom proteina. Nadalje, visoka temperatura značajnije utječe na kvalitetu sušene tjestenine od udjela i kvalitete glutena (Marchylo i Dexter, 2001.). Primjena sušenja visokom temperaturom tijekom prvog sata sušenja smanjuje troškove procesa i poboljšava teksturu i mikrobiološku kvalitetu proizvoda. Nedostatak ove tehnike je što uzrokuje gubitak lizina, odnosno smanjenje nutritivne vrijednosti. Navedeno je posljedica stvaranja furozina kao glavnog stabilnog Amadorijeva spoja u Maillardovoj reakciji, a ovisi o vremenu i temperaturi tijekom sušenja (Dexter i sur., 1984.). Usprkos tome, gubitak lizina ne smatra se ozbiljnom manom, s obzirom da proizvodi od tjestenine ne predstavljaju glavni izvor esencijalnih aminokiselina u prehrani.

Kuhanje tjestenine uzrokuje velike promjene na škrobu, odnosno želatinizaciju škroba. Želatinizacija škroba se odvija u nekoliko faza. U prvoj fazi želatinizacije, gubi se molekularni red i kristalnost, dolazi do reverzibilne hidratacije amorfnih dijelova u kojima su prisutne vodikove veze, a što se detektira gubitkom birefrigencije i promjenama u entalpiji. Razlikujemo kapilarno i molekularno bubrenje. Tijekom kapilarnog bubrenja otapalo prodire između kristalnih zona, a kod molekularnog bubrenja prodire između pojedinačnih molekula, te dolazi do razaranja većeg broja poprečnih veza između makromolekula. Povišenjem temperature razaranje je sve veće, dolazi do dodatnog bubrenja, te se stvaraju vodikovi mostovi između molekula škroba i vode. Daljnjim zagrijavanjem dolazi do ekspanzije granula uslijed kontinuiranog primanja vode i granule se razaraju. Razaranjem škrobnih granula, viskoznost se povećava i dolazi do nastanka paste koja se sastoji od otopljene amiloze i/ili amilopektina i neotopljenih dijelova granula.

Drugi važni proces tijekom kuhanja tjestenine je proces koagulacije proteina. Na molekularnoj razini dolazi do promjena na sekundarnoj strukturi, dok primarna ostaje nepromijenjena. Kao posljedica razmatanja proteina, topljivost albumina, globulina, glijadina i glutenina drastično opada. Razmotani proteini imaju tendenciju unakrsnog vezivanja, što rezultira očvršćivanjem, poznatijim pod nazivom koagulacija. Proteinska mreža postepeno se raspada tijekom kuhanja, te utječe na gubitak suhe tvari u vodi i na ljepljivost tjestenine (Zweifel, 2001.; Petitot, 2009.).

2.4. OBOGAĆIVANJE TJESTENINE

Tjestenina, pored kruha, spada u najčešće konzumirane proizvode od žitarica, a iako predstavlja dobar izvor ugljikohidrata, uobičajeno nije dobar izvor prehrambenih vlakana. Radi navedenog, tjestenina predstavlja dobar medij za obogaćivanje nutrijentima i mnogi autori su istraživali utjecaj dodatka različitih sirovina na kakvoću tjestenine (Brennan i Tudorica, 2008.). Dodane sirovine mogu imati negativan utjecaj na reološka svojstva tijesta, te se proces proizvodnje mora prilagoditi kako bi taj utjecaj bio što manji.

Marconi i sur. (2000.) koristili su dodatak različitih frakcija nakon mljevenja ječma u svrhu obogaćivanja i proizvodnje funkcionalne tjestenine. Tjestenina je proizvedena uz dodatak 50% frakcije, a rezultati su pokazali da se dodatkom frakcija ječma povećao udio prehrambenih vlakana, β-glukana, a parametri kakvoće kuhane tjestenine smanjili su se u odnosu na tjesteninu proizvedenu od durum krupice. Dexter i sur. (2004.) ispitivali su teksturalna svojstva tjestenine proizvedene od durum krupice s dodatkom ječma (maksimalni udio je iznosio 40%) različitog udjela amiloze. Tjestenina proizvedena uz dodatak ječma smanjenog udjela amiloze, pokazala je lošija teksturalna svojstva u usporedbi s tjesteninom proizvedenom od ječma s visokim udjelom amiloze. Lagassé i sur. (2006.) ispitivali su utjecaj dodatka brašna golozrnog

ječma različitog udjela amiloze na kakvoću svježih i sušenih bijelih slanih rezanaca. Istraživanjem su utvrdili da je dodatak brašna ječma do 40% dao proizvod odličnih teksturalnih svojstava. Brennan i Tudorica (2008.) dodavali su nekoliko vrsta prehrambenih vlakana u svrhu obogaćivanja svježe tjestenine od durum krupice i ispitivali su utjecaj na glikemijski indeks. Maksimalno dodani udio prehrambenih vlakana iznosio je 10%. Verardo i sur. (2011.) ispitivali su mogućnost proizvodnje funkcionalnih špageta s dodatkom frakcija nakon mljevenja ječma, a u svrhu povećanja udjela prehrambenih vlakana i polifenola. Dodatak mekinja u tjesteninu od durum krupice ispitivali su Aravind i sur. (2011.) te su došli do zaključka da mekinje imaju negativan utjecaj na većinu senzorskih svojstava i neka teksturalna dok, s druge strane, pozitivno utječu na nutritivni sastav – povećan je udio prehrambenih vlakana i antioksidativna aktivnost uzoraka tjestenine. Aravind i sur. (2012.) u svom istraživanju bavili su se ispitivanjem utjecaja dodatka brašna obogaćenog β-glukanom na kakvoću tjestenine. Proizvedena tjestenina imala je smanjenu apsorpciju vode i indeks bubrenja u odnosu na tjesteninu od durum krupice. Dodatak obogaćenog brašna ječma β-glukanom u udjelu od 7,5% nije imao negativan utjecaj na senzorska svojstva, dok je viši udio pokazao negativan utjecaj. Teksturalna svojstva nisu bila narušena dodatkom 15% obogaćenog ječmenog brašna, te je zaključak ovog istraživanja da je tjestenina s dodatkom 7,5% obogaćenog brašna prikladna za industrijsku proizvodnju. Kakvoću integralne tjestenine proizvedene iz brašna cijelog zrna tvrde pšenice ispitivali su West i sur. (2013.). Brašno iz cijelog zrna utječe na aromu tjestenine, udio polifenolnih spojeva i teksturu.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Ciljevi ove doktorske disertacije bili su:

- ispitati utjecaj dodatka ječmenog brašna (zamjena durum krupice s ječmenim brašnom u udjelu 10, 20, 30, 40 i 50%) na kakvoću sušene i kuhane tjestenine;
- ispitati utjecaj procesnih parametara (vrsta uređaja za proizvodnju tjestenine – kontrolirani uvjeti nasuprot nekontroliranim uvjetima tlaka i temperature) na kakvoću sušene i kuhane tjestenine;
- ispitati utjecaj temperature sušenja (uporaba niskog, srednjeg i visokog temperaturnog režima) na kakvoću sušene i kuhane tjestenine;
- određivanje fizikalnih i kemijskih svojstava sirovina, sušene i kuhane tjestenine;
- određivanje reoloških svojstava sirovina, zamjesa i sušene tjestenine;
- određivanje senzorskih svojstava sirovina kuhane tjestenine.

Provedene su sljedeće aktivnosti u svrhu ostvarenja navedenih ciljeva:

1. Priprema uzoraka tjestenine

- Određivanje udjela β-glukana u ječmu (AACC 32-23);
- Priprema uzoraka tjestenine koristeći sirovine: krupicu durum pšenice (uvoznik tvrtka Gatti d.o.o. iz Zagreba) i golozrnog ječma (Poljoprivredni Institut Osijek). Golozrni ječam je samljeven na laboratorijskom IKA mlinu s otvorom sita 1 mm;
- Izrada tjestenine na laboratorijskoj preši (MPF/2.5N, Fimar, Italija) kroz sapnicu za fettuccine (širina 8 mm) od mesinga/bronce
- Izrada tjestenine na jednopužnom laboratorijskom ekstruderu (Brabender 19/20 DN) koristeći puž konfiguracije 3:1, glavu za proizvodnju tjestenine s hlađenjem i sapnicu za rezance širine 7 mm presvučenu teflonom. Temperaturni režim pri kojem je proizvedena tjestenina na ekstruderu bio je 35/40/40 °C (Giménez i sur., 2013.; Biney i Beta, 2014.);
- Sušenje uzoraka tjestenine na niskom (50 °C), srednjem (70 °C) i visokom (90 °C) temperaturnom režimu u klima komori (Climacell 111) pri određenoj vlažnosti zraka unutar komore (predsušenje na 60% i glavno sušenje na 70% vlažnosti zraka), a do udjela vlage u uzorku ispod 13,5% (Baiano i sur., 2006.);
- Liofiliziranje svježe i kuhane tjestenine, usitnjavanje na kuhinjskom mlinu (Braun) te pakiranje u PVC vrećice do analize;
- Usitnjavanje uzoraka sušene tjestenine na kuhinjskom mlinu (Braun) te pakiranje u PVC vrećice do analize.

2. Fizikalna svojstva

- Određivanje boje sirovina i uzoraka svježe, sušene i kuhane tjestenine kromametrom (CR-400, Konica Minolta) u CIELab sustavu;
- Određivanje optimalnog vremena kuhanja i gubitka kuhanjem (Chillo i sur., 2008.b);
- Određivanje količine apsorbirane vode u kuhanoj tjestenini (Bonomi i sur., 2012.);
- Određivanje indeksa bubrenja kuhane tjestenine (Chillo i sur., 2011.a);
- Analiza teksturalnog profila (tvrdoća, adhezivnost, kohezivnost) uzoraka kuhane tjestenine na analizatoru teksture TA.XT2 Plus;
- Snimanje mikrostrukture uzoraka kuhane i sušene tjestenine na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM).

3. Kemijska svojstva

- Određivanje udjela vode (ISO 6540);
- Određivanje udjela mineralnih tvari u sirovinama (ISO 5984:2002);
- Određivanje udjela proteina u sirovinama (ISO 5983-2);
- Određivanje udjela masti u sirovinama (ISO 6492);
- Određivanje udjela škroba u sirovinama (AACC 76-13);
- Određivanje udjela ukupnih, topljivih i netopljivih vlakana (AOAC 991.43);
- Određivanje udjela β-glukana (AACC 32-23);
- Određivanje stupnja oštećenog škroba u sirovinama (AACC 76-31.01);
- Određivanje antioksidativne aktivnosti DPPH metodom (Brand-Williams i sur., 1995.);
- Određivanje udjela ukupnih polifenola Folin-Ciocalteu metodom (Ough i Amerine., 1998.);
- Određivanje probavljivosti ugljikohidrata *in vitro* (Simonato i sur., 2015.).

4. Reološka svojstva

- Određivanje viskoznosti zamjesa i uzoraka tjestenine Brabenderovim mikro-visko amilografom (Bonomi i sur., 2012.).

5. Senzorska analiza

- Senzorsko ocjenjivanje uzoraka tjestenine primjenom hedonističke skale (Sinesio i sur. 2008.).

3.2. MATERIJALI

Sirovine korištene u izradi doktorske disertacije:

- Durum krupica (Sgambaro, Italija, uvoznik Gatti d.o.o., Zagreb);
- Golozrni ječam sorte Osvit, Poljoprivredni institut Osijek, žetva 2015.

Kemikalije korištene u izradi doktorske disertacije:

- Kit za enzimsko određivanje udjela β-glukana, Megazyme, Irska;
- Kit za enzimsko određivanje udjela oštećenog škroba, Megazyme, Irska;
- Kit za enzimsko određivanje rezistentnog škroba, Megazyme, Irska;
- Kit za enzimsko određivanje ukupnog škroba, Megazyme, Irska;
- Kit za enzimsko određivanje udjela ukupnih, topljivih i netopljivih prehrambenih vlakana, Megazyme, Irska;
- Folin-Ciocalteu reagens, Reagecon, Irska;
- 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil, Sigma-Aldrich, Njemačka;
- Pankreasna α-amilaza, Sigma-Aldrich, Njemačka.

3.3. METODE

3.3.1. Priprema uzoraka tjestenine

3.3.1.1. Određivanje udjela β-glukana u uzorcima ječma

Određivanje udjela β-glukana provedeno je prema AACC 32-23 metodi. Udio β-glukana određivan je u uzorcima golozrnog i pljevičastog ječma s Poljoprivrednog Instituta Osijek kako bi se utvrdio uzorak ječma s najvećim udjelom β-glukana. Uzorci su samljeveni na laboratorijskom mlinu (model 10.1 IKA) kroz sito veličine otvora 1 mm. Tako dobiveno brašno od cijelog zrna dodatno je usitnjeno na kuhinjskom mlinu za kavu (Braun) na granulaciju < 0.5 mm. Mjerenje je provedeno u dvije paralele za svaki uzorak, a rezultat izražen kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije.

Metoda se bazira na hidrataciji uzorka brašna, razgradnji β-glukana uz pomoć enzima lihenaze na oligosaharide te uz pomoć β-glukozidaze na glukozu, čiji se udio mjeri spektrofotometrijski, a udio β-glukana računa putem formule **(2)**

$$\beta\text{-glukani [\%]} = \Delta A \times F \times \frac{FV}{0{,}1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{m} \times \frac{162}{180} \times D \qquad \textbf{(2)}$$

Gdje je:

ΔA - razlika u absorbanci uzorka i slijepe probe,

F - faktor za pretvorbu vrijednosti absorbance u μg glukoze,

FV - finalni volumen,

0,1- volumen analiziranog uzorka,

1/1000 - pretvorba μg u mg,

100/*m* - faktor za izražavanje udjela β-glukana kao postotka od mase uzorka,

m - masa uzorka u mg,

162/180 - faktor za pretvorbu iz slobodne D-glukoze, koja se određuje, u anhidro D-glukozu, koja je prisutna u β-glukanu,

D - dodatno razrjeđenje uzorka prije inkubacije s β-glukozidazom (ukoliko je potrebno).

3.3.1.2. Izrada tjestenine

Priprema sirovina i zamjesa za izradu tjestenine na laboratorijskoj preši

Za proizvodnju tjestenine korištene su sljedeće sirovine: durum krupica (Sgambaro, Italija), golozrni ječam sorte Osvit (Poljoprivredni institut Osijek) samljeven na laboratorijskom mlinu (model 10.1 IKA) s veličinom sita 1 mm i vodovodna voda temperature 40±2 °C.

Granulacija sirovina određena je prosijavanjem uzorka krupice i brašna na laboratorijskom uređaju za prosijavanje (Analysette 3 PRO, Fritsch) upotrebom sita veličine 100, 250, 355 i 425 μm.

Posuda za zamjes i ekstruziju na laboratorijskoj preši su u jednom dijelu, tj. zamjes se odvija uz pomoć puža, a koji kasnije služi za postupak ekstruzije. Izvagani uzorak (krupica ili smjesa krupice i ječmenog brašna) prebaci se u posudu za miješanje u preši, te se uključi motor i vrtnjom puža se uzorak miješa. Zatim se kroz otvor na poklopcu preše dodaje izračunata količina vodovodne vode (temperature 40±2 °C) u krupicu, a da se dobije 36% vlage u zamjesu. Nakon što je sva voda dodana, 15 min se izrađuje zamjes. Kada je zamjes gotov,

preša se prebaci na proces ekstruzije. Nož na izlazu iz sapnice siječe tjesteninu na željenu dužinu. Svježa tjestenina se slaže na perforirane pladnjeve za sušenje i nakon što je ekstruzija gotova, pladnjevi se stavljaju u komoru na sušenje.

Priprema sirovina i zamjesa za izradu tjestenine na laboratorijskom ekstruderu

Za proizvodnju kontrolnog uzorka tjestenine izvagano je 1 kg durum krupice direktno u posudu za miješanje laboratorijskog miksera. Vodovodna voda temperature 40±2 °C dodavana je pomoću špricaljke kako bi se omogućila ravnomjerna raspodjela i hidratacija čestica brašna, do postizanja vlažnosti zamjesa od 34 g/100 g. Tijekom dodavanja vode, konstantno je smjesa miješana mikserom kako bi se omogućila ravnomjerna raspodjela. Nakon što je sva količina vode dodana, smjesa se miješala još 10 min, a nakon završetka je prebačena u vrećicu te se kondicionirala tijekom 30 min, kako bi se osigurala ravnomjerna raspodjela vlage unutar smjese. Smjese s dodatkom ječmenog brašna su prvo izmiješane „na suho“ kako bi se postigla ravnomjerna raspodjela ječmenog brašna i durum krupice. Zatim je voda dodavana na isti način i zamjes je trajao isto vrijeme kao kod kontrolnog uzorka.

Ekstruzija

Pripremljeni zamjesi krupice i vode ekstrudirani su u jednopužnom laboratorijskom ekstruderu 19/20 DN, Brabender, Duisburg, Njemačka pri idućem režimu: konfiguracija puža 3:1, temperaturni režim 35/40/40 °C uz upotrebu hlađenja pomoću vodovodne vode u zadnjoj zoni ispred sapnice, sapnica širine 7 mm, debljine 2 mm prevučena teflonom.

Ekstrudirana tjestenina rezana je ručno na izlazu iz sapnice te raspoređena na perforirane pladnjeve za sušenje.

3.3.1.3. Sušenje tjestenine

Svježa tjestenina je sušena u komori s regulacijom temperature i vlažnosti zraka unutar komore (Climacell 111). Za sušenje tjestenine korištena su tri temperaturna režima. Parametri predsušenja bili su isti u sva tri temperaturna režima: 40 °C, 60% vlažnost zraka, tijekom 35 min, dok su se glavna sušenja provodila pri sljedećim uvjetima:

- 50 °C, 70% vlažnost zraka, 450 min
- 70 °C, 70% vlažnost zraka, 240 min
- 90 °C, 70% vlažnost zraka, 120 min

Vrijeme zadanih režima se počinje mjeriti nakon što je unutar komore postignuta zadana temperatura, a određeno je na osnovu preliminarnih istraživanja vremena potrebnog za postizanje vlažnosti tjestenine ispod 13,5%.

Nakon završetka sušenja, tjestenina se ostavi stajati na sobnoj temperaturi radi kondicioniranja, te se nakon toga pakira u PVC vrećice.

3.3.2. Fizikalna svojstva

3.3.2.1. Boja zamjesa i uzoraka tjestenine

Boja zamjesa i uzoraka sirove, sušene i kuhane tjestenine određena je Konica Minolta CR-400 uređajem. Prije korištenja uređaj je kalibriran uz pomoć kalibracijske pločice. Boja sirovina i zamjesa određena je s nastavkom za praškaste materijale. Uzorci sirove tjestenine uzimani su odmah po izlasku iz sapnice ekstrudera, te je po 5 rezanaca složeno jedan uz drugi na bijelu podlogu i određivana je boja. Uzorci sušene tjestenine uzeti su nakon sušenja te posloženi na isti način kao i sirova tjestenina. U kuhanoj tjestenini boja je određena na isti način kao i kod sirove i sušene, nakon kuhanja uzoraka do optimalnog vremena kuhanja, ispiranja i cijeđenja. Rezultat je izražen kao srednja vrijednost 5 provedenih mjerenja uz prikaz standardne devijacije. Ukupna promjena boje ΔE računa se po formuli **(3)**:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (b - b_0)^2 + (a - a_0)^2} \qquad \textbf{(3)}$$

L_0, b_0 i a_0 predstavljaju vrijednosti boje za kontrolni uzorak durum krupice, odnosno tjestenine od durum krupice, a *L, a* i *b* vrijednosti za promatrani uzorak.

3.3.2.2. Optimalno vrijeme kuhanja

Optimalno vrijeme kuhanja (engl. *optimal cooking time*, OCT) definira se kao vrijeme potrebno da središnji bijeli, škrobasti dio tjestenine nestane (škrob potpuno želatinizira) kada se tjestenina stisne između dvije staklene pločice. Odvaže se 10 g uzorka sušene tjestenine. 200 mL destilirane vode se poklopi satnim stakalcem kako voda ne bi isparila i kuha do ključanja. Kada voda proključa, 10 g uzorka tjestenine se stavi u čašu te se pokrene vrijeme na štoperici. Čaša se poklopi satnim stakalcem, te se po potrebi regulira temperatura kako voda s uzorkom ne bi prejako ključala. Uzorak se promiješa uz pomoć vilice svakih 1 min kako bi se spriječilo lijepljenje tjestenine na dno čaše. Nakon 5 min kuhanja, izvadi se uzorak tjestenine uz pomoć pincete, te se provjeri je li središnji bijeli dio nestao. Nakon toga, uzorak se vraća natrag u čašu te se postupak provjere ponavlja svakih 30 s sve dok tjestenina nije kuhana. Kada se utvrdi završetak kuhanja tjestenine, uzorak se procijedi preko cjediljke te se u čašu doda 50 mL destilirane vode, malo promiješa i uzorak tjestenine se ispere u malim obrocima na cjediljci. Vrijeme kuhanja se zabilježi kao optimalno vrijeme kuhanja. Mjerenje je provedeno u tri

paralele za svaki uzorak, a rezultat izražen kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije.

3.3.2.3. Gubitak kuhanjem

Gubitak kuhanjem (engl. *cooking loss*, *CL*) predstavlja gubitak čvrste tvari u vodu u vidu taloga koji zaostaje nakon kuhanja tjestenine. Direktno je povezan s kakvoćom kuhane tjestenine - što je veći gubitak kuhanjem, tjestenina se karakterizira kao lošija.

10 g uzorka sušene tjestenine se skuha do optimalnog vremena kuhanja kao što je prethodno opisano. Za kuhanje se koristi 200 mL destilirane vode, a za ispiranje kuhane tjestenine oko 50 mL destilirane vode. Nakon što se tjestenina ispere i iscijedi na cjediljci, voda od kuhanja i voda od ispiranja se sakupe u staklenu čašu i stave u sušionik zagrijan na 115 °C te upare do suhog. Čaša sa suhim ostatkom se izvaže te se gubitak kuhanjem izražava kao postotak od početne mase uzorka **(4)**. Za svaki uzorak provedena su dva mjerenja, a rezultat izražen kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije.

$$CL\ [\%] = \frac{\text{masa suhog ostatka nakon uparavanja}}{\text{masa sušene tjestenine}} \times 100 \qquad \textbf{(4)}$$

3.3.2.4. Indeks apsorpcije vode i indeks bubrenja

Indeks apsorpcije vode (engl. *water absorption index*, *WAI*) i indeks bubrenja (engl. *swelling index*, *SI*) određeni su prema metodi Chillo i sur, 2011.

10 g uzorka tjestenine, duljine 40 mm se izvaže i skuha do optimalnog vremena kuhanja, kako je prethodno opisano za određivanje optimalnog vremena kuhanja. Kada je tjestenina skuhana, procijedi se preko cjediljke te ispere u malim obrocima s 50 mL destilirane vode. Ostavi se 2 min da se iscijedi te se nakon toga izvaže. Nakon vaganja stavi se u poklopac Petrijeve zdjelice i u sušionik prethodno zagrijan na 105 °C i suši do konstantne mase.

Indeks apsorpcije vode *WAI* (%) se računa prema formuli **(5)**:

$$WAI\ [\%] = \frac{\text{masa kuhane tjestenine - masa sušene tjestenine}}{\text{masa sušene tjestenine}} \times 100 \qquad \textbf{(5)}$$

Indeks bubrenja tjestenine SI (g vode/g sušene tjestenine) se računa prema formuli **(6)**:

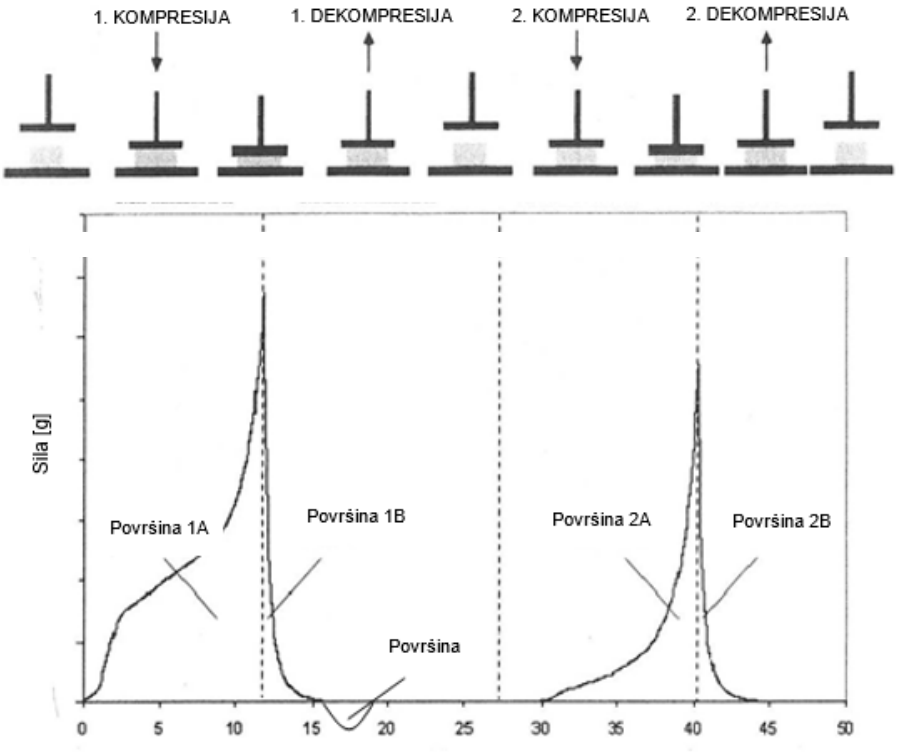
$$SI\ [\text{g vode/g sušene tjestenine}] = \frac{\text{masa kuhane tjestenine - masa tjestenine nakon sušenja}}{\text{masa tjestenine nakon sušenja}} \qquad \textbf{(6)}$$

3.3.2.5. Analiza teksturalnog profila uzoraka kuhane tjestenine

10 g uzorka tjestenine skuha se u 300 mL destilirane vode do ranije utvrđenog optimalnog vremena kuhanja, ispere se obrokom od 100 mL destilirane vode, procijedi i ostavi na papiru za pečenje 15 min na sobnoj temperaturi kako bi se uklonio višak vode s uzorka. Nakon 15 min uzorak tjestenine podvrgava se analizi teksture korištenjem cilindričnog nastavka promjera 10 mm. Uzorci kuhane tjestenine veličine najmanje 12x12 mm se fiksiraju na bazu analizatora teksture pomoću plastičnog držača koji na sebi ima okrugli otvor promjera 11 mm. Kroz taj otvor uzorci se podvrgavaju dvostrukoj kompresiji aluminijskim cilindričnim nastavkom promjera 10 mm prema sljedećim parametrima:

- kalibracija visine: 10 mm,
- brzina prije mjerenja: 1 mm/s,
- brzina mjerenja: 5 mm/s,
- dubina prodiranja cilindra: 40%,
- vrijeme zadržavanja između dvije kompresije: 5 s,
- potrebna sila za početni signal: 5 g.

Slika 12 prikazuje krivulju promjene sile potrebne za kompresiju uzorka u određenom vremenu prema parametrima podešenim prije eksperimenta.



Slika 12 Tipična krivulja ispitivanja teksturalnog profila tjestenine metodom dvostruke kompresije

Iz dobivenih rezultata očitane su sljedeće vrijednosti:

- tvrdoća - predstavlja visinu prvog pika izraženu u gramima [g],
- kohezivnost - predstavlja snagu unutrašnjih veza materijala potrebnih da zadrže uzorak koherentnim pri deformaciji, a definirana je omjerom površina ispod drugog i prvog pika (Površina 2AiB/Površina 1AiB),
- elastičnost - predstavlja omjer visina uzorka do koje se on vraća tijekom vremena koje prođe između kraja prve kompresije i početka druge kompresije i početne visine uzorka,
- otpor žvakanju predstavlja energiju koju je potrebno utrošiti za žvakanje uzorka, odnosno otpor uzorka žvakanju, a izračunava se kao umnožak čvrstoće, kohezivnosti i odgođene elastičnosti i izražava u gramima [g],
- adhezivnost - predstavlja ljepljivost uzorka, a definirana je površinom C ispod pika koji se pojavljuje ispod apscise i izražava se u gram sekundama [g×s].

3.3.2.6. Snimanje mikrostrukture uzoraka tjestenine na skenirajućem elektronskom mikroskopu

Mikrostruktura uzoraka durum krupice, brašna cijelog zrna ječma, sušene i kuhane tjestenine snimana je upotrebom skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Uzorci kuhane tjestenine liofilizirani su prije analize.

3.3.3. Kemijska svojstva

3.3.3.1. Određivanje udjela vode

Udio vode u uzorcima određen je u dvije paralele po ISO 6540 metodi. Princip metode je u sušenju usitnjenog uzorka do konstantne mase na 130 °C. Udio vode u uzorku računa se po formuli **(7)**:

$$w_{H2O}\,[\%] = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \qquad \textbf{(7)}$$

Gdje je:

w_{H2O} – udio vode [%],

m_1 – masa uzorka prije sušenja [g],

m_2 – masa uzorka nakon sušenja [g].

3.3.3.2. Određivanje udjela mineralnih tvari u sirovinama

Udio mineralnih tvari određen je prema ISO 5984:2002 metodi. Ukupni udio mineralnih tvari neke namirnice može se procijeniti na osnovu količine pepela, koji predstavlja anorganski ostatak koji zaostaje nakon spaljivanja organskog dijela namirnice.

U prethodno ižaren (30 min na 550 °C) i izvagan porculanski lončić izvaže se oko 5 g uzorka i rasporedi po lončiću u sloju jednake debljine. Lončić s uzorkom spaljuje se na električnoj grijaćoj ploči dok uzorak ne karbonizira. Zatim se lončići prebace u prethodno zagrijanu mufolnu peć na 550 °C i žare u trajanju od 180 min. Lončići se potom izvade i hlade na termorezistentnoj ploči 1 min, te potom prebace u eksikator. Ohlađeni lončići važu se na analitičkoj vagi.

Analiza je provedena u dva mjerenja za svaki uzorak, a udio mineralnih tvari računa se prema formuli **(8)**:

$$w_{mt}\,[\%] = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \qquad \textbf{(8)}$$

Gdje je:

w_{mt} – udio mineralnih tvari [% s. tv.],

m_0 – masa praznog lončića [g],

m_1 – masa lončića s uzorkom [g],

m_2 – masa lončića i pepela [g].

Dobiveni rezultat preračunat je na suhu tvar.

3.3.3.3. Određivanje udjela proteina u sirovinama

Udio proteina u sirovinama određen je prema ISO 5983-2 metodi. Udio proteina u namirnicama određuje se indirektno iz određenog udjela dušika množenjem rezultata s konvencionalnim faktorom konverzije 5,7 za prehrambene proizvode.

Postupak se sastoji od tri faze: vlažno spaljivanje/oksidacija, destilacija i titracija. Uzorak se izvaže u staklenu kivetu za digestiju, dodaju se koncentrirana sumporna kiselina (H_2SO_4), katalizator ($CuSO_4$) i soli za povišenje vrelišta (Na_2SO_4) te se kiveta stavlja u blok za spaljivanje prilikom čega dolazi do potpune oksidacije organske tvari, a dušik koji se pri tome oslobađa u

obliku NH_3 sa H_2SO_4 daje $(NH_4)_2SO_4$. Prilikom destilacije djelovanjem lužine na $(NH_4)_2SO_4$ oslobađa se amonijak koji se predestilira vodenom parom u tikvicu s kiselinom poznatog molariteta. Višak kiseline odredi se titracijom, a udio dušika računa se prema formuli **(9)**:

$$w_N\,[\%] = \frac{(a - b) \times f_{kis} \times 1{,}4}{m} \qquad \textbf{(9)}$$

Gdje je:

w_N – udio dušika [%],

a – volumen 0,1 M otopine NaOH upotrijebljene za tiraciju slijepe probe [mL],

b – volumen 0,1 M otopine NaOH upotrijebljene za tiraciju uzorka [mL],

f_{kis} – faktor upotrijebljene otopine 0,1 M NaOH,

m – masa uzorka [g].

Udio proteina računa se prema formuli **(10)**:

$$w_P\,[\%] = w_N \times F \qquad \textbf{(10)}$$

Gdje je:

w_P – udio proteina [%],

w_N – udio dušika [%],

F – faktor za preračunavanje udjela dušika u proteine; za prehrambene proizvode

(F = 5,7).

Dobiveni rezultat preračunat je na suhu tvar.

3.3.3.4. Određivanje udjela masti u sirovinama

Udio masti određuje se ekstrakcijom iz uzorka organskim otapalom (petrol-eter) sa ili bez prethodne obrade uzorka kiselinom (HCl) prema ISO 6492 metodi. Postupak ekstrakcije provodi se u ekstraktoru po Soxhletu. Tikvica po Soxhletu s nekoliko kuglica za vrenje prethodno se osuši na temperaturi 105 ± 2 °C, hladi u eksikatoru te potom važe na analitičkoj vagi. Izvaže se oko 5 g uzorka u odmašćeni tuljak za ekstrakciju te se tuljak stavi u ekstraktor, spoji se tikvica i doda petrol-eter. Ekstrakcija traje 4 sata i to tako da se osigura oko 10 prelijevanja po satu. Otapalo se potom predestilira, a ostatak ispari na vodenoj kupelji te se

tikvica suši u sušioniku na 103 °C do konstantne mase, potom hladi u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi.

Mjerenje je provedeno u dvije paralele, a udio masti računa se prema formuli **(11)**:

$$w_M\ [\%] = \frac{m_M}{m_0} \times 100 \qquad \textbf{(11)}$$

Gdje je:

w_M – udio masti [%],

m_M – masa ekstrahirane masti [g],

m_0 – masa uzorka [g].

3.3.3.5. Određivanje udjela škroba u sirovinama

Udio škroba određen je prema AACC 76-13 metodi. Metoda se bazira na hidrolizi škroba do topljivih razgranatih i nerazgranatih maltodekstrina uz pomoć termostabilne α-amilaze. Rezistentni škrob djelovanjem vode i termostabilne α-amilaze prevodi se u maltodekstrine koji se uz pomoć amiloglukozidaze razgrađuju na D-glukozu. Heksokinaza prevodi D-glukozu u glukoza-6-fosfat, a ATP u ADP. U prisutnosti enzima glukoza-6-fosfat dehidrogenaza i djelovanjem $NADP^+$, glukoza-6-fosfat se oksidira u glukonat-6-fosfat uz nastanak reduciranog NADPH. Količina nastalog NADPH proporcionalna je količini D-glukoze, a određuje se spektrofotometrijski na 340 nm.

Koncentracija škroba se računa po formuli **(12)**:

$$c\ [\text{g/L}] = \frac{V \times Mm}{\varepsilon \times d \times v} \times \frac{162}{180} \times \Delta\text{AD-glukoza} \qquad \textbf{(12)}$$

Gdje je:

V – konačni volumen [mL],

Mm – molekularna masa D-glukoze [g/mol],

ε - koeficijent ekstinkcije NADPH na 340 nm

- 6300 [1/molcm],

d – dužina svjetlosti [cm],

v – volumen uzorka [mL],

162/180 - faktor za pretvorbu iz slobodne D-glukoze, koja se određuje, u anhidro D-glukozu, koja je prisutna u škrobu.

Za škrob slijedi **(13)**:

$$c\ [\mathrm{g/L}] = \frac{2{,}27 \times 180{,}16}{6300 \times 1 \times 0{,}05} \times \frac{162}{180} \times \Delta\text{AD-glukoza} \qquad \textbf{(13)}$$

$$= 1{,}1685 \times \Delta\text{AD-glukoza}$$

3.3.3.6. Određivanje udjela ukupnih, topljivih i netopljivih vlakana

Udio ukupnih, topljivih i netopljivih prehrambenih vlakana određen je prema AOAC 991.43 metodi. Prehrambena vlakna su smjesa kompleksnih organskih supstanci, koja uključuje hidrofilne spojeve, kao što su topljivi i netopljivi polisaharidi i neprobavljivi oligosaharidi, i manje ili više hidrofobne spojeve, kao što su kutin, suberini i lignini.

Princip metode je enzimska razgradnja uzorka uz pomoć termostabilne α-amilaze, proteaze i amiloglukozidaze. Topljiva i netopljiva vlakna određuju se gravimetrijski.

Odvaže se 1 g ± 0,005 g uzorka (usitnjena sušena tjestenina i kuhana liofilizirana tjestenina) u Erlenmeyerovu tikvicu od 100 mL, doda se 40 mL MES-TRIS puferske otopine pH 8,2, te se uzorci homogeniziraju na magnetnoj mješalici. Zatim se doda termostabilna α-amilaza, te se uzorci inkubiraju uz konstantno miješanje u vodenoj kupelji temperature 98-100 °C tijekom 30 min. Tikvice se izvade iz kupelji, doda se 10 mL destilirane vode u svaki uzorak, a temperatura kupelji spusti na 60 °C. Nakon tog, u uzorke se doda proteaza, promiješa se na magnetnoj mješalici i stavi na inkubaciju u vodenu kupelj uz konstantno miješanje 30 min na 60 °C. U uzorke se doda 5 mL otopine 0,561 N HCl-a uz miješanje na magnetnoj mješalici, te se zatim pH uzorka namjesti na vrijednost 4,1 – 4,8 dodatkom otopine 5%-tnog HCl ili 5%-tnog NaOH. Zatim se u uzorke doda amiloglukozidaza i slijedi inkubacija u vodenoj kupelji uz konstantno miješanje na 60 °C tijekom 30 min.

Netopljiva vlakna određuju se filtriranjem uzorka pomoću vakuuma kroz sinterirane lončiće s Celitom (lončići su prethodno oprani, ižareni i ohlađeni, te je u njih dodano oko 1 g Celita i zatim su osušeni i izvagani na analitičkoj vagi). Važno je kvantitativno prenijeti sadržaj iz tikvice jer on predstavlja netopljiva vlakna. 80 mL filtrata se skupi i prenese u visoku čašu od 600 mL te sačuva za određivanje topljivih vlakana. Lončići se isperu s 95%-tnim etanolom i acetonom, te suše preko noći na 103 °C prekriveni aluminijskom folijom, hlade u eksikatoru 1 h i važu na analitičkoj vagi.

Topljiva vlakna određuju se dodatkom četverostrukog volumena (320 mL) 95%-tnog etanola zagrijanog na 60 °C u sakupljeni filtrat. Uzorci se ostave stajati na sobnoj temperaturi tijekom 60 min, nakon čega se filtriraju pomoću vakuuma na sinter lončićima kao i kod netopljivih vlakana. Sinter lončići se isperu sa 78%-tnim etanolom, 95%-tnim etanolom i acetonom, zatim suše tijekom noći na 103 °C prekriveni aluminijskom folijom, hlade u eksikatoru 1 h i važu na analitičkoj vagi.

Tijekom svake analize provodi se i analiza slijepe probe u svrhu mjerenja utjecaja reagenasa na dobiveni rezultat.

Jedna paralela koristi se za određivanje proteina, a druga za određivanje mineralnih tvari radi korekcije rezultata i dobivanja što točnije vrijednosti.

Udio netopljivih (NV) i topljivih (TV) vlakana računa se prema formuli **(14)**, a ukupna vlakna prema formuli **(15)**:

$$\text{NV (TV) [\%]} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - p - A - B}{\frac{m_1 + m_2}{2}} \times 100 \qquad \textbf{(14)}$$

$$\text{UV [\%]} = \text{NV} + \text{TV} \qquad \textbf{(15)}$$

Gdje je:

R_1 i R_2 – masa vlakana (ostatka na lončiću) iz uzorka m_1 i m_2 [g],

m_1 i m_2 – masa početnog uzorka za analizu [g],

p – masa proteina iz ostatka R_1 [g],

A – masa pepela iz ostatka R_2 [g],

B – slijepa proba **(16)** [g].

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BP - BA \qquad \textbf{(16)}$$

Gdje je:

BR – masa ostatka slijepe probe [g],

BP – masa proteina iz BR_1 [g],

BA – masa pepela iz BR_2 [g].

3.3.3.7. Određivanje udjela β-glukana

Udio β-glukana određivan je u uzorcima sušene i kuhane tjestenine prema AACC 32-23 metodi. Uzorci sušene tjestenine samljeveni su na kuhinjskom mlinu za kavu (Braun) na granulaciju < 0,5 mm. Sušena tjestenina je skuhana do optimalnog vremena kuhanja, isprana, procijeđena i liofilizirana. Liofilizirana kuhana tjestenina samljevena je na kuhinjskom mlinu za kavu, određen je udio vode i udio β-glukana prema prethodno opisanom postupku analize i računanja (3.3.1.1.). Mjerenje je provedeno u dvije paralele za svaki uzorak, a rezultat izražen kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije.

3.3.3.8. Određivanje stupnja oštećenog škroba

Stupanj oštećenog škroba određen je prema AACC 76-31.01 metodi. Stupanj oštećenosti škroba definira se kao postotak škroba (u odnosu na masu uzorka) koji je podložan enzimskoj hidrolizi. Princip metode se zasniva na hidrataciji i hidrolizi oštećenih škrobnih granula uzorka pomoću fungalne α-amilaze pri 40 °C kroz 10 min. Produkti hidrolize su maltooligosaharidi i α-granični dekstrini. Ovi uvjeti omogućavaju gotovo potpunu hidrolizu oštećenih škrobnih granula i minimalnu razgradnju neoštećenih granula. Enzimska hidroliza se prekida nakon točno 10 min dodatkom razrijeđene sulfatne kiseline. Uzorak se centrifugira, a alikvot supernatanta (sadrži maltooligosaharide i α-granične dekstrine) se tretira pročišćenom amiloglukozidazom. Nastaje glukoza koja s glukoza oksidaza/peroksidaza reagensom (GOPOD) stvara obojenje čiji se intenzitet određuje spektrofotometrijski. Stupanj oštećenosti škroba se računa prema formuli **(17)**:

$$\text{Oštećeni škrob [\%]} = \Delta A \times F \times 60 \times 1/1000 \times 100/m \times 162/180 = \Delta A \times F/m \times 5{,}4 \quad \textbf{(17)}$$

Gdje su:

ΔA - apsorbancija umanjena za slijepu probu,

F - 150 µg glukoze/apsorbancija za 150 µg glukoze,

60 - korekcija volumena (0,1 ml uzeto iz 6,0 ml),

1/1000 - pretvaranje µg u mg,

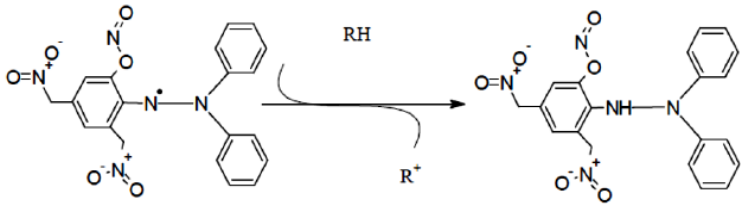
100/m - faktor za izražavanje oštećenosti škroba kao postotak od uzorka brašna (m - masa uzorka u mg),

162/180 - prilagodba slobodne glukoze prema anhidro glukozi kakva se pojavljuje u škrobu.

3.3.3.9. Određivanje antioksidativne aktivnosti DPPH metodom

Glavna uloga antioksidanasa u hrani je uklanjanje slobodnih radikala. Na osnovu te činjenice razvijene su metode za određivanje antioksidativne aktivnosti, a koje se temelje na uklanjanju sintetskih slobodnih radikala u polarnom organskom otapalu (metanol, etanol i sl.) pri sobnoj temperaturi. Jedna od najčešćih koristi 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikale.

Metoda se temelji na redukciji slobodnih DPPH radikala antioksidansom koji služi kao donor atoma vodika ili elektrona (**Slika 13**)



Slika 13 Mehanizam reakcije antioksidansa s DPPH radikalom (Brand-Williams i sur., 1995.)

Redukcija DPPH radikala praćena je smanjenjem absorbancije pri 515 nm, do koje dolazi zbog smanjenja količine antioksidansa ili reakcije s radikalima, a detektira se spektrofotometrijski pri valnoj duljini 517 nm (Brand-Williams i sur., 1995.).

Uzorci su ekstrahirani sa zakiseljenim metanolom (metanol : koncentrirana HCl = 99 : 1). Izvaže se 0,2 g uzorka u laboratorijsku čašu od 10 mL, doda se 4 mL zakiseljenog metanola te se ekstrahira u trajanju od 15 min na ultrazvučnoj kupelji. Nakon toga uzorci se centrifugiraju 10 min na 3000 × *g*. Otpipetira se 0,2 mL uzorka i 3 mL otopine DPPH (oko 4 mg DPPH radikala otopi se u etanolu dok se pri valnoj duljini 517 nm ne postigne absorbanca 1), dobro promiješa i reakcijska smjesa se ostavi stajati 15 min. Nakon toga mjeri se apsorbancija pri 517 nm. Za slijepu probu umjesto uzorka dodan je etanol. Rezultat se preračuna iz kalibracijske krivulje troloxa. Za svaki uzorak provedena su dva mjerenja.

3.3.3.10. Određivanje udjela ukupnih polifenola

Koncentracija ukupnih fenola je određena Folin-Ciocalteu metodom. Rezultat se preračuna iz jednadžbe kalibracijske krivulje galne kiseline.

Odvaže se 0,2 g uzorka usitnjene tjestenine, doda se 4 mL zakiseljenog metanola (metanol : koncentrirana HCl = 99 : 1) te se uzorci ekstrahiraju u trajanju od 2 h na magnetnoj mješalici na sobnoj temperaturi. Nakon toga uzorci se centrifugiraju 10 min na 3000 × *g*. Otpipetira se 0,2 mL uzorka, 1,5 mL Folin-Ciocalteu reagensa (1:10) i 1,5 mL 60%-tne otopine natrijevog

karbonata u epruvetu, promućka se i ostavi da stoji 2-20 h na tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi. Apsorbancija se određuje na spektrofotometru pri 725 nm. Slijepa proba pripravi se sa destiliranom vodom. Za svaki uzorak provedena su dva mjerenja.

3.3.3.11. Određivanje probavljivosti ugljikohidrata *in vitro*

In vitro probavljivost ugljikohidrata određena je prema metodi Simonato i sur. (2015.). Metodom se oponaša digestija ugljikohidrata u ljudskom organizmu.

Uzorak tjestenine skuha se do optimalnog vremena kuhanja, ispere i procijedi, usitni i izvaže se po 1 g u 3 epruvete (kako bi se pratila probavljivost na 20, 120 i 180 min). Doda se 4 mL pankreasne amilaze, promiješa i stavi na inkubaciju u vodenu kupelj s trešnjom na 37 °C. Nakon 20, 120 i 180 min izvadi se epruveta s uzorkom i reakcija prekida dodatkom 4 mL apsolutnog etanola. Uzorak se centrifugira na 5000 × *g*, 10 min na 8 °C. Supernatant se razrijedi do 100 mL dodatkom 100 mM Na acetatnog pufera te se alikvot od 100 µL prebaci u dvije epruvete. Doda se amiloglukozidaza i inkubira 20 min na 50 °C. Nastaje glukoza koja s glukoza oksidaza-peroksidaza reagensom (GOPOD) stvara obojenje, čiji se intenzitet određuje spektrofotometrijski na 510 nm. Glukoza oslobođena tijekom razgradnje kvantificira se kao hidrolizirani škrob tijekom vremena razgradnje množenjem apsorbance s 0,9.

3.3.4. Reološka svojstva

3.3.4.1. Određivanje viskoznosti brašna i uzoraka tjestenine

Viskoznost sirovina, smjesa i uzoraka sušene tjestenine određena je na Brabenderovom Mikro visko-amilografu, Brabender, Duisburg, Njemačka. Uzorci se pripremaju tako da se prvo na osnovi određenog udjela vode u brašnu korigiraju mase uzoraka i potrebnog dodatka vode. Korekcija se vrši na 14%-tni udjel vode. Ispitivanje je provedeno prema sljedećim parametrima:

- broj okretaja: 250/min;
- mjerno područje: 300 cmg;
- zagrijavanje 30 - 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C/min;
- izotermno zadržavanje na 92 °C, 5 min;
- hlađenje 92 - 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C/min;
- izotermno zadržavanje na 50 °C, 1 min.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 okretaja/min, pri čemu se dobiju sljedeći parametri:

1. Početna temperatura želatinizacije škroba [°C];

2. Viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];
4. Vrijednost viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C [BU];
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 min miješanja na 50 °C [BU];
7. Kidanje - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU];
8. „Setback“ - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Ova vrijednost označava sklonost suspenzije retrogradaciji [BU].

3.3.5. Senzorska analiza

Senzorsko ocjenjivanje odabranih uzoraka tjestenine provedeno je upotrebom hedonističke skale od 1 do 9, gdje je:

1 - naročito visoko nepoželjan (ne sviđa mi se uopće)
2 - visoko nepoželjan
3 - osrednje nepoželjan
4 - neznatno nepoželjan
5 - neutralan (niti mi se sviđa niti ne sviđa)
6 - neznatno poželjan
7 - osrednje poželjan
8 - visoko poželjan
9 - naročito visoko poželjan (jako mi se sviđa)

48 osoba, redovitih potrošača tjesteničarskih proizvoda sudjelovalo je u senzorskom ocjenjivanju uzoraka tjestenine. Potrošači su bili upoznati samo s informacijom da se radi o integralnoj tjestenini s dodatkom brašna ječma. Nakon svake konzumacije, potrošači su koristili vodu za ispiranje usta. Uzorci sušene tjestenine za senzorsko ispitivanje kuhani su prije samog ocjenjivanja. Skuhana tjestenina je isprana i procijeđena, te se servirala potrošačima nakon 2 min stajanja. Uzorci su servirani pod šiframa u staklenim zdjelicama, nasumično, jedan za drugim, kako bi se spriječilo potrošače da uspoređuju međusobno uzorke. Prilikom ocjenjivanja nije upotrijebljen kontrolni uzorak, a posudice s uzorkom postavile su se na bijeli papir radi boljeg dojma vanjskog izgleda.

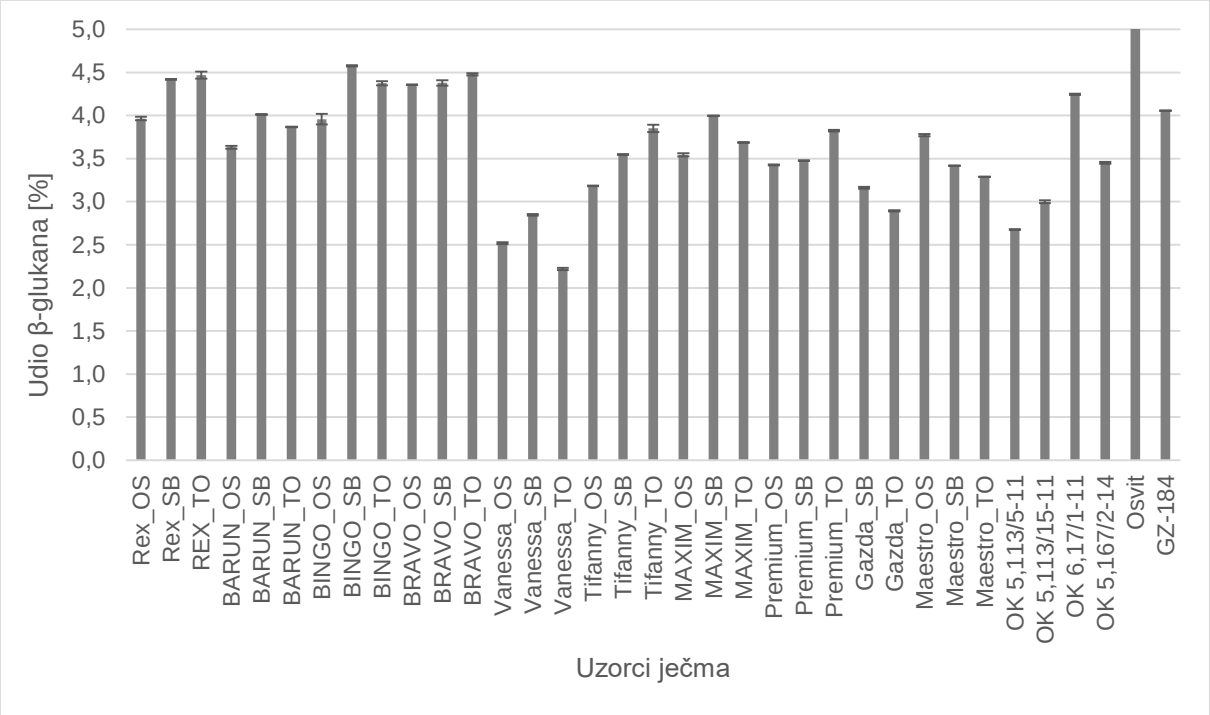
3.3.5. Statistička obrada podataka

Rezultati istraživanja prikazani su tablično i grafički, a statistička obrada podataka provedena je uporabom programa Statistica (StatSoft) i Microsoft Excel 2013. Prilikom obrade rezultata u programu Statistica 12 korištena je analiza glavnih faktora (Main effects ANOVA), te Fischer-ov test najmanje značajne razlike (LSD) s faktorom značajnosti na razini 95% ($p<0,05$). Rezultati Main effects ANOVA analize prikazani su grafički uz prikaz utjecaja udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na određeni parametar. Na grafičkom prikazu, okomiti +/- rasponi predstavljaju standardnu grešku.

4. REZULTATI

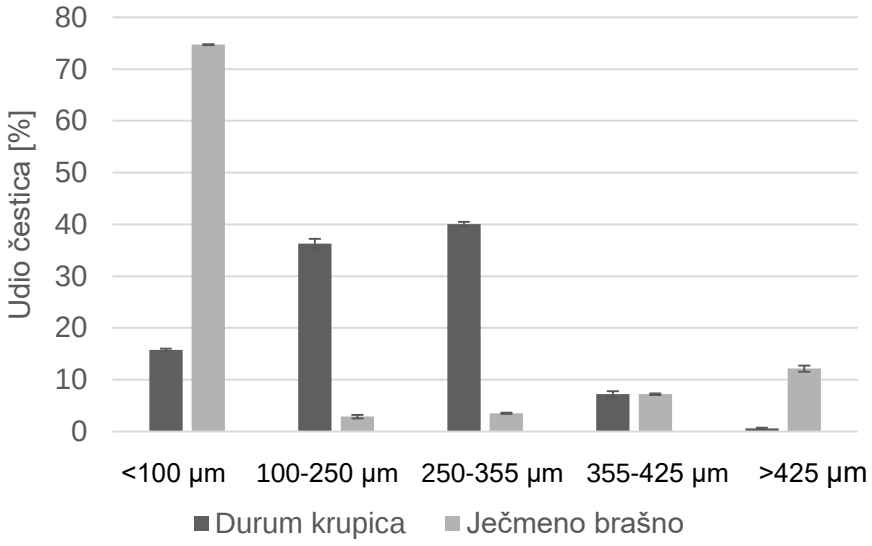
4.1. Analiza sirovina

4.1.1. Udio β-glukana u uzorcima ječma



Slika 14 Udio β-glukana u uzorcima ječma s tri lokacije tijekom jedne proizvodne godine (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

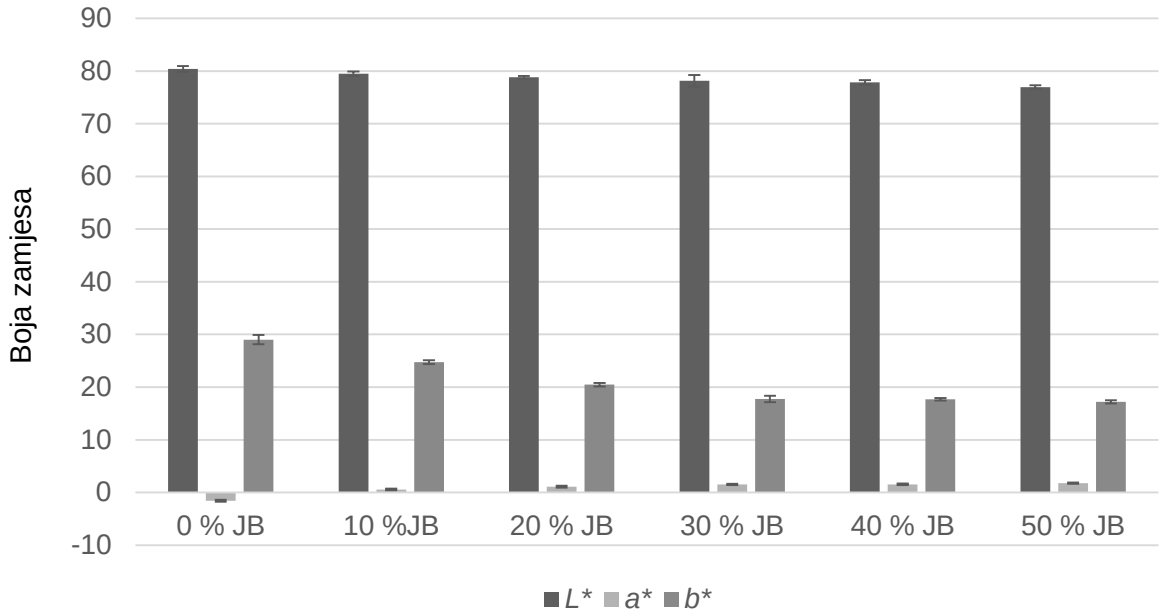
4.1.2. Određivanje veličine čestica sirovina



Slika 15 Granulacijski sastav sirovina (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

4.2. Fizikalna svojstva sirovina i uzoraka tjestenine

4.2.1. Boja sirovina i uzoraka tjestenine



Slika 16 Boja zamjesa (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju) s dodatkom ječmenog brašna (JB)

Tablica 6 Ukupna promjena boje zamjesa*

Uzorak	Δ*E*
0% JB	
10% JB	4,84
20% JB	9,10
30% JB	11,87
40% JB	12,01
50% JB	12,74

*JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB

Tablica 7 Boja uzoraka sirove tjestenine[A]

Uzorak	Ekstruder			ΔE	Preša			ΔE
	*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**	
0% JB	78,78±1,54^{e}	-3,96±0,11^{a}	35,40±0,48^{f}		75,72±0,39^{e}	-3,35±0,13^{a}	28,35±0,45^{e}	
10% JB	77,07±0,26^{d}	-2,14±0,19^{b}	33,16±0,52^{e}	3,35	72,26±0,16^{d}	-0,93±0,15^{b}	24,13±0,43^{d}	5,97
20% JB	74,90±0,55^{c}	-0,60±0,14^{c}	30,85±0,53^{d}	6,86	71,47±0,20^{c}	-0,34±0,20^{c}	23,12±0,19^{c}	7,38
30% JB	73,92±0,49^{b}	0,48±0,15^{d}	28,98±0,54^{c}	9,20	68,87±0,38^{b}	0,82±0,16^{d}	22,67±0,26^{c}	9,83
40% JB	72,32±0,33^{a}	1,42±0,16^{e}	26,94±0,43^{b}	11,92	68,20±0,45^{a}	1,50±0,23^{e}	21,04±0,66^{b}	11,56
50% JB	71,72±0,22^{a}	2,02±0,08^{f}	25,01±0,61^{a}	13,91	67,88±0,31^{a}	1,81±0,08^{f}	19,46±0,25^{a}	12,93

[A]JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 8 Boja uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu[A]

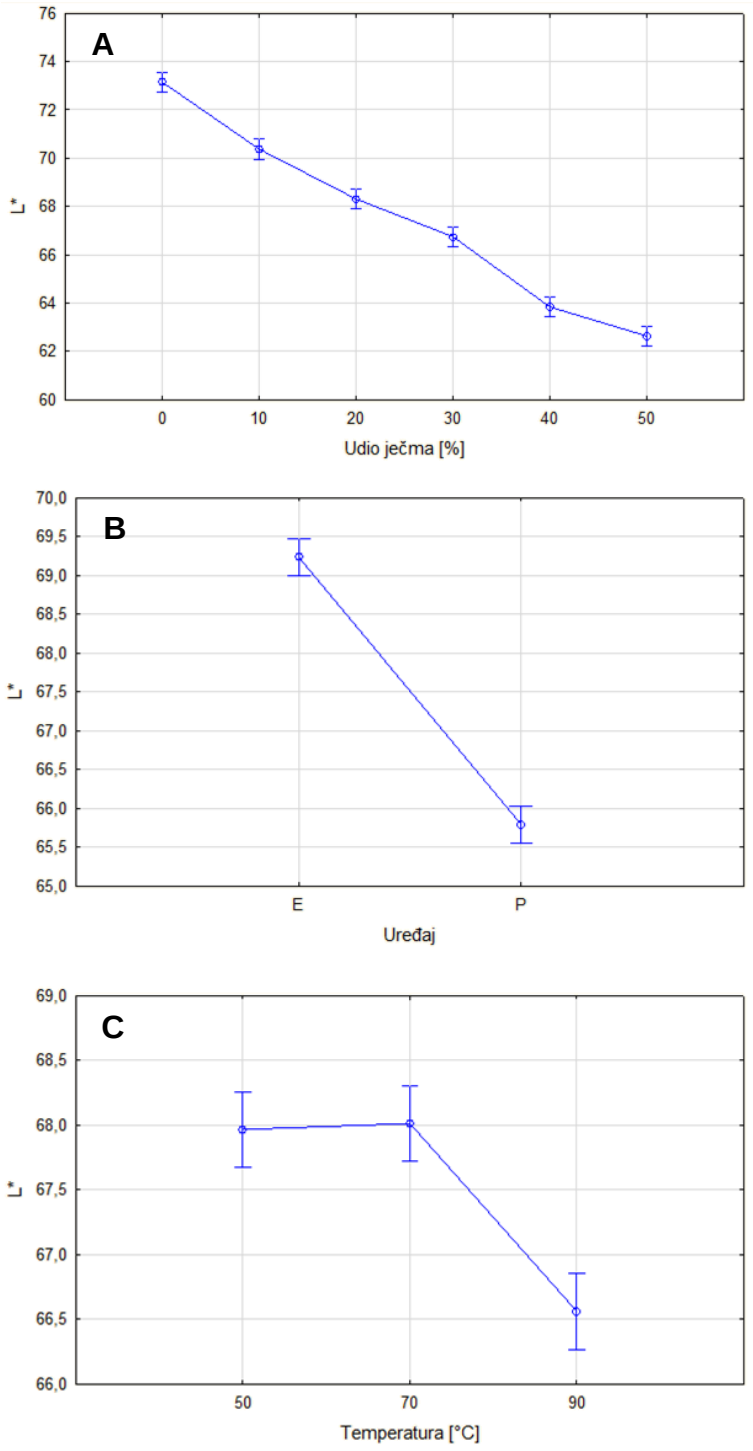
Uzorak	50 °C			ΔE	70 °C			ΔE	90 °C			ΔE
	*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**	
0% JB	73,29±0,27^{f}	-2,47±0,21^{a}	20,50±0,63^{d}		74,47±0,30^{f}	-3,03±0,31^{a}	21,72±0,35^{f}		69,46±0,31^{f}	-1,92±0,21^{a}	24,33±0,45^{f}	
10% JB	72,20±0,24^{e}	-1,98±0,12^{b}	20,09±0,60^{d}	1,26	73,73±0,28^{e}	-2,18±0,18^{b}	20,55±0,30^{e}	1,62	68,19±0,22^{e}	-1,12±0,07^{b}	23,26±0,28^{e}	1,83
20% JB	71,40±0,31^{d}	-0,86±0,22^{c}	18,84±0,24^{c}	2,99	72,53±0,31^{d}	-1,42±0,27^{c}	19,56±0,44^{d}	3,32	66,74±0,42^{d}	-0,20±0,06^{c}	22,00±0,40^{d}	3,97
30% JB	69,21±0,39^{c}	1,30±0,13^{d}	18,19±0,13^{b}	6,02	71,43±0,35^{c}	-0,98±0,14^{d}	18,68±0,29^{c}	4,76	65,98±0,09^{c}	1,08±0,08^{d}	20,54±0,53^{c}	5,95
40% JB	67,76±0,36^{b}	1,92±0,11^{e}	18,03±0,06^{ab}	7,47	68,42±0,29^{b}	0,60±0,30^{e}	18,15±0,29^{b}	7,91	65,30±0,28^{b}	2,08±0,05^{e}	19,53±0,21^{b}	7,50
50% JB	66,52±0,41^{a}	2,71±0,22^{f}	17,50±0,37^{a}	9,03	66,52±0,33^{a}	2,40±0,29^{f}	17,11±0,04^{a}	10,66	64,58±0,32^{a}	3,12±0,10^{f}	17,70±0,49^{a}	9,65

[A]JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

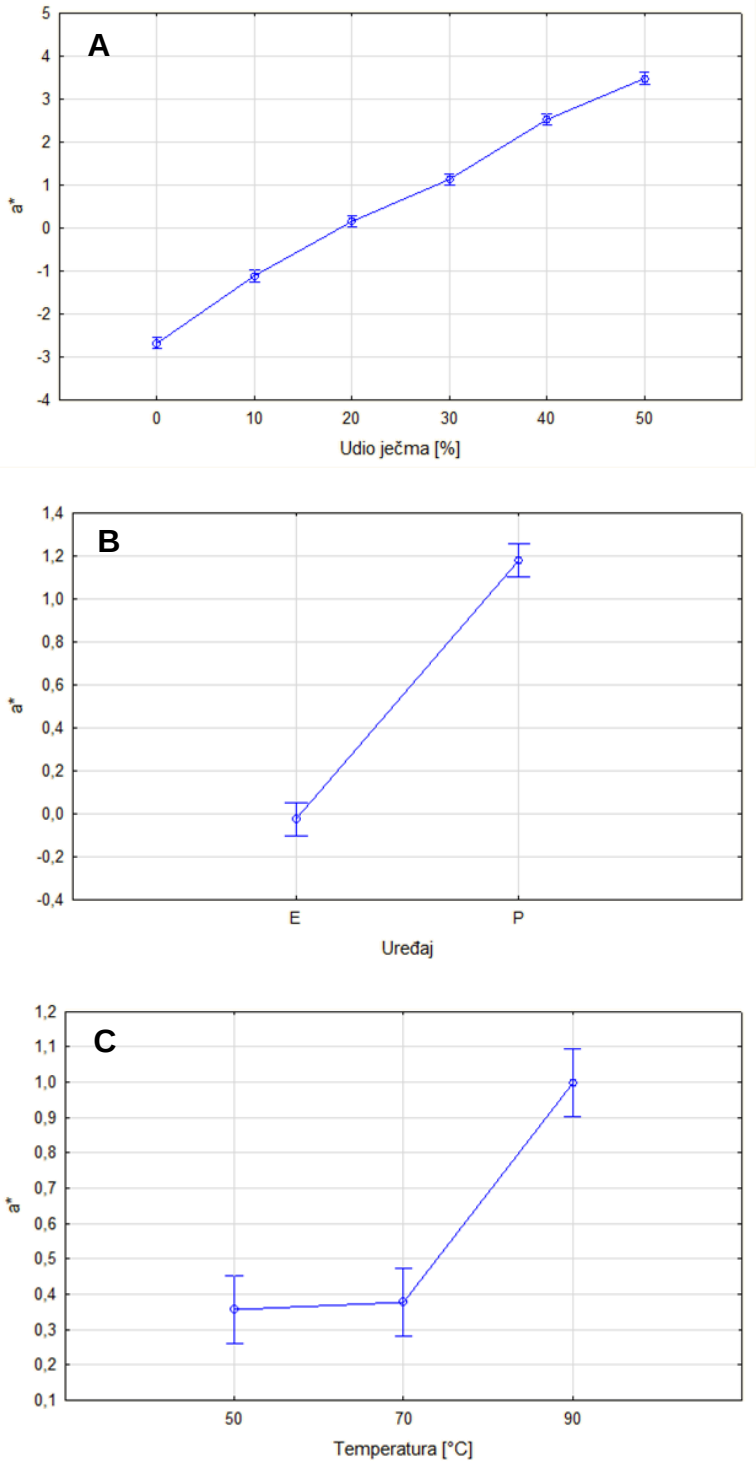
Tablica 9 Boja uzoraka sušene tjestenine proizvedene na preši[A]

Uzorak	50 °C			ΔE	70 °C			ΔE	90 °C			ΔE
	*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**	
0% JB	75,38±0,40^{f}	-3,33±0,26^{a}	26,28±0,54^{e}		75,28±0,26^{e}	-3,39±0,17^{a}	29,34±0,78^{e}		72,52±0,37^{f}	-2,49±0,12^{a}	31,35±0,21^{f}	
10% JB	71,69±0,80^{e}	-1,92±0,51^{b}	25,96±0,28^{e}	3,96	66,10±0,59^{d}	1,09±0,28^{b}	25,52±0,50^{d}	10,91	70,36±0,39^{e}	-0,59±0,27^{b}	28,38±0,37^{e}	4,13
20% JB	65,91±0,53^{d}	0,48±0,30^{c}	23,44±0,19^{d}	10,59	65,98±0,13^{d}	1,37±0,32^{bc}	23,44±0,35^{c}	12,00	67,33±0,36^{d}	1,53±0,34^{c}	27,25±0,24^{d}	7,74
30% JB	63,30±0,47^{c}	1,55±0,27^{d}	22,38±0,46^{c}	13,59	65,12±0,43^{c}	1,68±0,14^{c}	23,10±0,33^{c}	12,96	65,47±0,43^{c}	2,14±0,24^{d}	23,47±0,31^{c}	11,54
40% JB	60,37±0,35^{b}	3,15±0,19^{e}	21,34±0,37^{b}	17,08	58,96±0,14^{b}	3,84±0,21^{d}	22,20±0,28^{b}	19,23	62,26±0,41^{b}	3,52±0,34^{e}	23,05±0,14^{b}	14,50
50% JB	58,97±0,30^{a}	3,52±0,26^{e}	19,75±0,26^{a}	18,94	57,80±0,35^{a}	4,46±0,35^{e}	21,46±0,40^{a}	20,73	61,44±0,31^{a}	4,63±0,37^{f}	22,26±0,16^{a}	16,01

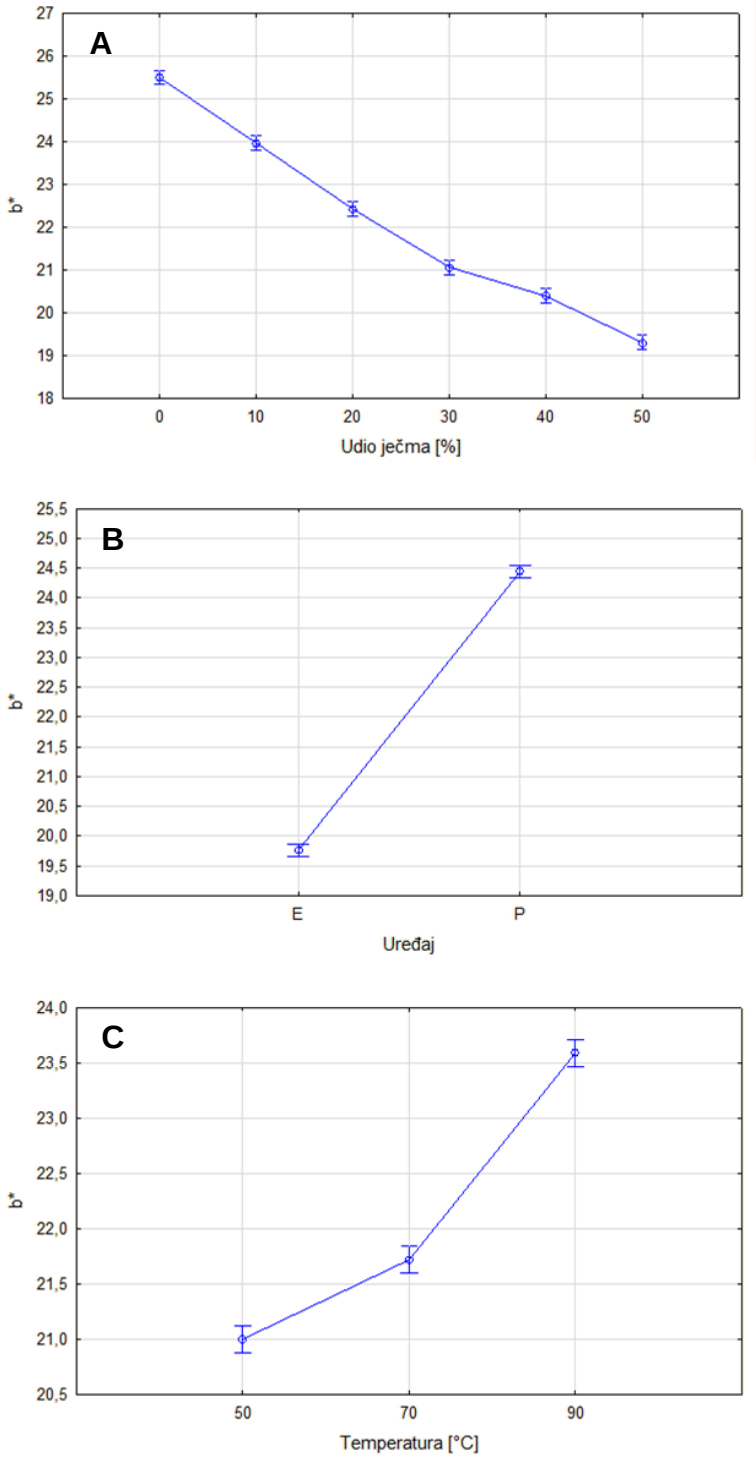
[A]JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD



Slika 17 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *L** parametar uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



Slika 18 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *a** parametar uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



Slika 19 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *b** parametar uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 10 Boja uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu[A]

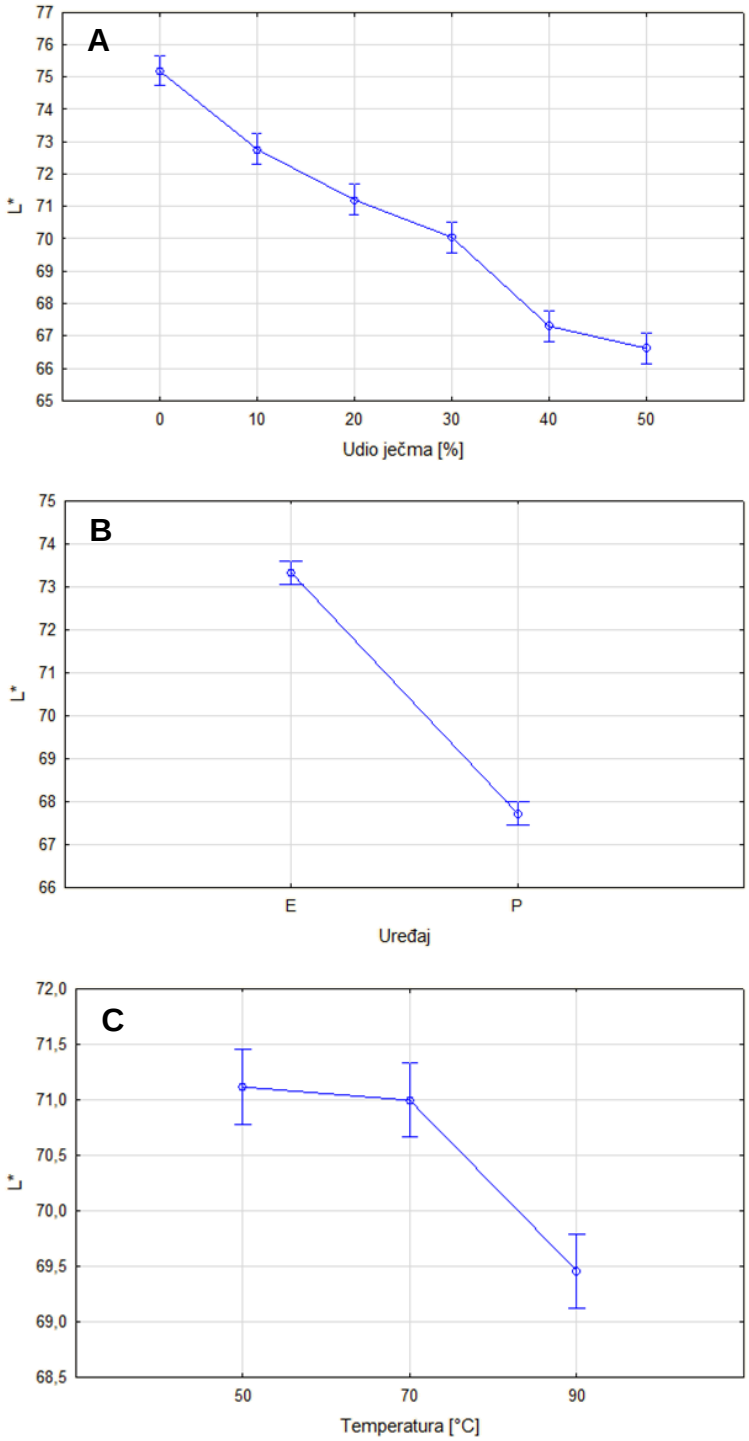
Uzorak	50 °C			ΔE	70 °C			ΔE	90 °C			ΔE
	*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**	
0% JB	76,31±0,82^{f}	-3,54±0,24^{a}	19,90±0,95^{b}		76,52±0,86^{d}	-3,51±0,04^{a}	19,97±1,56^{d}		72,56±1,64^{c}	-1,92±0,21^{a}	23,15±1,33^{d}	
10% JB	75,35±0,60^{e}	-2,72±0,27^{b}	19,19±0,49^{b}	1,46	76,30±0,09^{cd}	-3,22±0,10^{b}	19,53±0,11^{cd}	0,57	72,31±0,44^{c}	-1,12±0,07^{b}	21,17±0,17^{c}	2,15
20% JB	74,57±0,67^{d}	-1,30±0,38^{c}	17,65±0,90^{a}	3,62	75,85±0,13^{c}	-2,07±0,08^{c}	18,89±0,10^{bc}	1,92	71,99±0,09^{c}	-0,20±0,06^{c}	20,67±0,32^{c}	3,06
30% JB	73,20±0,29^{c}	0,06±0,60^{d}	17,34±0,05^{a}	5,41	75,11±0,10^{b}	-1,16±0,07^{d}	18,02±0,07^{ab}	3,63	70,50±0,46^{b}	1,08±0,08^{d}	19,34±0,20^{b}	5,26
40% JB	72,08±0,19^{b}	1,13±0,47^{e}	17,05±0,04^{a}	6,92	74,94±0,08^{b}	-0,18±0,08^{e}	17,58±0,07^{a}	4,39	70,01±0,17^{ab}	2,08±0,05^{e}	18,46±0,40^{a}	6,67
50% JB	70,49±0,53^{a}	2,15±0,28^{f}	16,91±0,06^{a}	8,67	74,21±0,09^{a}	1,22±0,07^{f}	17,11±0,04^{a}	5,99	69,23±0,18^{a}	3,12±0,10^{f}	18,12±0,10^{a}	7,96

[A]JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

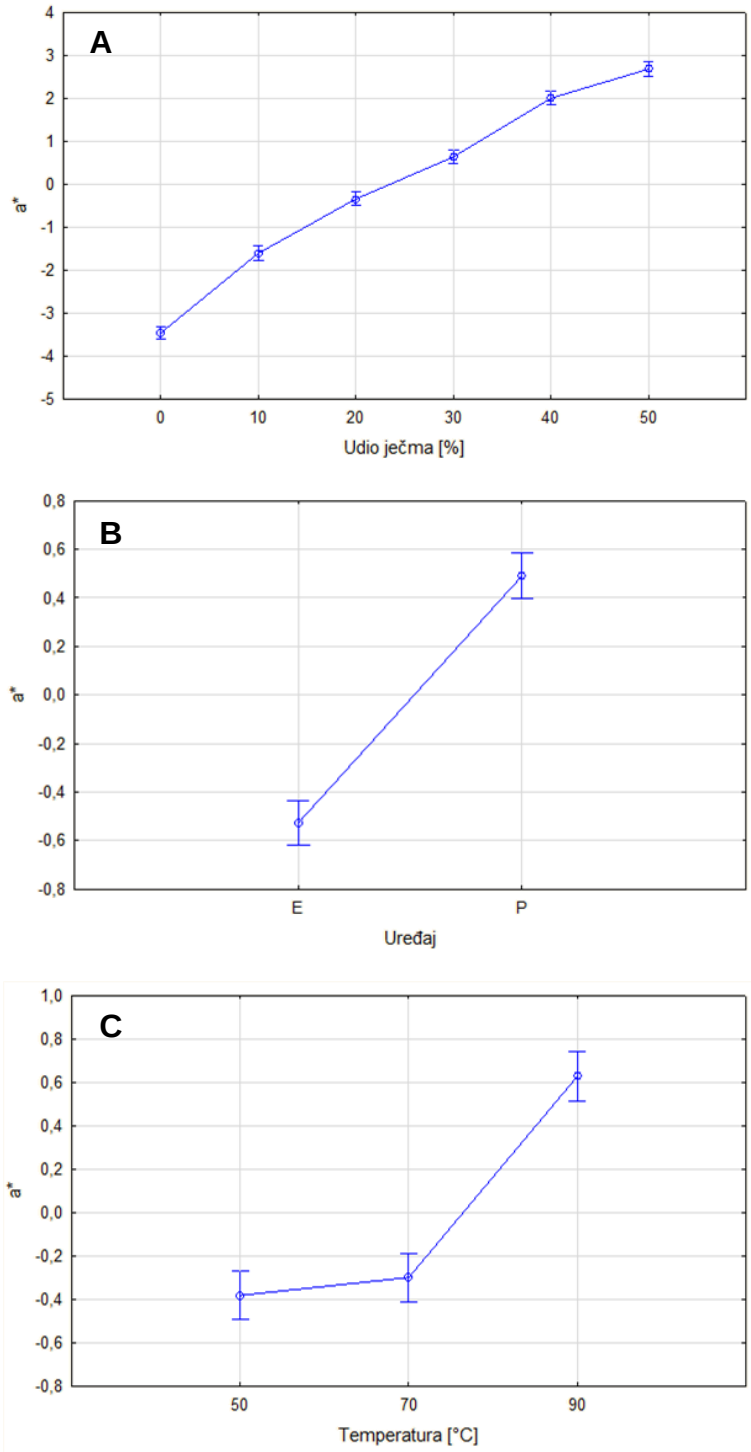
Tablica 11 Boja uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na preši[A]

Uzorak	50 °C			ΔE	70 °C			ΔE	90 °C			ΔE
	*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**		*L**	*a**	*b**	
0% JB	76,85±0,76^{d}	-4,29±0,25^{a}	25,34±2,24^{c}		76,53±0,41^{c}	-4,13±0,19^{a}	28,43±2,26^{d}		74,07±0,41^{e}	-4,01±0,30^{a}	30,35±0,46^{c}	
10% JB	72,63±0,73^{c}	-2,07±0,40^{b}	25,51±1,64^{c}	4,77	67,71±2,35^{b}	0,37±1,09^{b}	23,88±1,39^{c}	10,89	72,29±1,32^{d}	-0,89±0,43^{b}	25,84±1,85^{b}	5,77
20% JB	69,29±1,33^{b}	-0,38±0,14^{c}	22,17±0,73^{b}	9,09	67,03±2,41^{b}	0,89±1,14^{b}	23,05±1,85^{bc}	12,01	68,50±1,17^{c}	0,98±0,46^{c}	26,11±1,28^{b}	8,59
30% JB	67,66±1,88^{b}	0,91±0,60^{d}	21,98±0,84^{b}	11,09	67,30±1,14^{b}	1,07±0,54^{b}	22,08±0,85^{abc}	12,34	66,54±1,16^{b}	1,83±0,48^{d}	21,22±0,60^{a}	13,20
40% JB	62,94±1,74^{a}	2,68±0,59^{e}	20,16±1,32^{a}	16,40	60,49±2,24^{a}	3,28±0,74^{c}	21,42±0,88^{ab}	19,01	63,36±1,40^{a}	3,01±0,52^{e}	22,21±0,98^{a}	15,18
50% JB	62,45±2,09^{a}	2,61±0,53^{e}	18,51±0,16^{a}	17,37	60,32±1,56^{a}	3,68±0,25^{c}	20,06±1,75^{a}	19,84	63,00±1,58^{a}	3,29±0,51^{e}	21,12±1,18^{a}	16,15

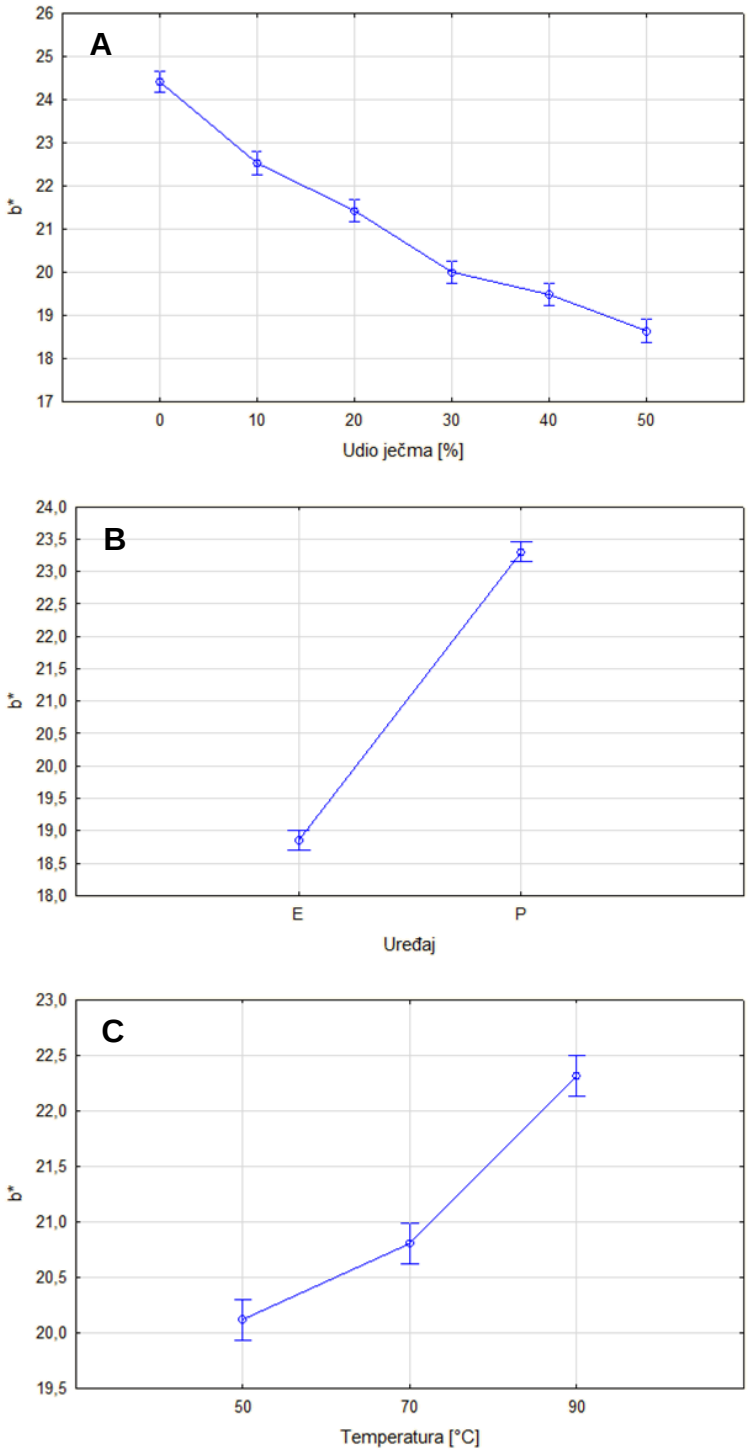
[A]JB – ječmeno brašno, Δ*E* – ukupna promjena boje u odnosu na uzorak bez dodatka JB
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 20 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *L** parametar uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



Slika 21 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *a** parametar uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



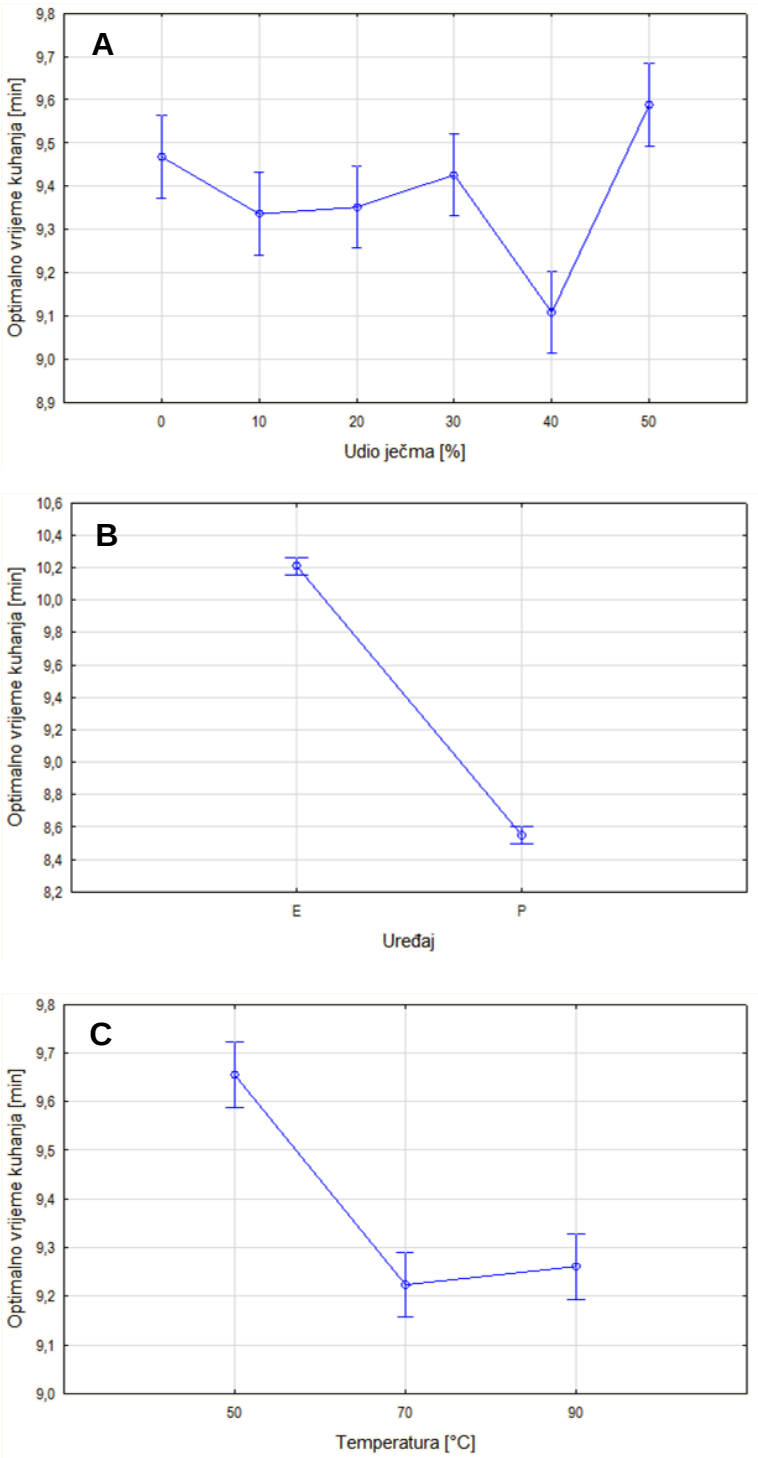
Slika 22 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na *b** parametar uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.2.2. Optimalno vrijeme kuhanja

Tablica 12 Optimalno vrijeme kuhanja uzoraka tjestenine [min]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	10,17±0,10^{bcE}	10,17±0,15^{cE}	10,33±0,06^{abF}	9,44±0,05^{aD}	8,39±0,04^{bC}	8,31±0,01^{cB}
10% JB	10,14±0,05^{bcE}	10,45±0,05^{aF}	10,20±0,26^{abEF}	9,46±0,05^{aD}	7,52±0,05^{dA}	8,25±0,05^{cB}
20% JB	10,28±0,09^{abEF}	10,18±0,08^{bcE}	10,23±0,38^{bCD}	9,25±0,05^{abC}	8,27±0,06^{bC}	8,29±0,09^{cB}
30% JB	10,11±0,09^{cE}	10,11±0,11^{cE}	10,30±0,53^{abDE}	9,18±0,28^{cB}	8,28±0,03^{bC}	9,48±0,03^{aC}
40% JB	10,38±0,08^{aF}	10,34±0,08^{abEF}	10,14±0,09^{abDEF}	8,45±0,06^{dA}	8,25±0,30^{cB}	7,48±0,08^{dA}
50% JB	10,40±0,10^{aF}	10,27±0,03^{bcEF}	10,37±0,12^{aF}	9,09±0,03^{bC}	9,27±0,28^{aD}	8,55±0,05^{bB}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-F) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



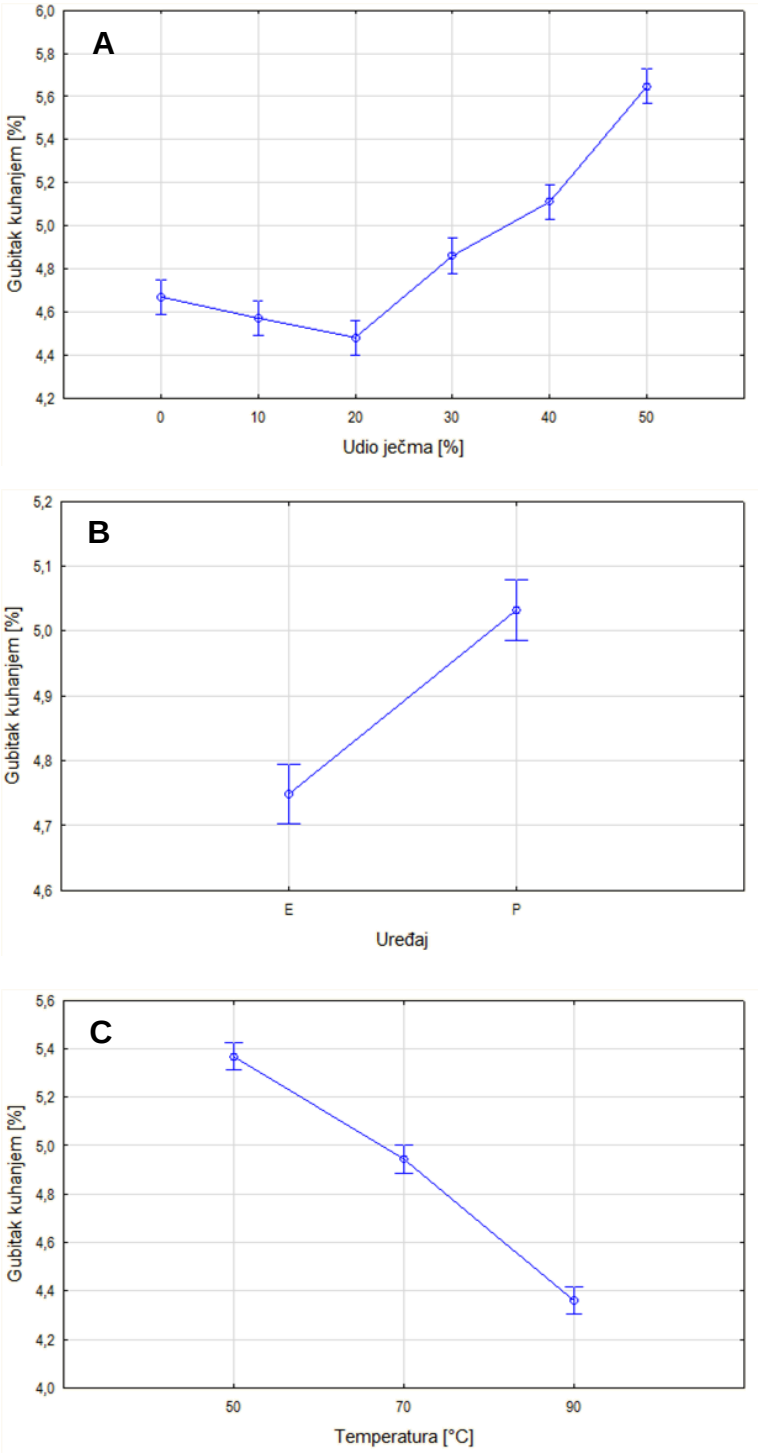
Slika 23 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na optimalno vrijeme kuhanja uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.2.3. Gubitak kuhanjem

Tablica 13 Gubitak kuhanjem uzoraka kuhane tjestenine [%]*

Uzorak	Ekstruder			Prešа		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	4,85±0,19^{cA}	4,36±0,41^{cdA}	3,95±0,23^{bA}	5,09±0,11^{cAB}	5,02±0,05^{cB}	4,75±0,19^{bF}
10% JB	4,84±0,22^{cA}	4,32±0,21^{dA}	4,01±0,23^{bAB}	5,16±0,06^{cAB}	4,79±0,16^{cB}	4,31±0,06^{dBCDE}
20% JB	5,18±0,02^{bcAB}	4,03±0,23^{dA}	4,00±0,07^{bAB}	5,26±0,15^{cB}	4,16±0,06^{dA}	4,26±0,10^{dABCD}
30% JB	5,30±0,21^{bcBC}	4,03±0,04^{bcB}	4,30±0,20^{abBCDE}	5,32±0,04^{cBC}	5,00±0,15^{cB}	4,39±0,13^{cdCDE}
40% JB	5,62±0,23^{abCD}	5,11±0,12^{bBC}	4,30±0,23^{abABC}	5,79±0,15^{bDE}	5,41±0,11^{bC}	4,61±0,08^{bcEF}
50% JB	5,90±0,22^{aDE}	6,15±0,12^{aD}	4,50±0,06^{aDEF}	6,09±0,14^{aE}	6,12±0,14^{aD}	5,11±0,12^{aG}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-G) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



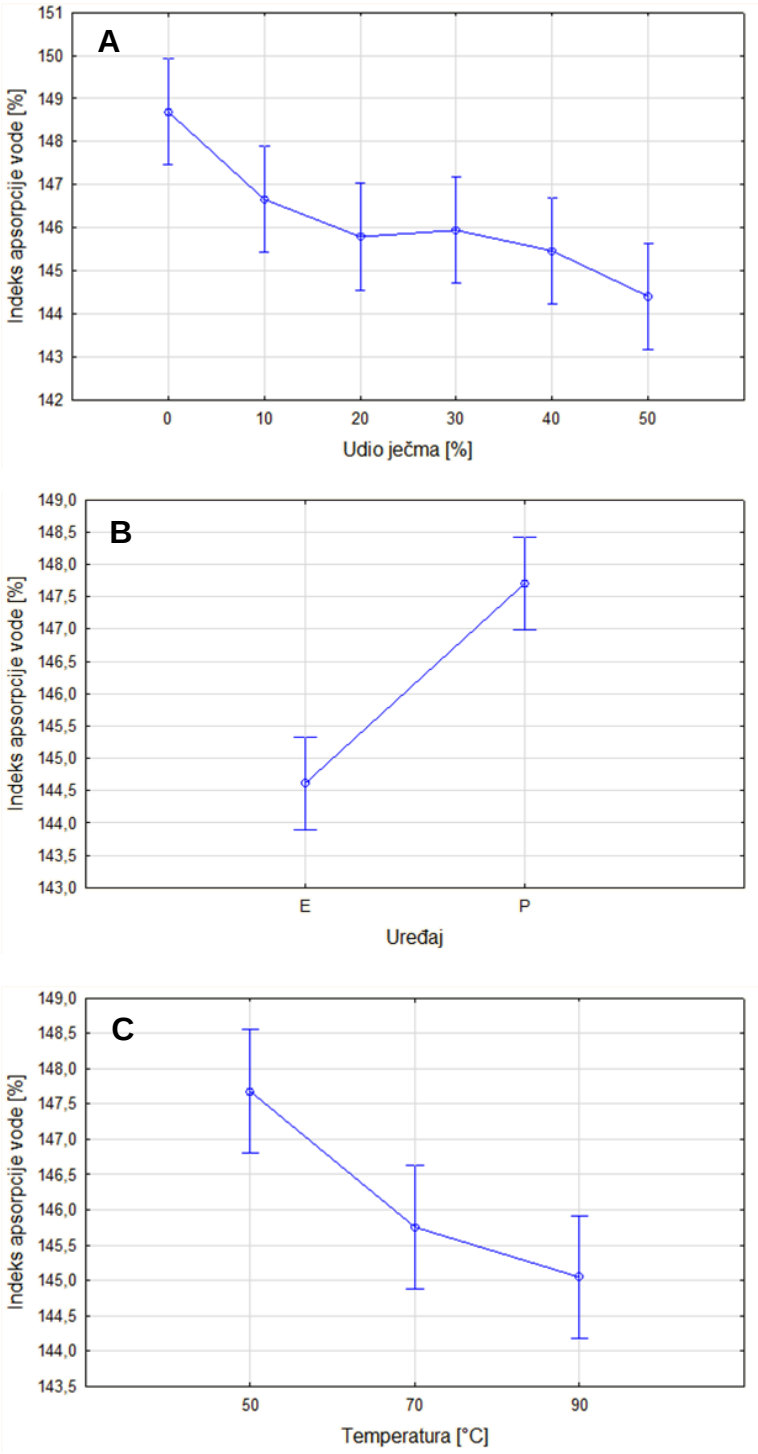
Slika 24 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na gubitak suhe tvari kuhanjem uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.2.4. Indeks apsorpcije vode

Tablica 14 Indeks apsorpcije vode uzoraka kuhane tjestenine [%]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
0% JB	148,87±1,67^{cCD}	147,45±0,10^{cBC}	154,24±7,32^{bC}	151,82±1,38^{bcDE}	144,76±5,37^{aBC}	145,05±2,34^{aAB}
10% JB	142,67±1,63^{abAB}	155,48±3,60^{dD}	141,65±1,03^{aAB}	151,73±0,21^{bcDE}	145,07±2,97^{aBC}	143,36±1,83^{aAB}
20% JB	142,66±4,11^{abAB}	146,09±2,65^{bcBC}	147,37±0,11^{abB}	149,65±0,63^{aCDE}	145,66±0,36^{aBC}	143,31±0,46^{aAB}
30% JB	146,23±2,67^{bcBC}	142,03±0,08^{abAB}	143,45±2,95^{aAB}	151,60±0,43^{bDE}	146,05±0,74^{aBC}	146,30±1,93^{aB}
40% JB	139,02±2,06^{aA}	143,03±0,21^{bcABC}	144,00±0,04^{aAB}	152,68±0,32^{bcDE}	147,16±4,44^{aBC}	146,88±1,73^{aB}
50% JB	141,70±2,06^{abA}	137,57±2,47^{aA}	139,53±1,06^{aA}	153,50±1,00^{cE}	148,72±0,96^{aC}	145,42±2,10^{aB}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-E) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



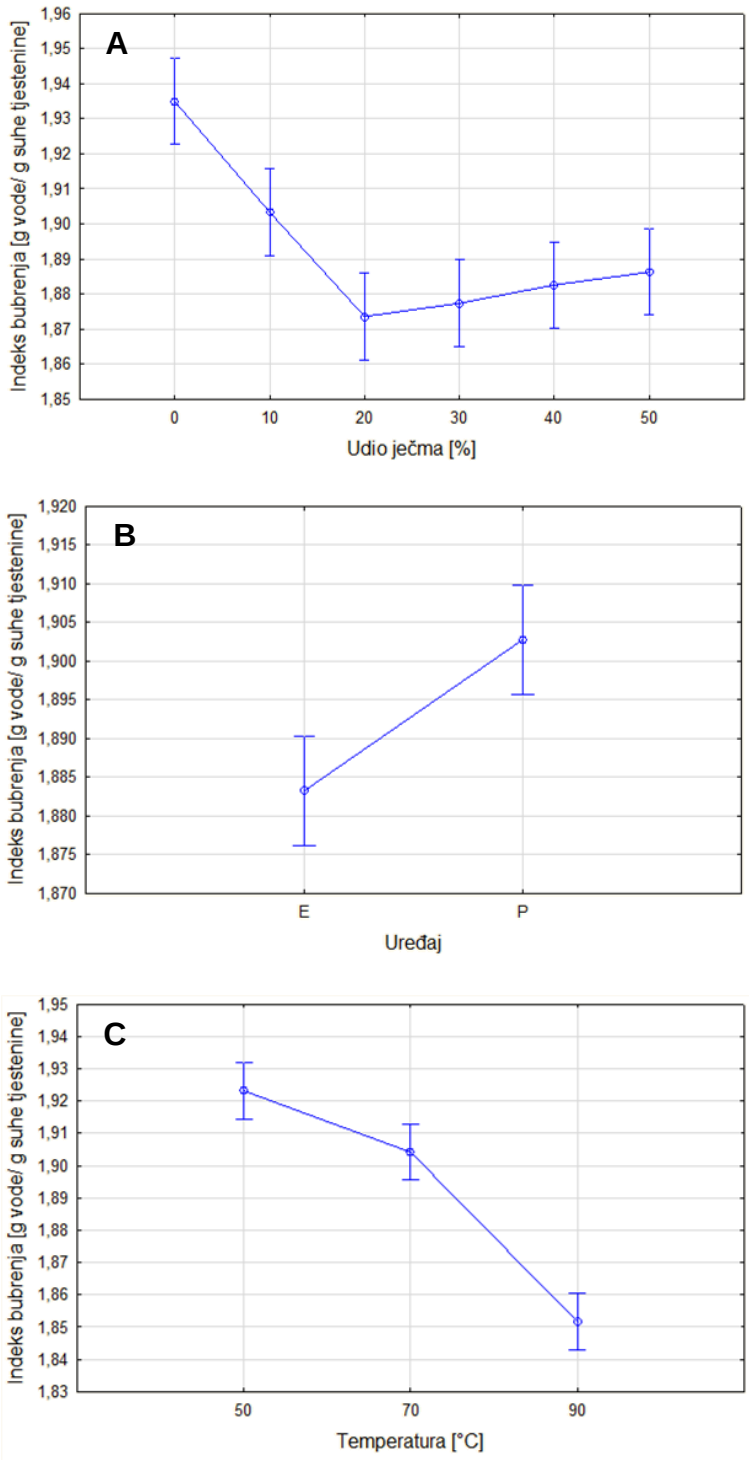
Slika 25 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na indeks apsorpcije uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.2.5. Indeks bubrenja kuhane tjestenine

Tablica 15 Indeks bubrenja uzoraka kuhane tjestenine [g vode/g sušene tjestenine]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
0% JB	1,95±0,01^{bCD}	1,91±0,02^{bBC}	1,92±0,09^{bD}	1,96±0,02^{dD}	1,93±0,00^{bC}	1,92±0,04^{bD}
10% JB	1,89±0,01^{aA}	2,03±0,07^{cD}	1,78±0,00^{aA}	1,93±0,00^{bcdBCD}	1,91±0,01^{abBC}	1,88±0,01^{abBCD}
20% JB	1,90±0,03^{abAB}	1,89±0,03^{abBC}	1,87±0,01^{abBCD}	1,89±0,01^{aA}	1,87±0,04^{aAB}	1,83±0,03^{aABC}
30% JB	1,92±0,04^{abABCD}	1,86±0,01^{abAB}	1,82±0,03^{aAB}	1,92±0,01^{bABC}	1,89±0,01^{abBC}	1,85±0,01^{abABCD}
40% JB	1,89±0,01^{aAB}	1,89±0,00^{abBC}	1,84±0,01^{abABC}	1,93±0,01^{bcABCD}	1,92±0,01^{bC}	1,82±0,02^{aAB}
50% JB	1,93±0,02^{abBCD}	1,82±0,02^{aA}	1,78±0,00^{aA}	1,95±0,02^{cdCD}	1,93±0,01^{bC}	1,90±0,04^{bCD}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-D) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



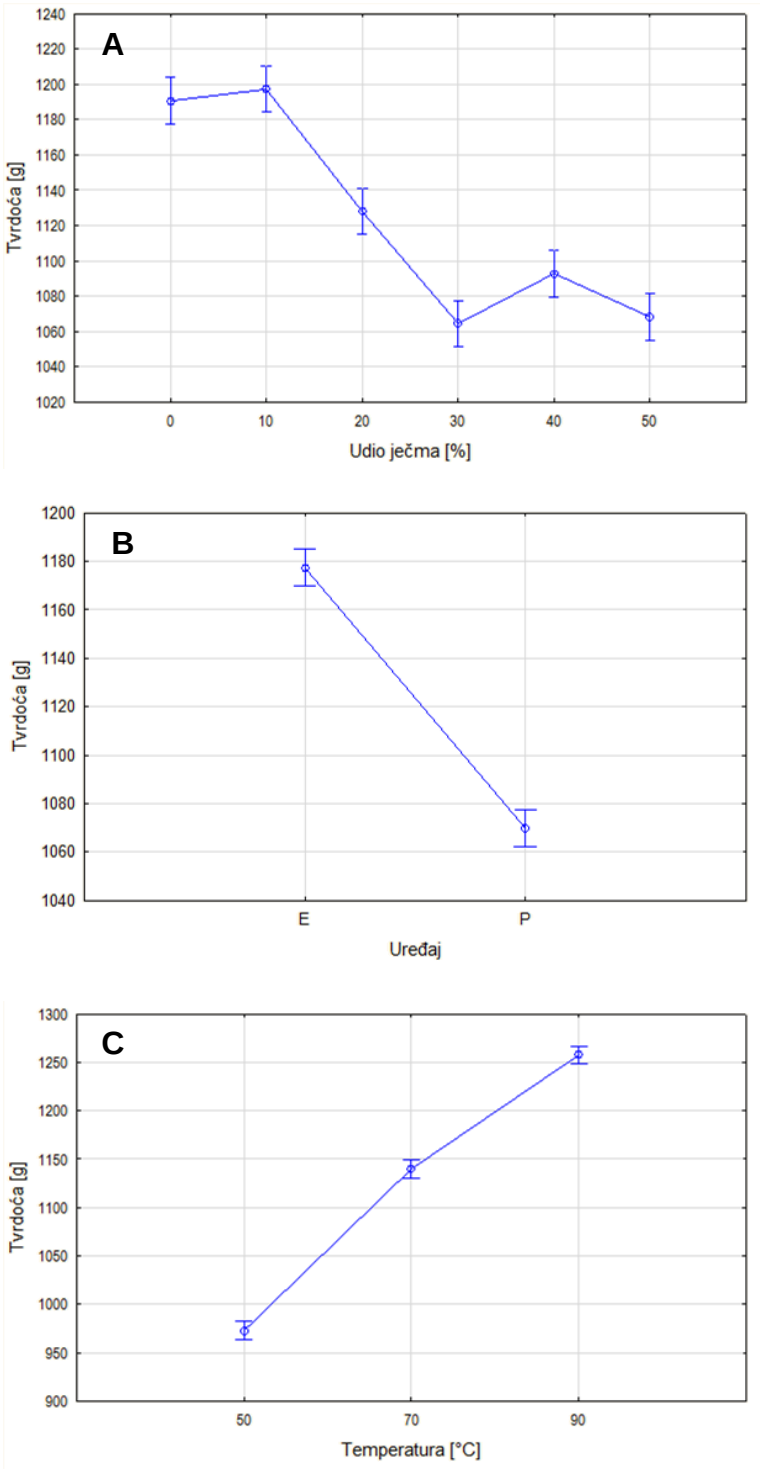
Slika 26 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na indeks bubrenja uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.2.6. Tekstura (tvrdoća, adhezivnost i kohezivnost) uzoraka kuhane tjestenine

Tablica 16 Tvrdoća uzoraka kuhane tjestenine [g]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
0% JB	1080,77±14,34^{cD}	1355,49±34,76^{dH}	1359,48±24,15^{cH}	909,05±13,22^{cA}	1239,53±23,07^{fG}	1199,84±36,34^{dC}
10% JB	1079,07±36,82^{cD}	1254,10±5,89^{cG}	1430,10±18,72^{dI}	931,56±4,73^{dAB}	1180,95±5,43^{dF}	1307,66±8,63^{fG}
20% JB	988,69±64,97^{abC}	1278,98±15,65^{cG}	1269,82±5,41^{bEF}	896,30±10,59^{bA}	1167,55±45,13^{eF}	1166,59±9,33^{cB}
30% JB	1061,43±22,06^{bcD}	1042,96±40,47^{aCD}	1248,90±30,35^{abDE}	904,87±8,40^{cA}	986,48±3,62^{aA}	1142,05±9,08^{bB}
40% JB	969,89±94,92^{aBC}	1061,07±30,20^{abD}	1338,81±24,04^{cH}	895,56±3,70^{aA}	1008,51±4,83^{bAB}	1282,87±5,39^{eFG}
50% JB	1045,99±45,97^{abcD}	1092,33±22,92^{bE}	1234,29±28,44^{aCD}	911,34±5,95^{cA}	1012,72±15,62^{cBC}	1112,57±10,12^{aA}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-I su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

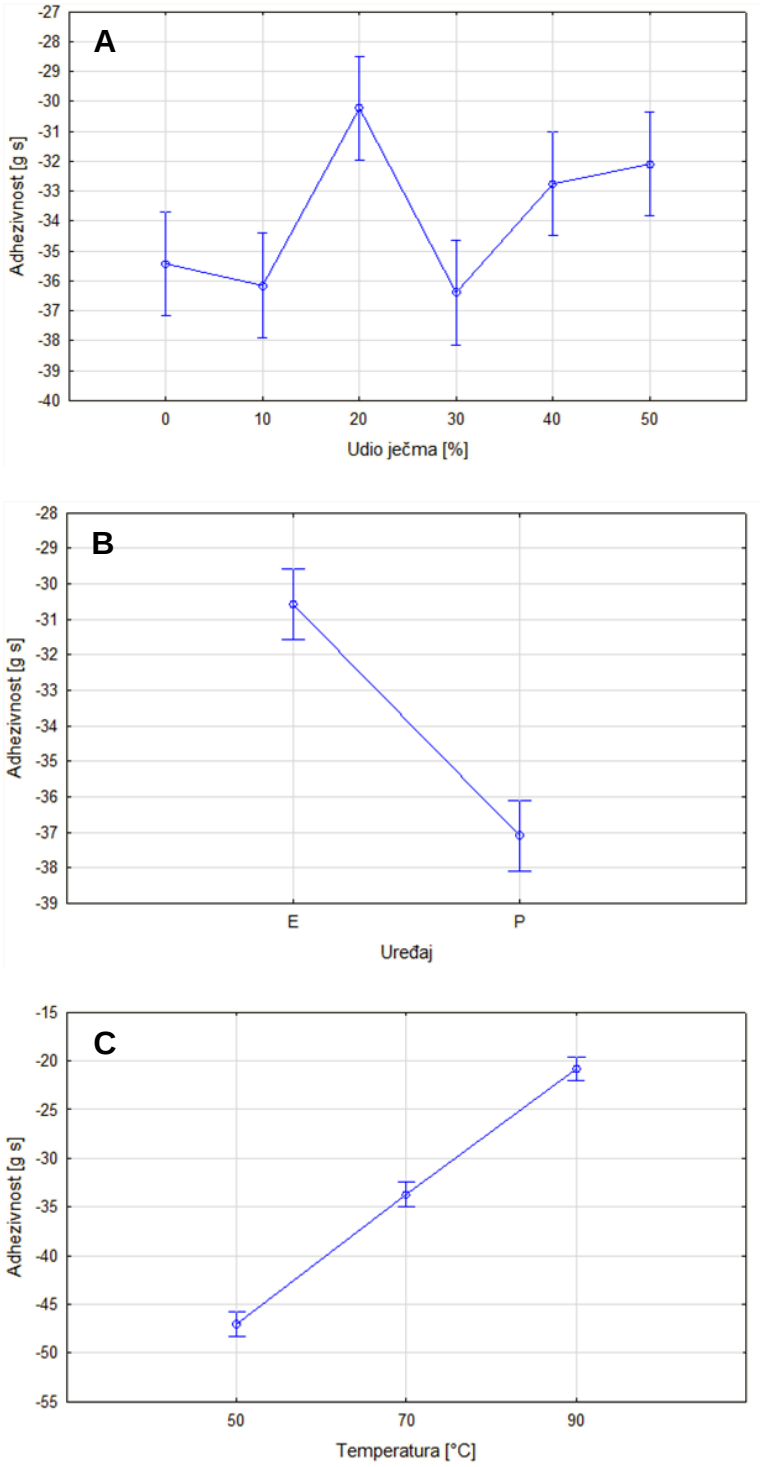


Slika 27 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na tvrdoću uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 17 Adhezivnost uzoraka kuhane tjestenine [g×s]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
0% JB	-40,45±6,01^{bcEF}	-33,42±2,76^{cD}	-17,86±0,35^{bEF}	-58,09±2,52^{abAB}	-39,09±1,97^{cC}	-23,68±1,35^{abAB}
10% JB	-56,40±6,15^{aAB}	-22,58±2,69^{dEF}	-19,27±2,42^{bDEF}	-62,93±5,14^{aA}	-31,87±1,31^{dD}	-23,87±2,42^{abAB}
20% JB	-40,27±2,40^{cFG}	-21,53±2,62^{dEF}	-21,25±4,31^{cH}	-47,55±5,37^{cCD}	-28,06±1,86^{eE}	-22,69±3,58^{bCDE}
30% JB	-45,56±6,72^{bDE}	-39,55±3,67^{bC}	-14,21±0,84^{cGH}	-52,85±4,44^{bcBC}	-44,97±2,71^{bB}	-21,23±2,18^{abBCD}
40% JB	-26,27±2,02^{dH}	-47,02±7,50^{aB}	-16,87±1,88^{bFG}	-32,89±2,27^{dGH}	-52,00±2,54^{aA}	-21,49±3,18^{abBCD}
50% JB	-46,64±4,75^{bCDE}	-18,67±0,90^{dF}	-22,69±1,41^{aABC}	-54,31±2,71^{bB}	-25,49±2,87^{eE}	-24,77±3,43^{aA}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-H) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

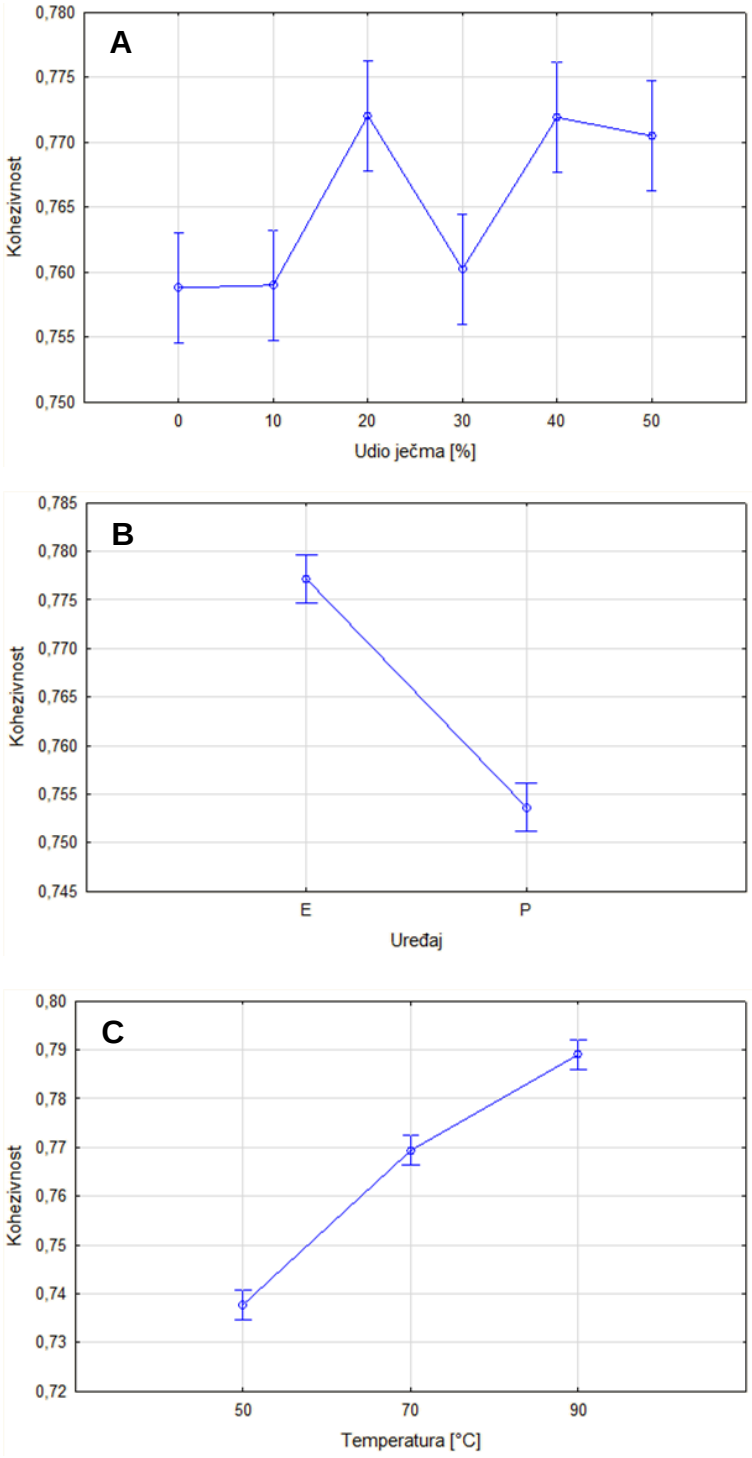


Slika 28 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na adhezivnost uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 18 Kohezivnost uzoraka kuhane tjestenine*

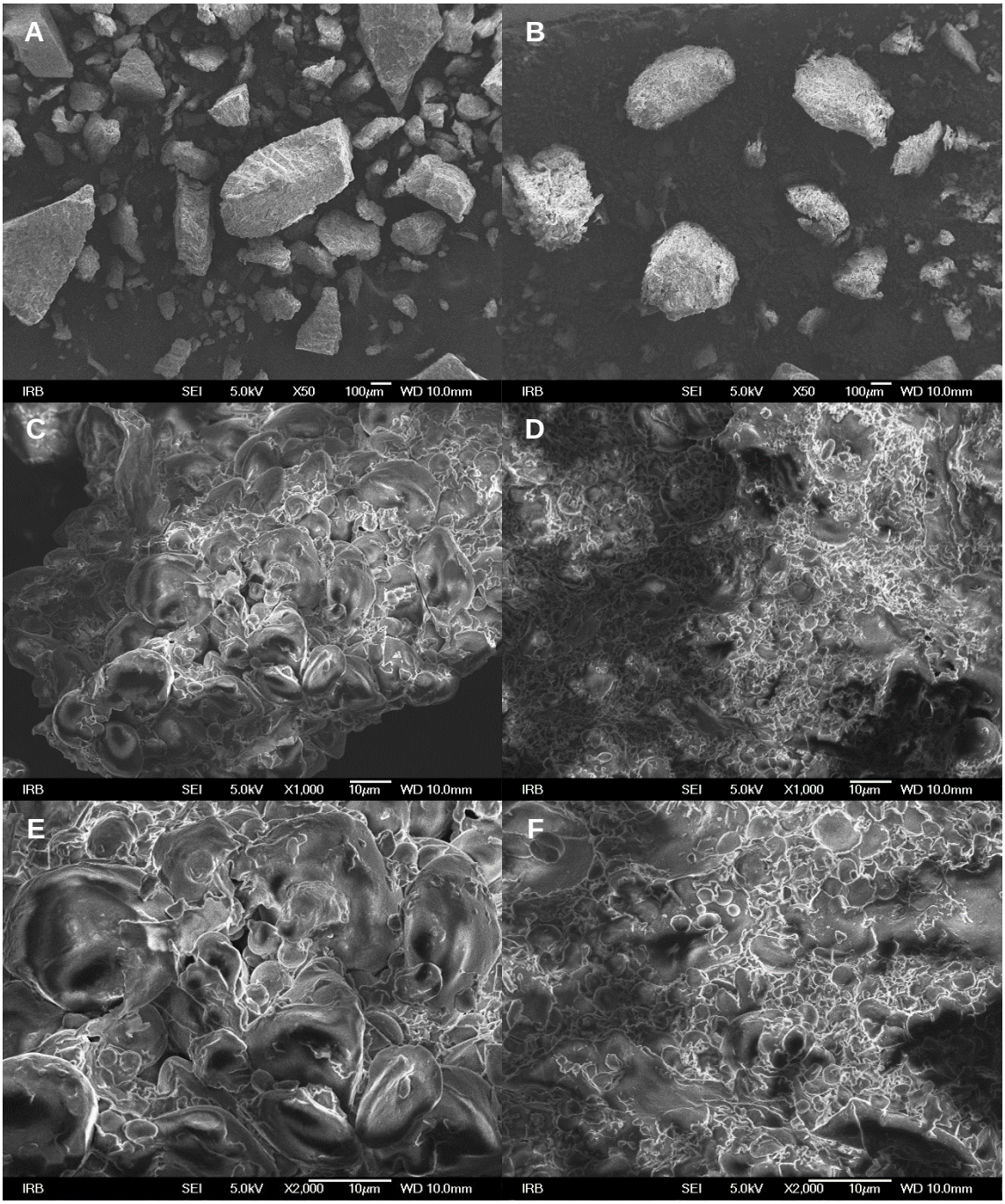
Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50°C	70°C	90°C	50°C	70°C	90°C
0% JB	0,74±0,01^{abCDE}	0,78±0,01^{abDEF}	0,79±0,01^{aBC}	0,71±0,01^{aA}	0,76±0,01^{cCD}	0,79±0,01^{cBC}
10% JB	0,73±0,02^{aBCD}	0,79±0,01^{bFG}	0,78±0,01^{aBC}	0,72±0,01^{bBC}	0,78±0,01^{dEFG}	0,76±0,01^{aA}
20% JB	0,76±0,01^{cF}	0,79±0,01^{bG}	0,81±0,01^{bDE}	0,74±0,01^{cDE}	0,75±0,01^{bBC}	0,78±0,01^{bcBC}
30% JB	0,73±0,01^{aBCD}	0,76±0,02^{aDE}	0,82±0,03^{bE}	0,72±0,01^{abAB}	0,72±0,02^{aA}	0,81±0,01^{dDE}
40% JB	0,78±0,01^{dG}	0,78±0,01^{abDEF}	0,80±0,01^{abCD}	0,76±0,01^{dF}	0,74±0,01^{abAB}	0,78±0,01^{bcBC}
50% JB	0,75±0,01^{bcEF}	0,82±0,01^{cH}	0,80±0,03^{abCD}	0,72±0,01^{bBC}	0,77±0,01^{cDE}	0,77±0,02^{abAB}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti pet mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-H) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

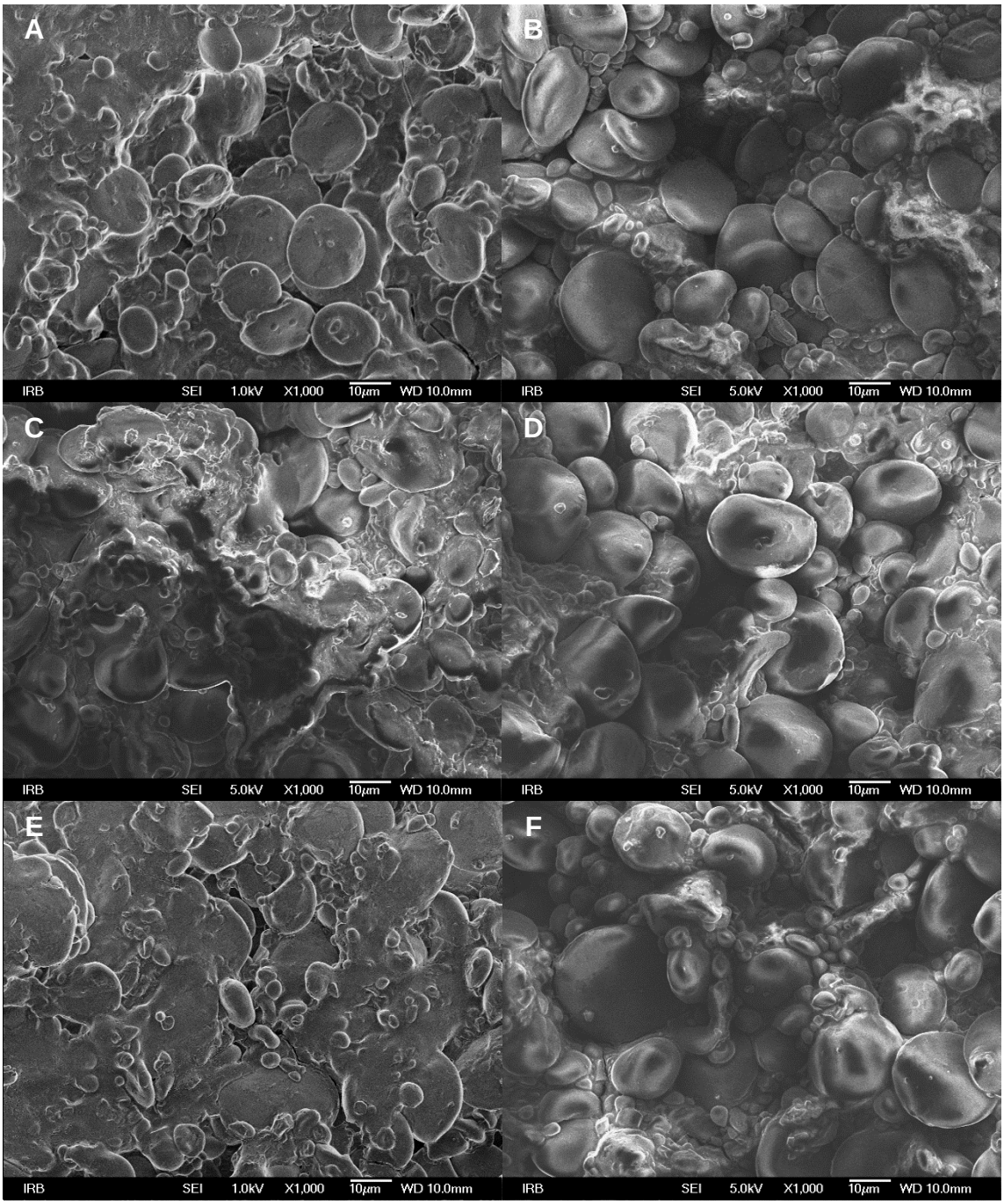


Slika 29 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na kohezivnost uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

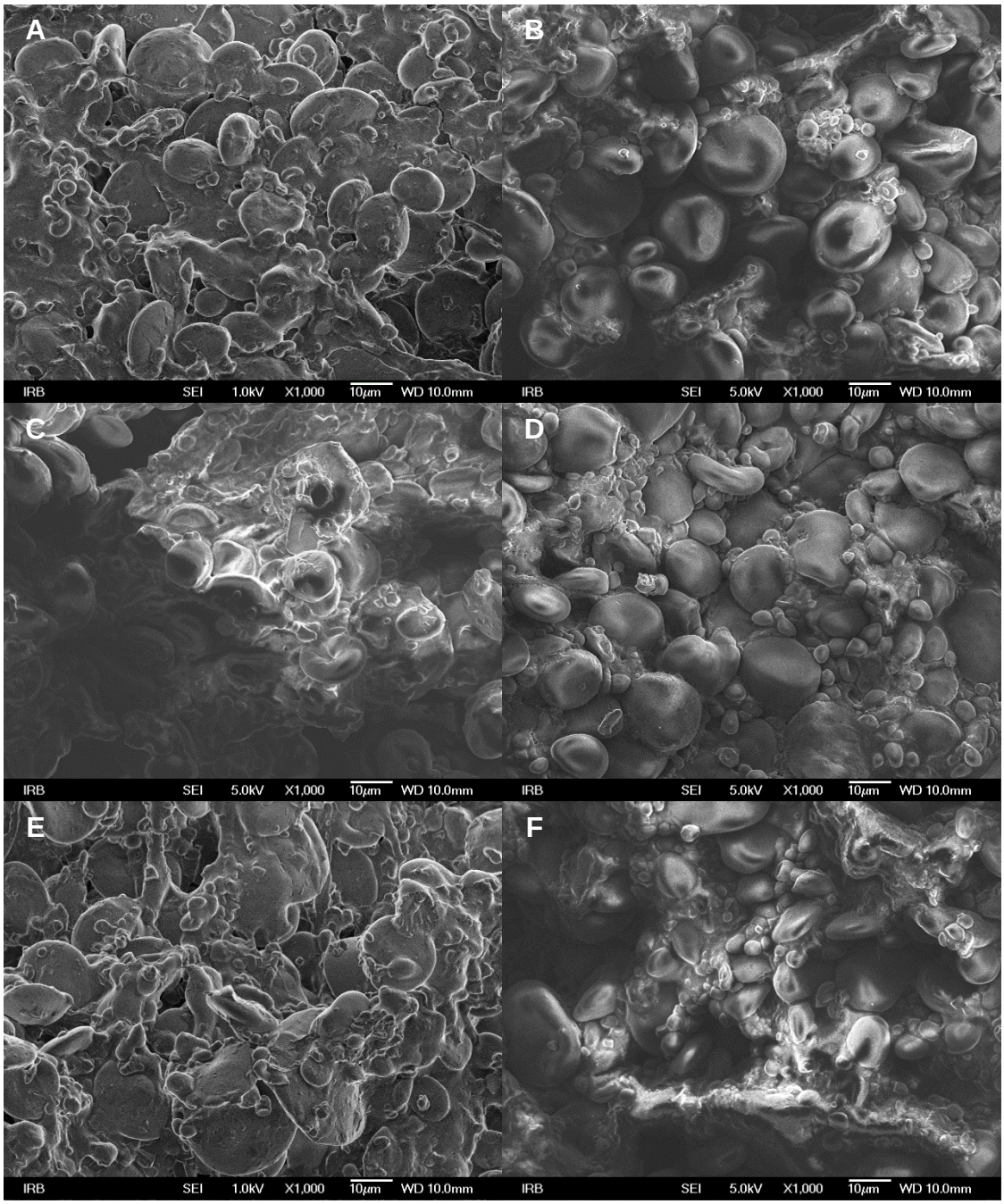
4.2.7. Mikrostruktura sirovina, uzoraka sušene i kuhane tjestenine



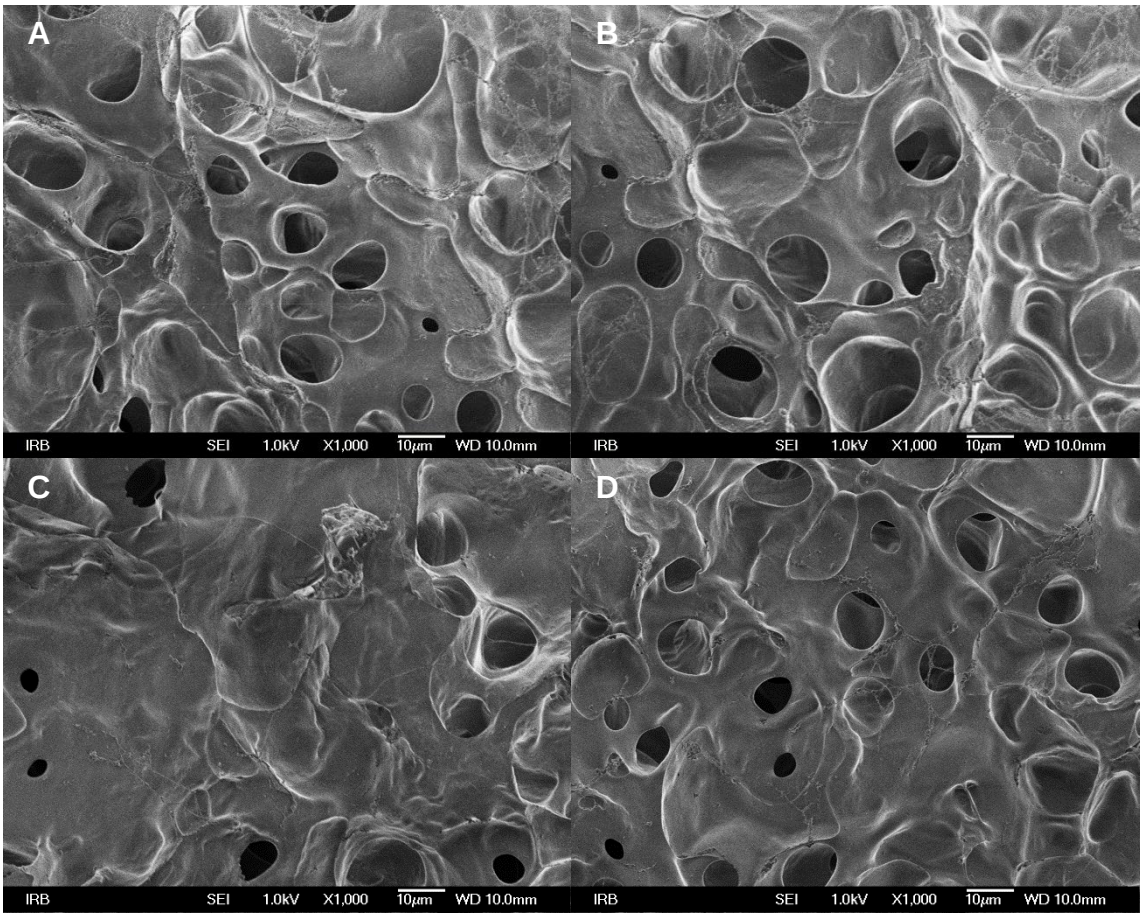
Slika 30 Prikaz mikrostrukture durum krupice (A, C, E) i ječmenog brašna (B, D, F) snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 50, 1000 i 2000 puta



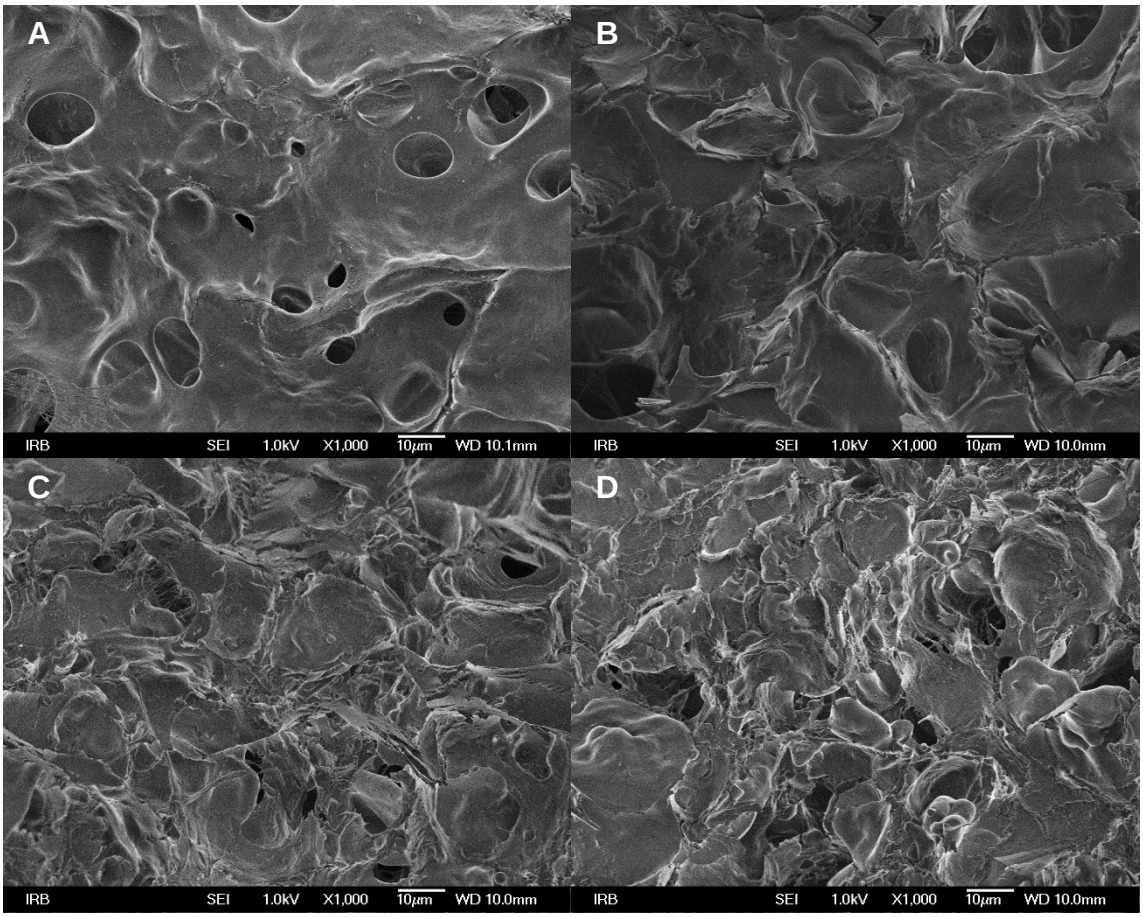
Slika 31 Prikaz mikrostrukture uzoraka sušene tjestenine s ekstrudera (A, C, E) i preše (B, D, F) bez dodatka JB, snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 1000 puta; pri 50 °C (A, B), 70 °C (C, D) i 90 °C (E, F)



Slika 32 Prikaz mikrostrukture uzoraka sušene tjestenine s ekstrudera (A, C, E) i preše (B, D, F) s dodatkom 50% JB, snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 1000 puta; pri 50 °C (A, B), 70 °C (C, D) i 90 °C (E, F)



Slika 33 Prikaz mikrostrukture uzoraka kuhane tjestenine bez dodatka JB proizvedenih na ekstruderu (A, C) i preši (B, D), snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 1000 puta; sušeni pri 50 °C (prvi red) i pri 90 °C (drugi red)



Slika 34 Prikaz mikrostrukture uzoraka kuhane tjestenine s dodatkom 50% JB proizvedenih na ekstruderu (A, C) i preši (B, D), snimljene skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 1000 puta; sušeni pri 50 °C (prvi red) i pri 90 °C (drugi red)

4.3. Kemijska svojstva

4.3.1. Osnovni kemijski sastav

Tablica 19 Osnovni kemijski sastav sirovina*

Uzorak	Udio vode [%]	Mineralne tvari [% s. tv.]	Proteini [% s. tv.]	Masti [% s. tv.]	Škrob [%]
DK	11,06±0,03^{b}	1,07±0,03^{a}	11,77±0,12^{a}	1,11±0,02^{a}	70,36±0,59^{b}
JB	10,14±0,33^{a}	2,32±0,02^{b}	14,11±0,13^{b}	2,42±0,00^{b}	54,72±1,72^{a}

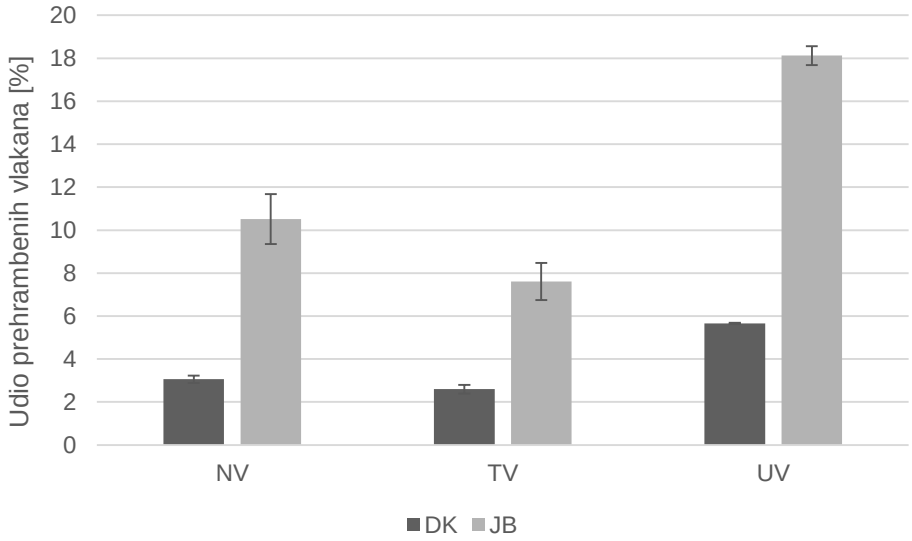
*DK – durum krupica, JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a i b) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

Tablica 20 Udio vode u uzorcima sušene tjestenine [%]*

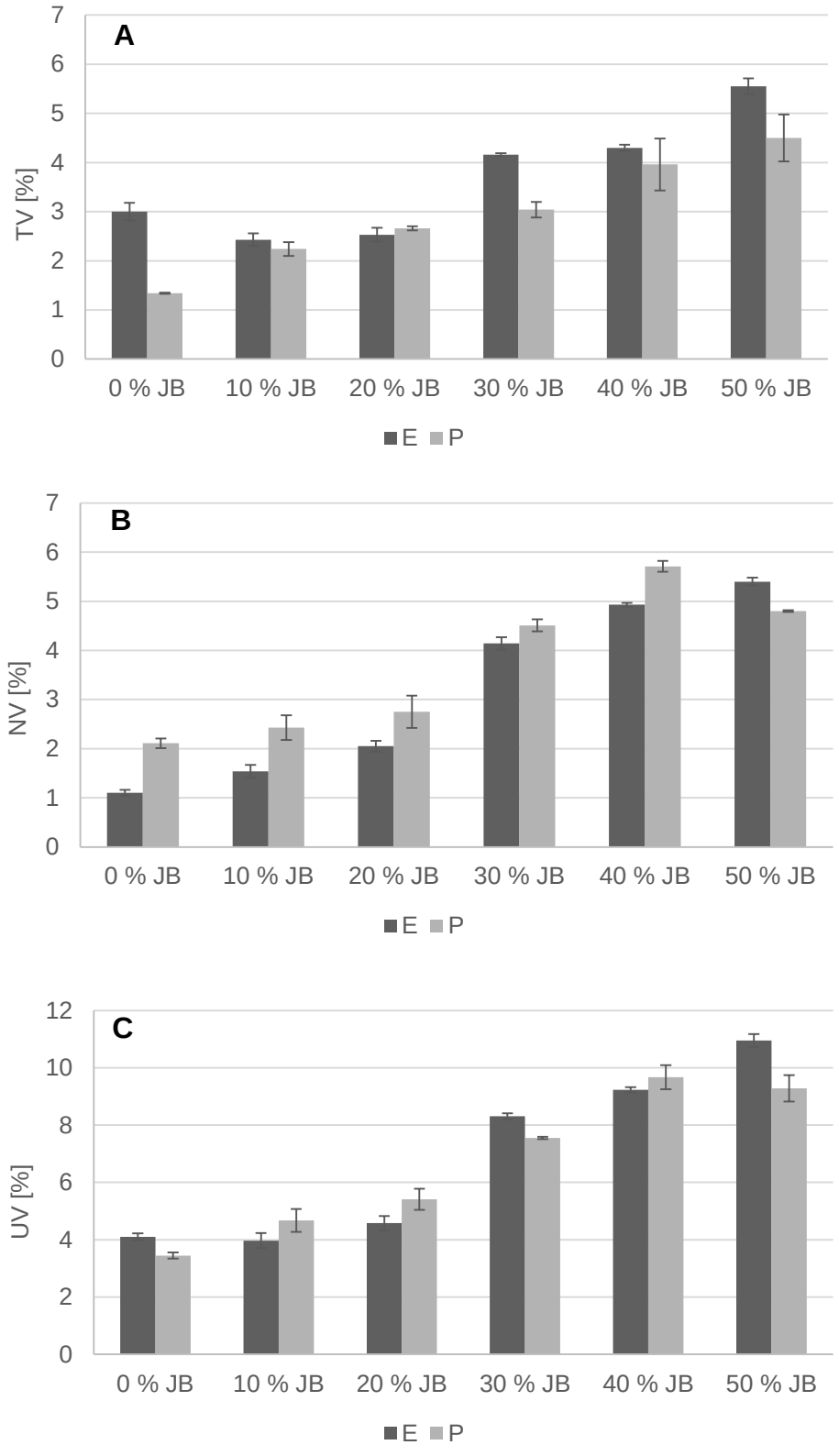
Uzorak	Ekstruder			Prešа		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0 % JB	11,19±0,04^{bD}	10,18±0,08^{cC}	9,21±0,04^{cC}	10,71±0,21^{bB}	11,04±0,06^{bDE}	11,70±0,18^{cF}
10 % JB	11,29±0,13^{bcDE}	9,68±0,25^{bB}	9,28±0,09^{cC}	11,24±0,06^{cdDE}	10,94±0,12^{bD}	10,90±0,04^{bE}
20 % JB	10,64±0,08^{aB}	8,56±0,17^{aA}	8,78±0,11^{bB}	11,50±0,06^{dEF}	10,80±0,14^{bD}	10,80±0,08^{bE}
30 % JB	11,06±0,06^{bCD}	9,47±0,10^{bB}	8,68±0,08^{abAB}	9,98±0,11^{aA}	10,13±0,11^{aC}	10,80±0,08^{bE}
40 % JB	11,62±0,25^{cF}	11,40±0,14^{dF}	8,49±0,12^{aA}	11,10±0,07^{cD}	11,06±0,04^{bDEF}	10,12±0,14^{aD}
50 % JB	11,26±0,13^{bDE}	11,34±0,17^{dEF}	8,78±0,11^{bB}	10,80±0,14^{bBC}	10,78±0,30^{bD}	10,89±0,15^{bE}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti tri mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-F) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

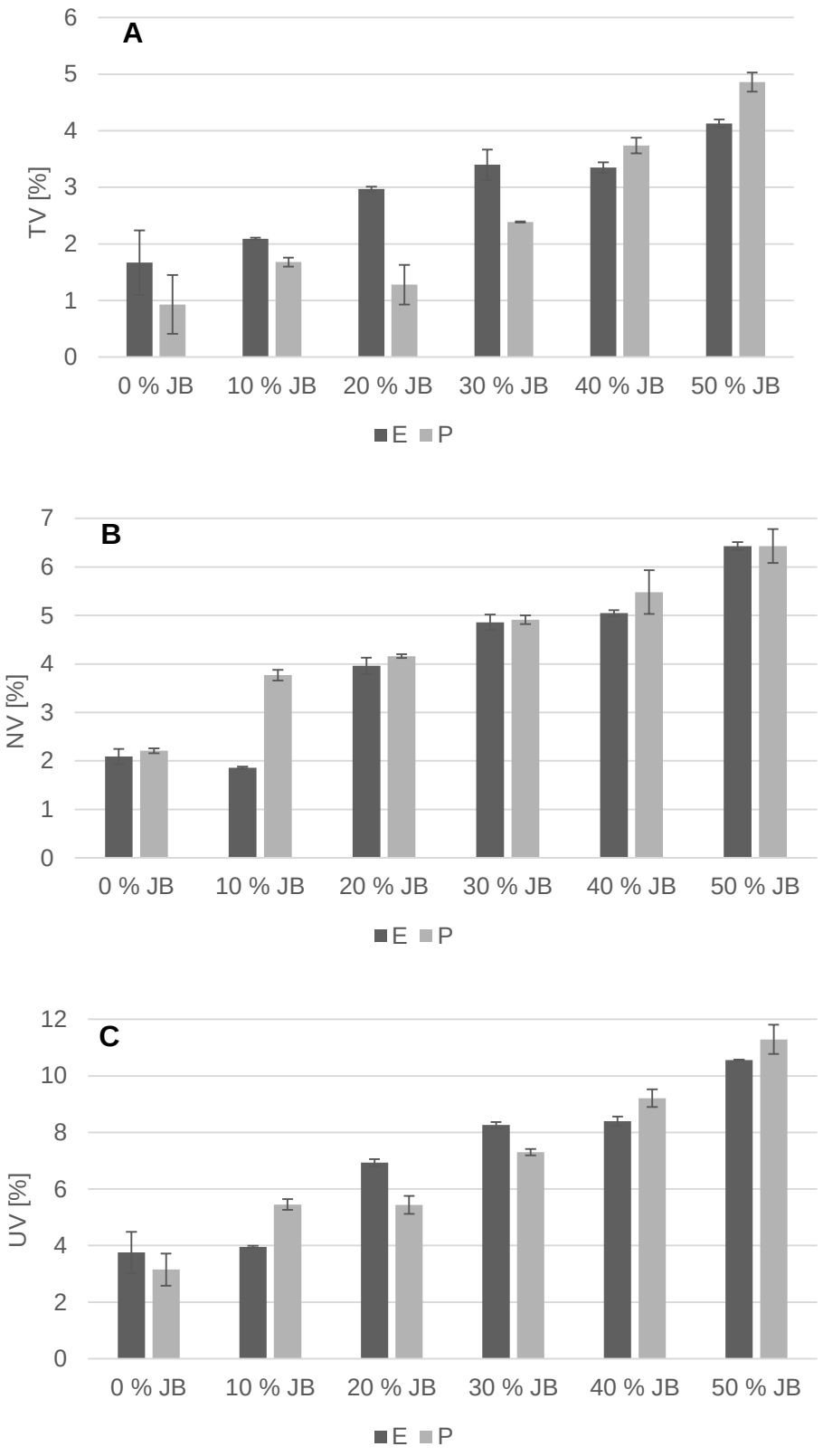
4.3.2. Udio topljivih, netopljivih i ukupnih prehrambenih vlakana



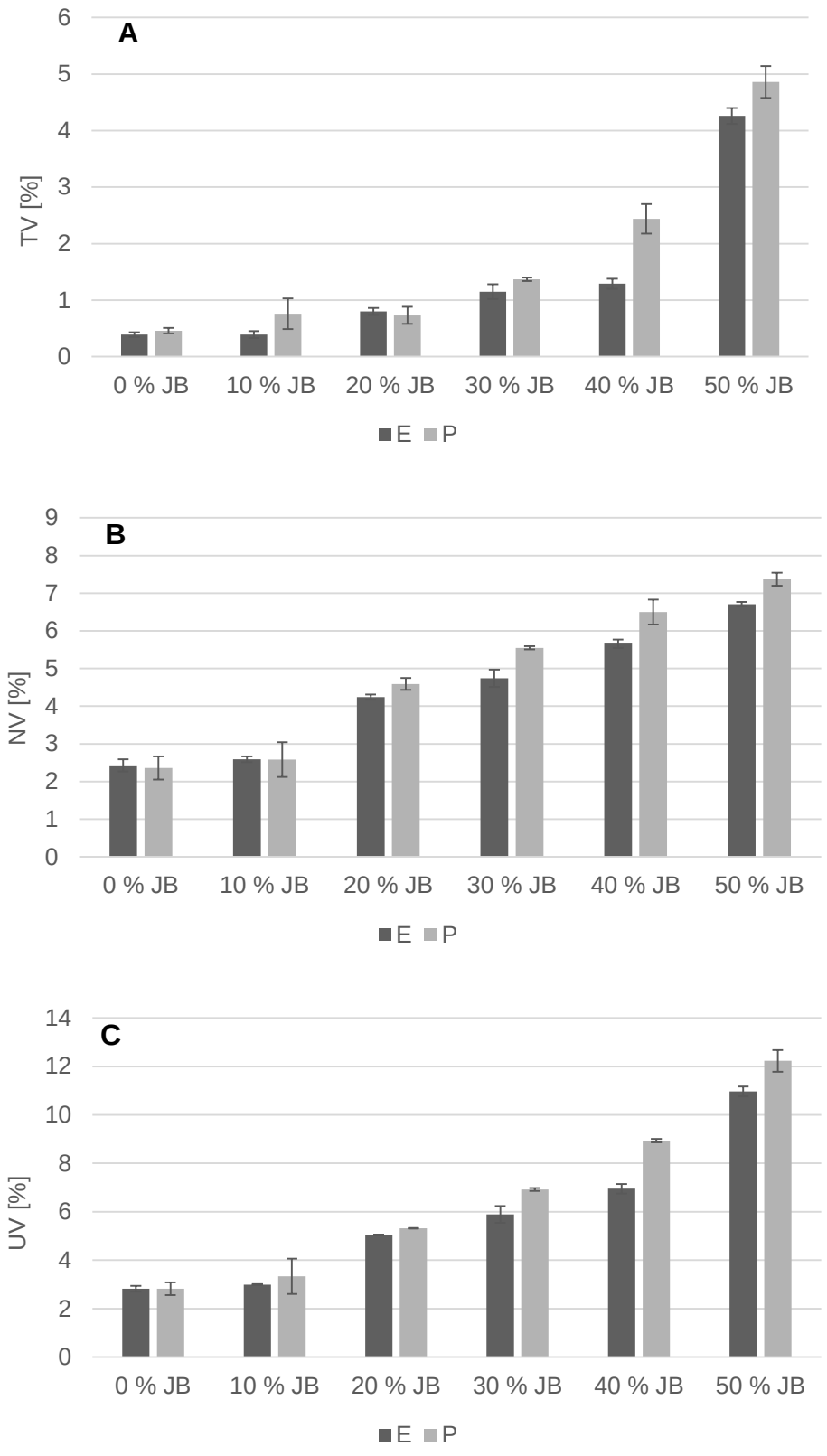
Slika 35 Udio netopljivih (NV), topljivih (TV) i ukupnih (UV) prehrambenih vlakana u durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)



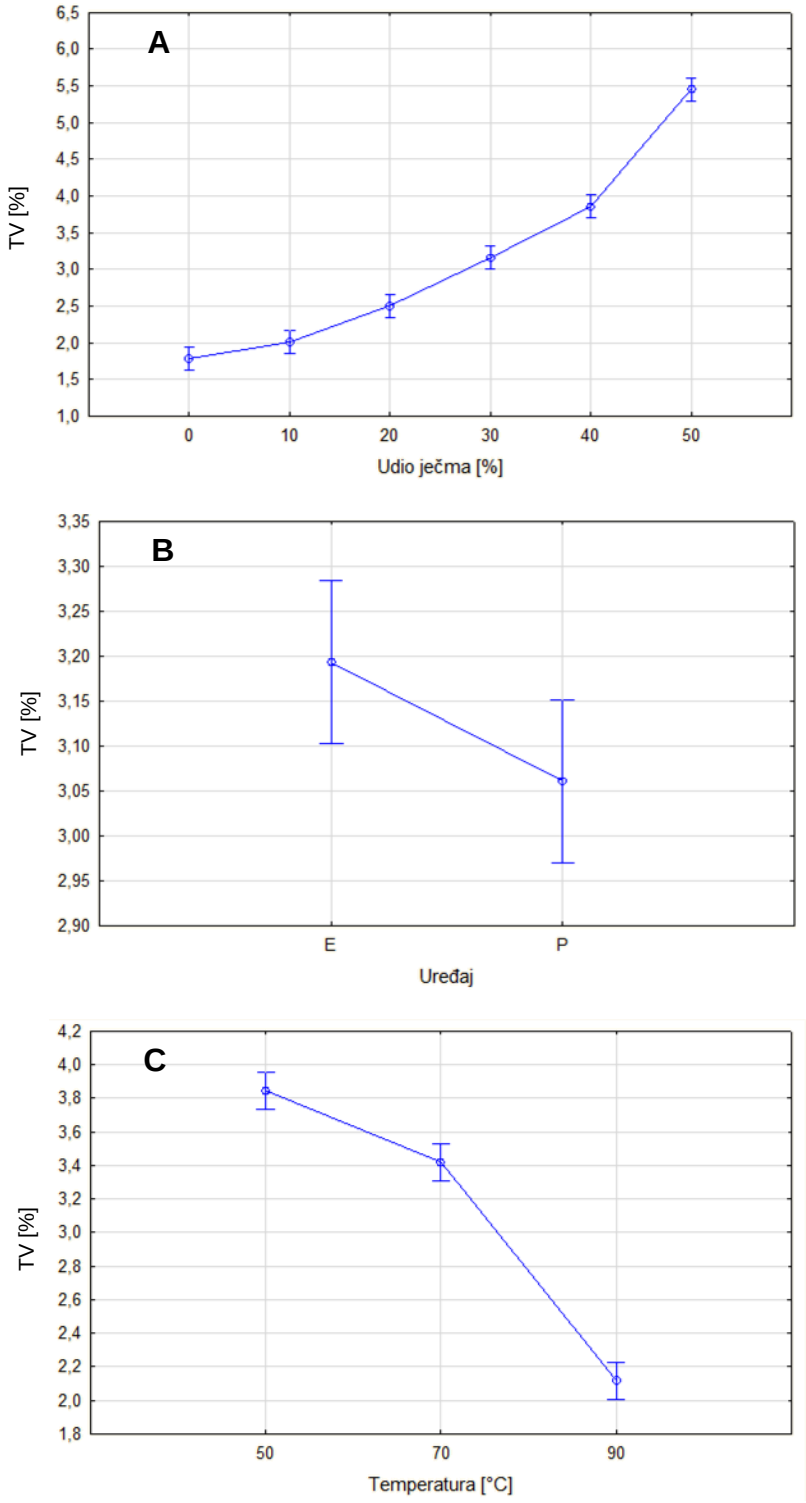
Slika 36 Utjecaj dodatka ječmenog brašna (JB) na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima tjestenine sušene na 50 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon svake vrijednosti predstavlja standardnu devijaciju)



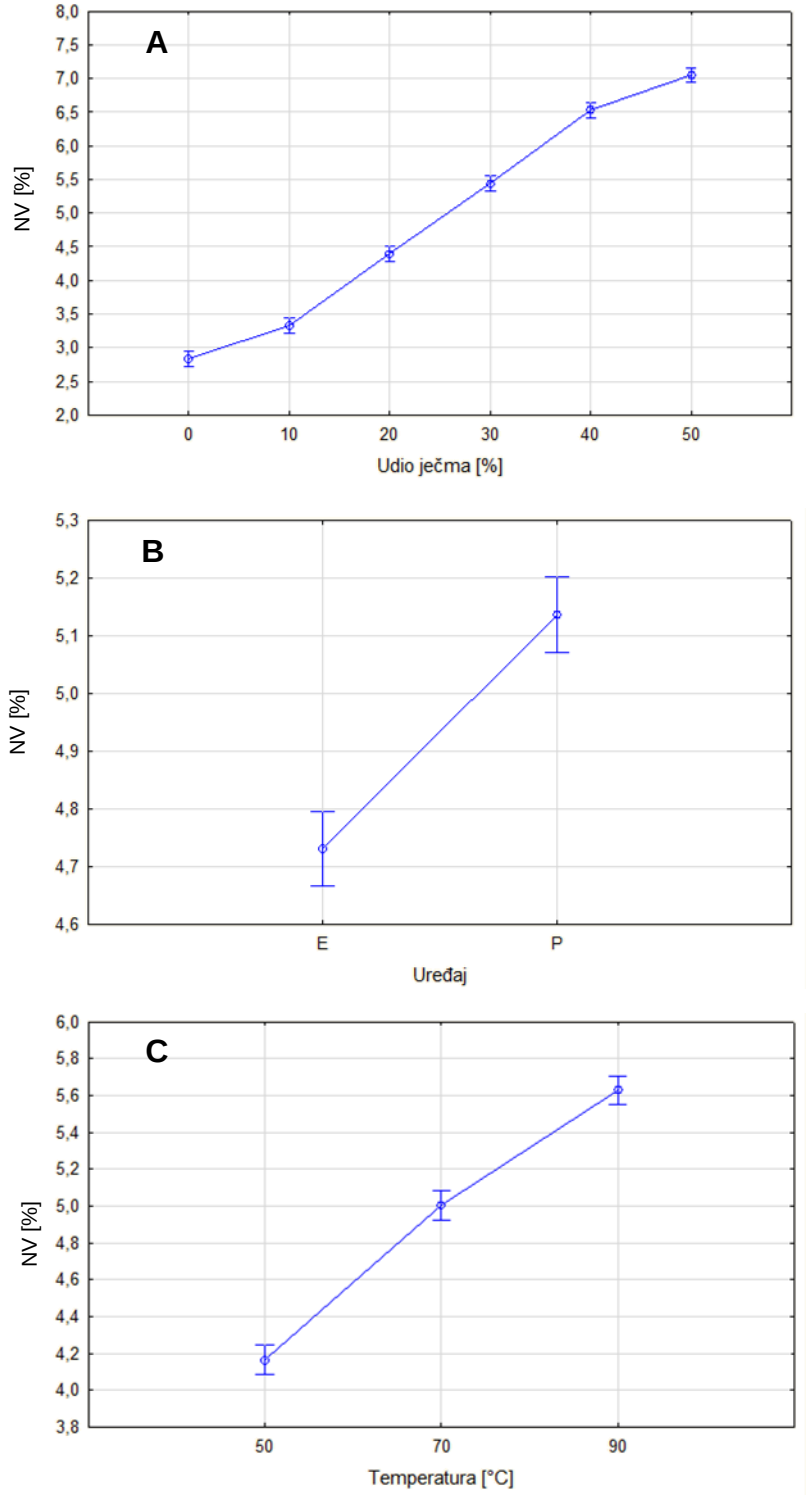
Slika 37 Utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima tjestenine sušene na 70 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon svake vrijednosti predstavlja standardnu devijaciju)



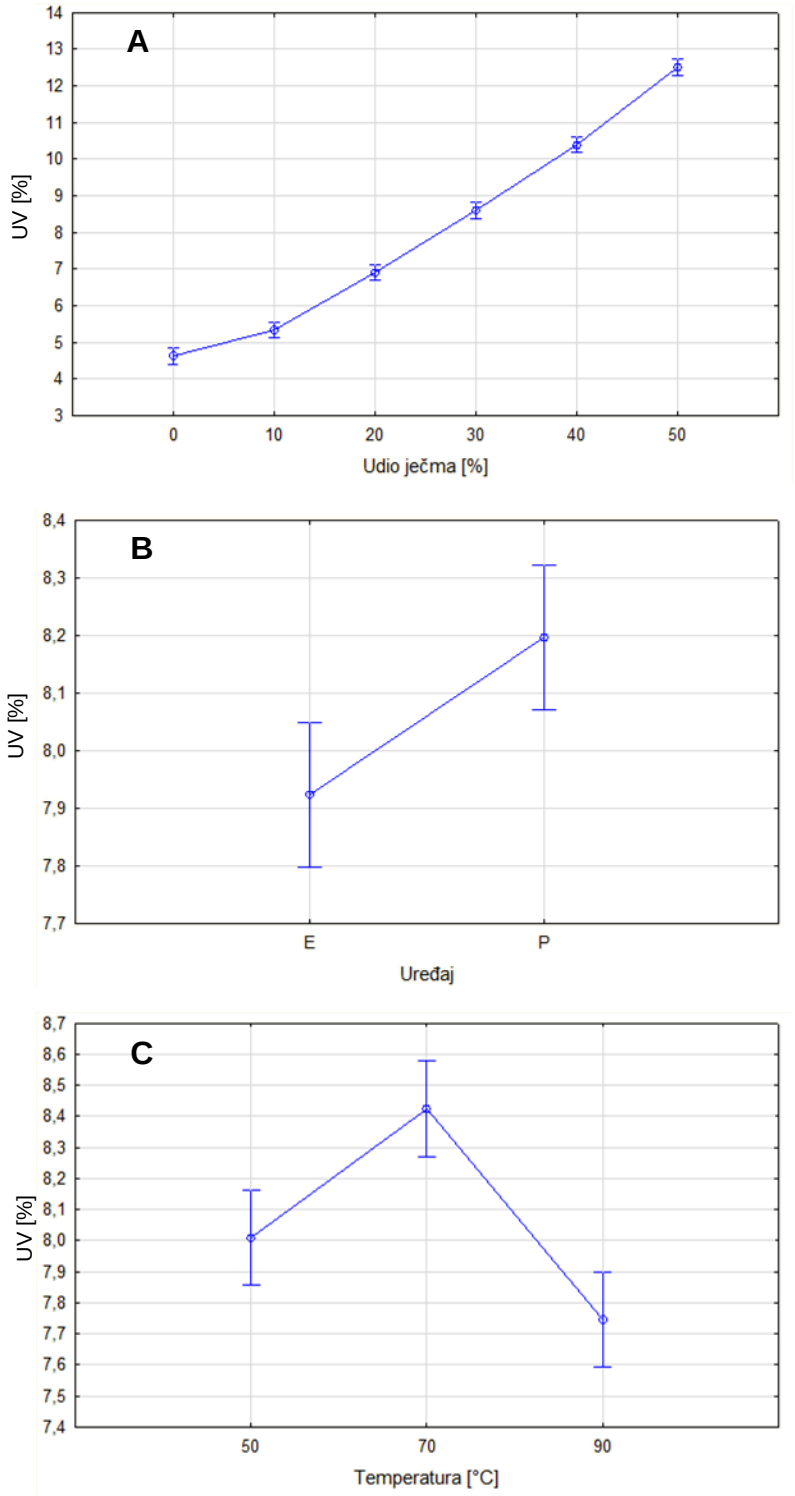
Slika 38 Utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima tjestenine sušene na 90 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon svake vrijednosti predstavlja standardnu devijaciju)



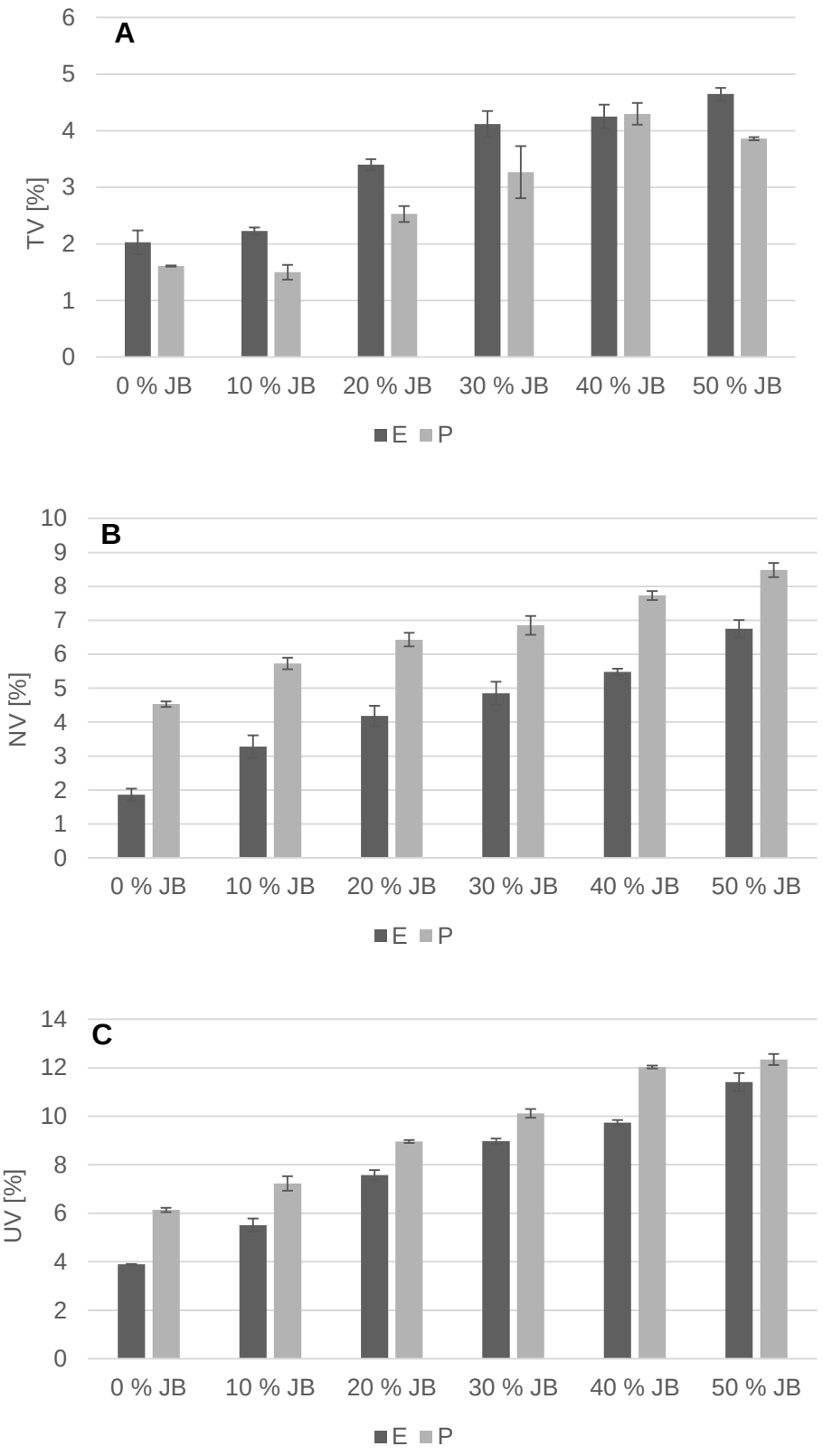
Slika 39 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio topljivih prehrambenih vlakana uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



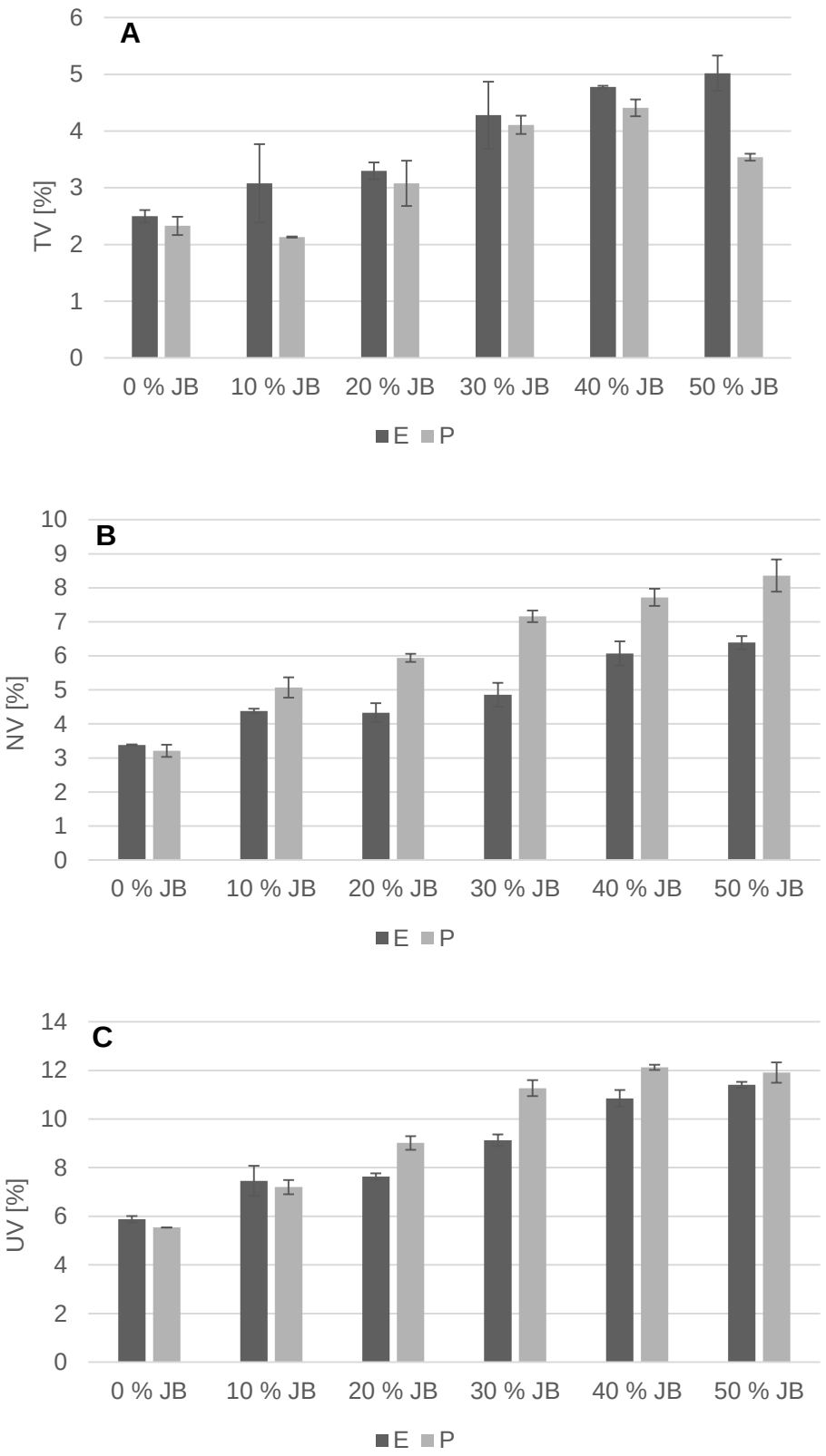
Slika 40 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio netopljivih prehrambenih vlakana uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



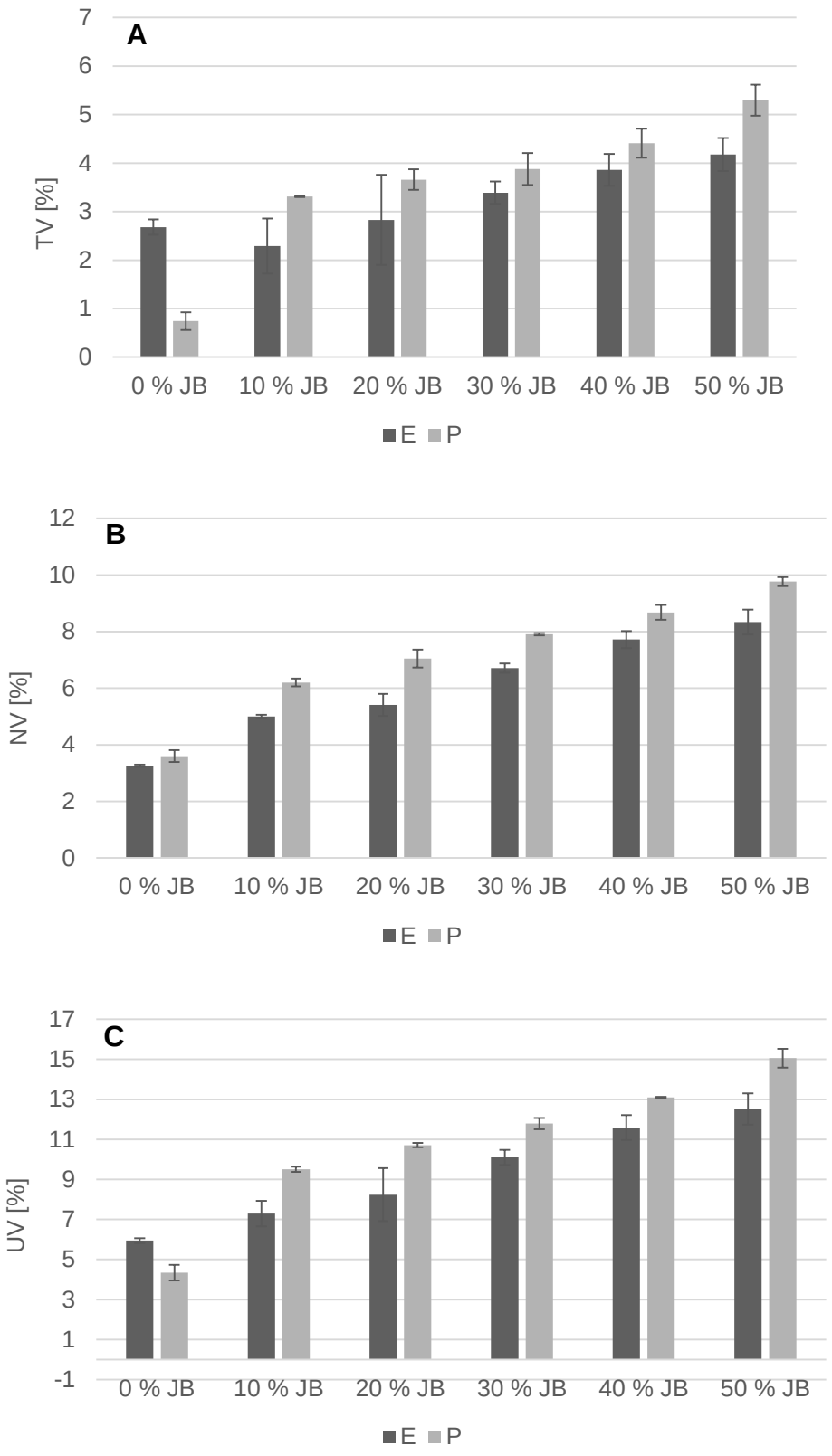
Slika 41 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio ukupnih prehrambenih vlakana uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



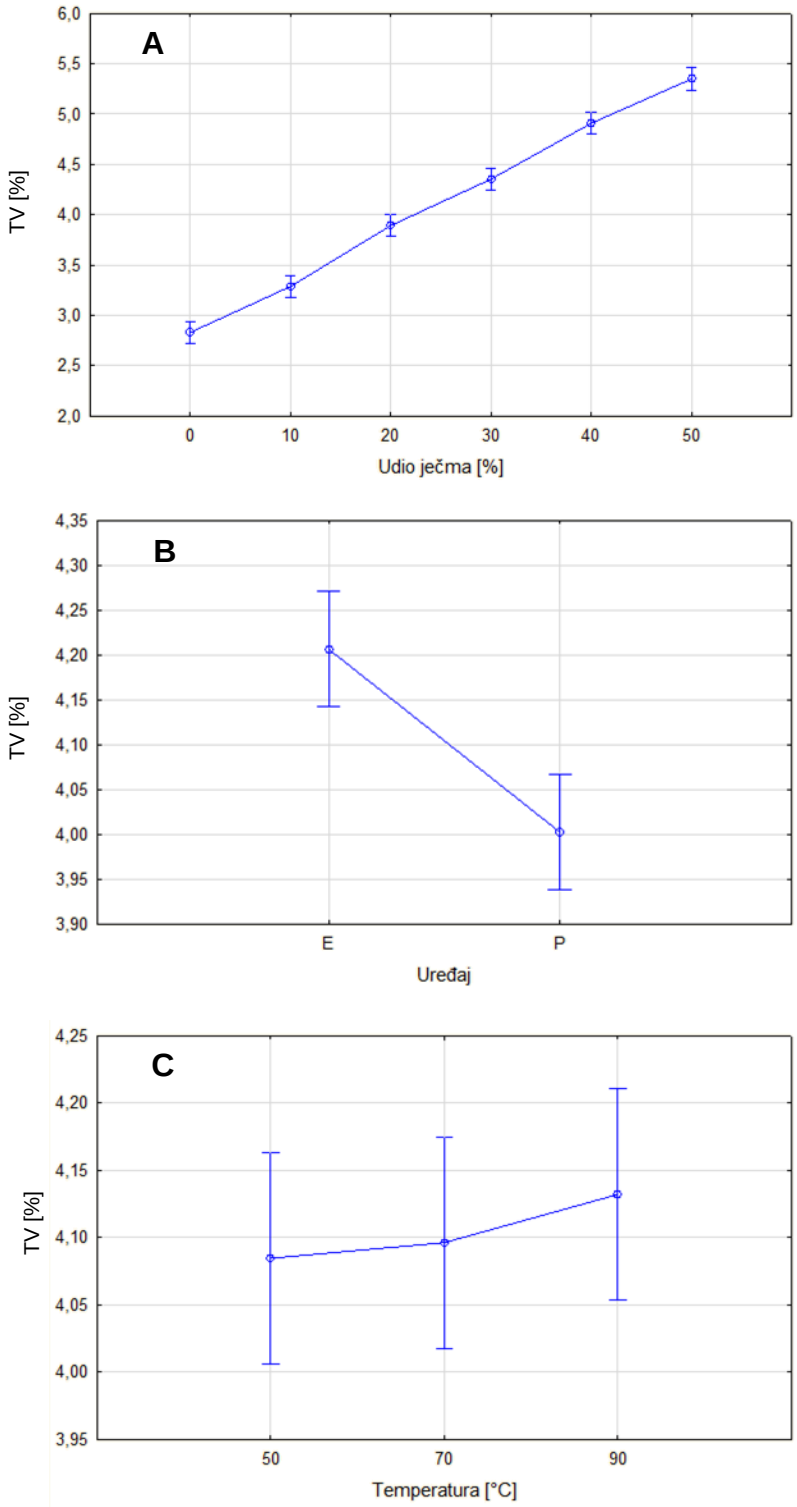
Slika 42 Utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima kuhane tjestenine sušene na 50 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)



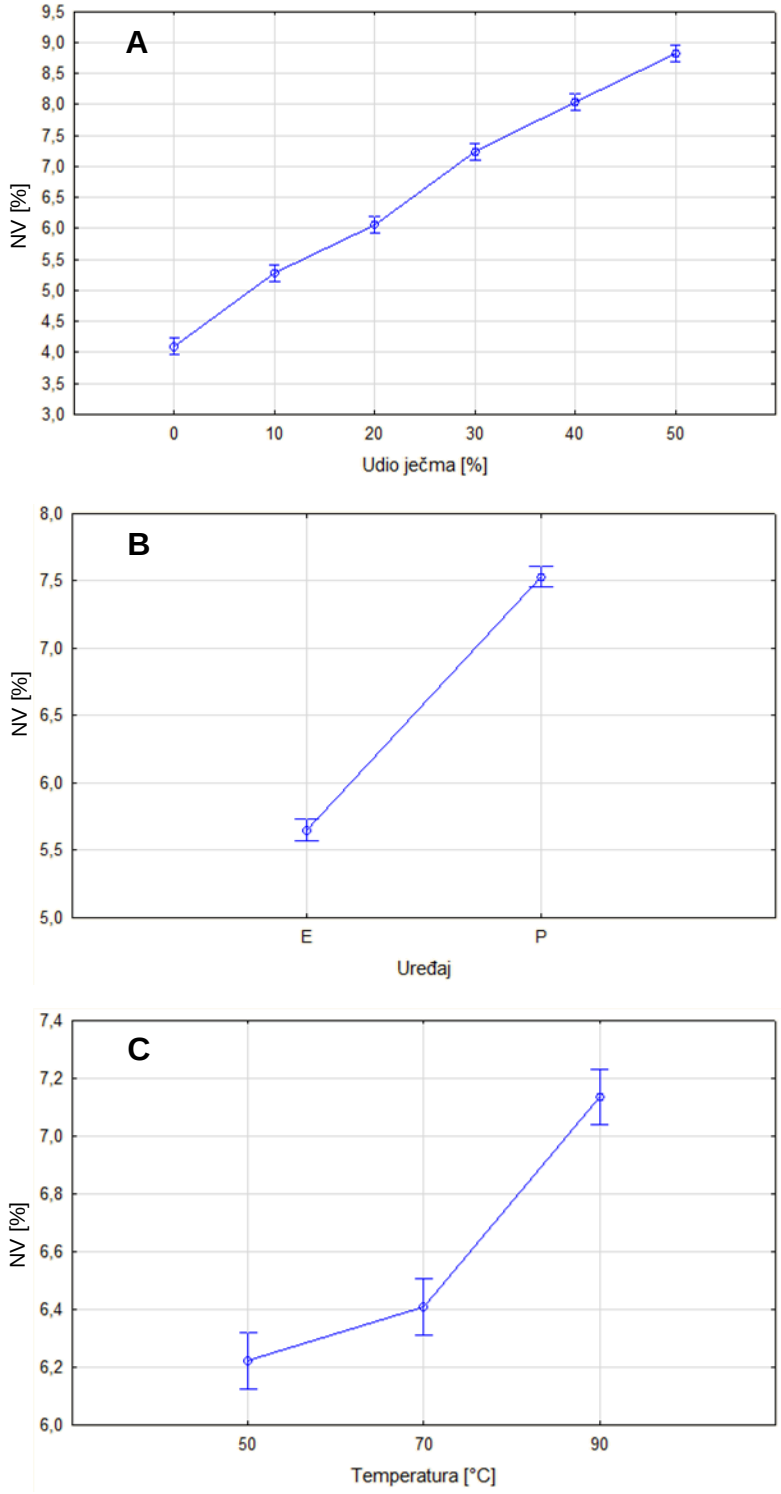
Slika 43 Utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima kuhane tjestenine sušene na 70 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)



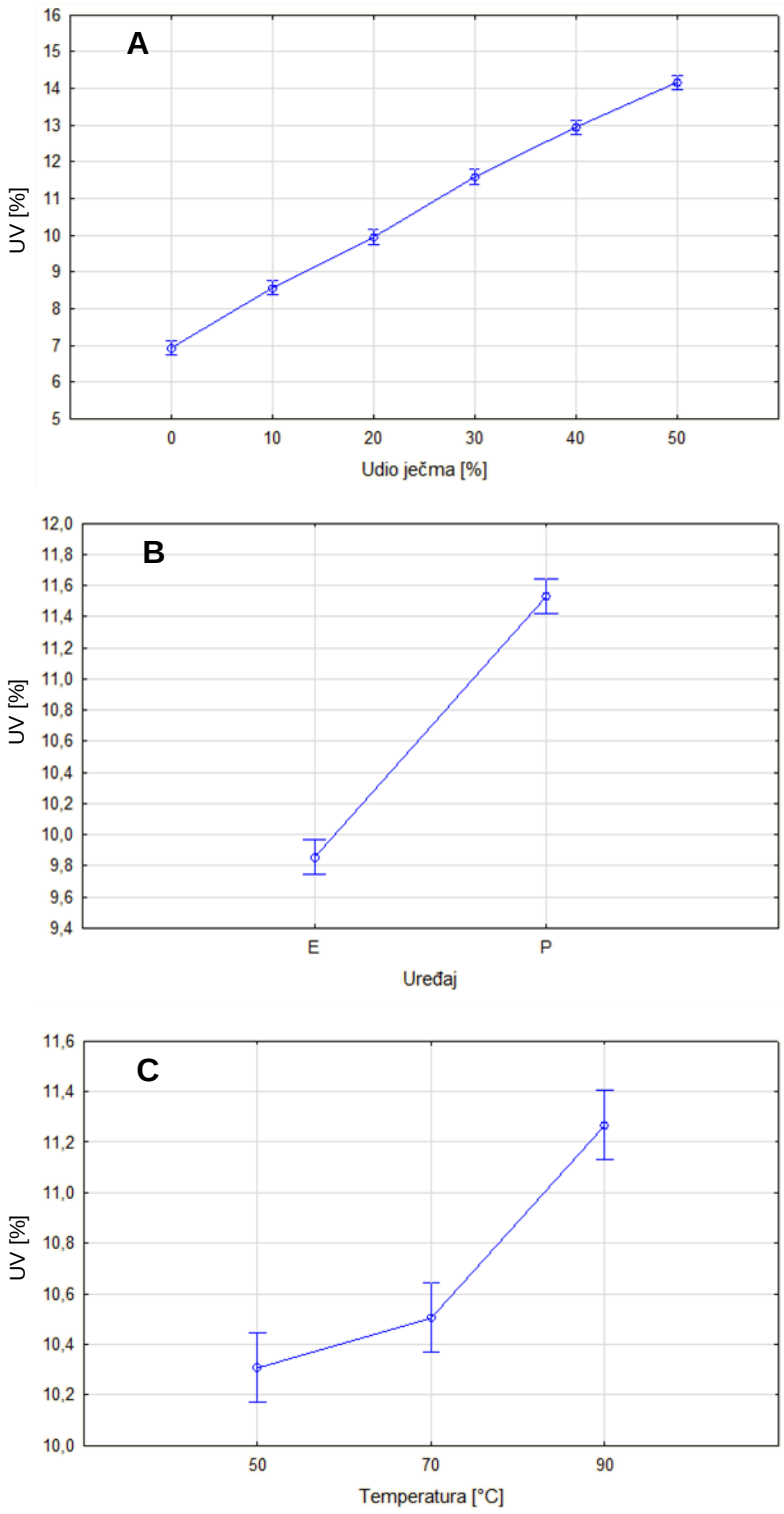
Slika 44 Utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio topljivih (TV) (A), netopljivih (NV) (B) i ukupnih (UV) (C) prehrambenih vlakana u uzorcima kuhane tjestenine sušene na 90 °C proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)



Slika 45 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio topljivih prehrambenih vlakana uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

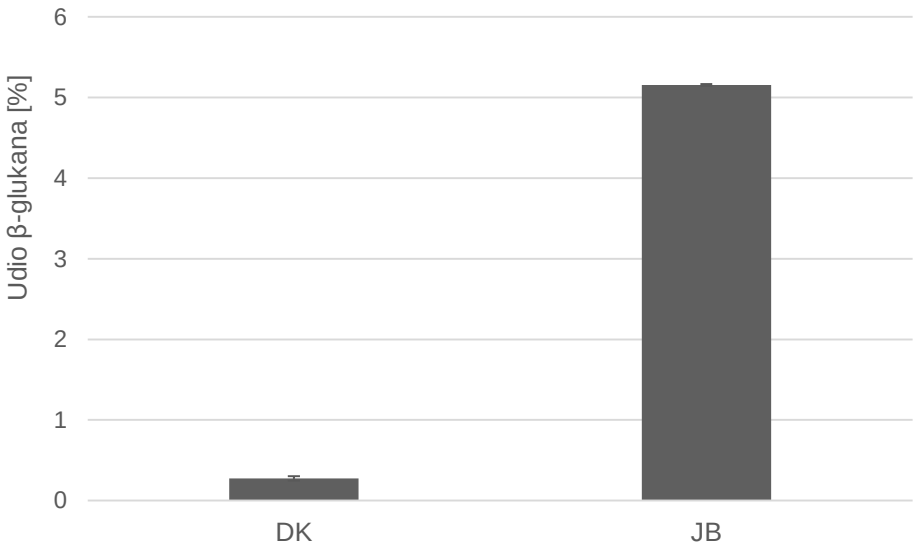


Slika 46 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio netopljivih prehrambenih vlakana uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



Slika 47 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio ukupnih prehrambenih vlakana uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.3.3. Udio β-glukana u uzorcima tjestenine



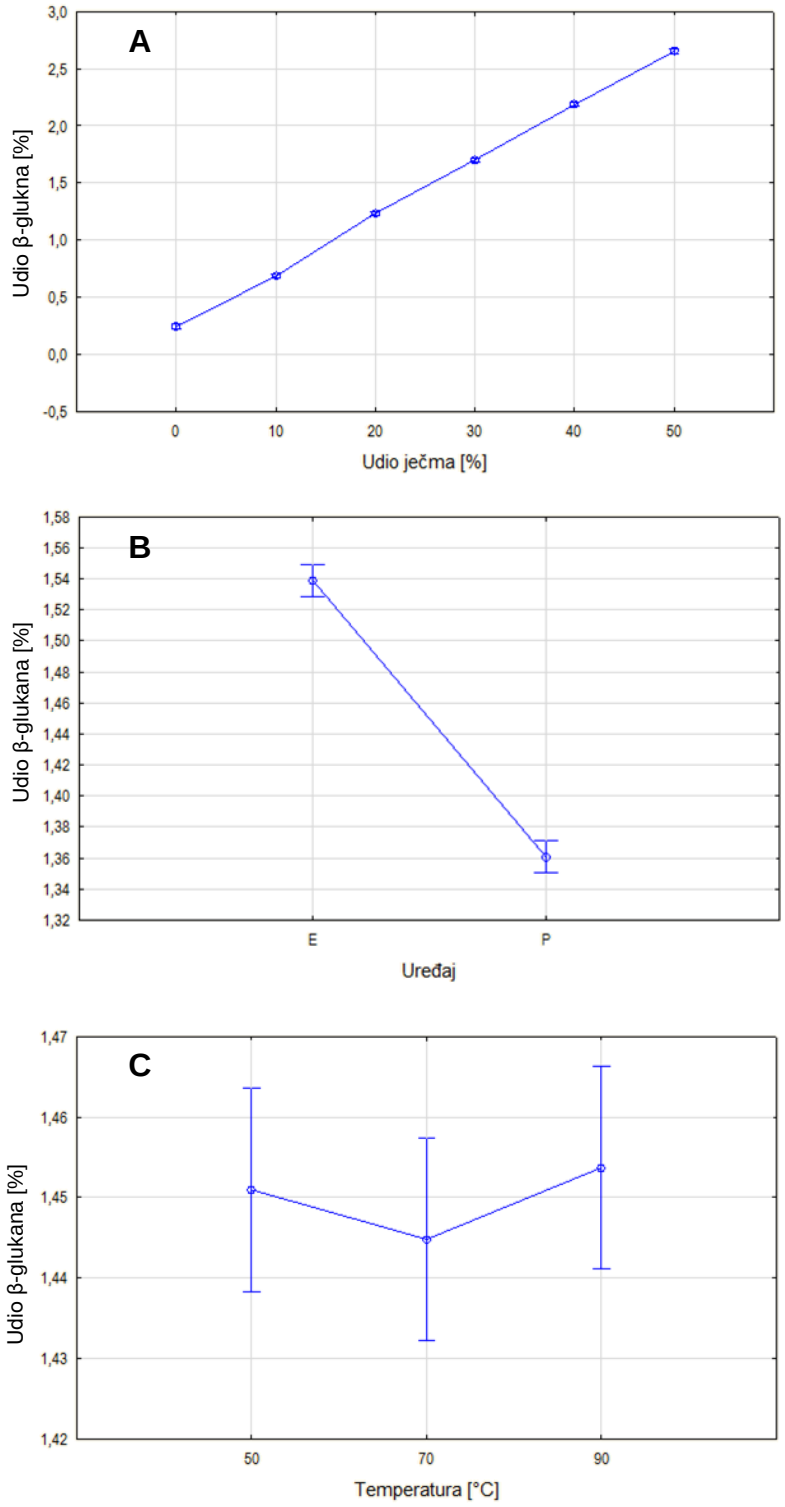
*DK – durum krupica; JB – ječmeno brašno

Slika 48 Udio β-glukana u sirovinama (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

Tablica 21 Udio β-glukana u sušenoj tjestenini [%]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	0,28±0,00^{aB}	0,28±0,03^{aA}	0,25±0,01^{aA}	0,19±0,01^{aA}	0,23±0,01^{aA}	0,23±0,00^{aA}
10% JB	0,76±0,03^{bD}	0,75±0,03^{bC}	0,68±0,05^{bB}	0,63±0,01^{bC}	0,63±0,01^{bB}	0,66±0,02^{bB}
20% JB	1,32±0,02^{cF}	1,31±0,02^{cE}	1,35±0,01^{cD}	1,10±0,03^{cE}	1,18±0,02^{cD}	1,14±0,03^{cC}
30% JB	1,92±0,03^{dH}	1,75±0,04^{dG}	1,81±0,03^{dF}	1,62±0,03^{dG}	1,53±0,00^{dF}	1,58±0,06^{dE}
40% JB	2,28±0,02^{eJ}	2,32±0,01^{eI}	2,27±0,01^{eH}	2,06±0,01^{eI}	2,11±0,01^{eH}	2,08±0,04^{eG}
50% JB	2,78±0,01^{fL}	2,80±0,05^{fK}	2,78±0,03^{fJ}	2,47±0,03^{fK}	2,45±0,01^{fJ}	2,63±0,03^{fI}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-L) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

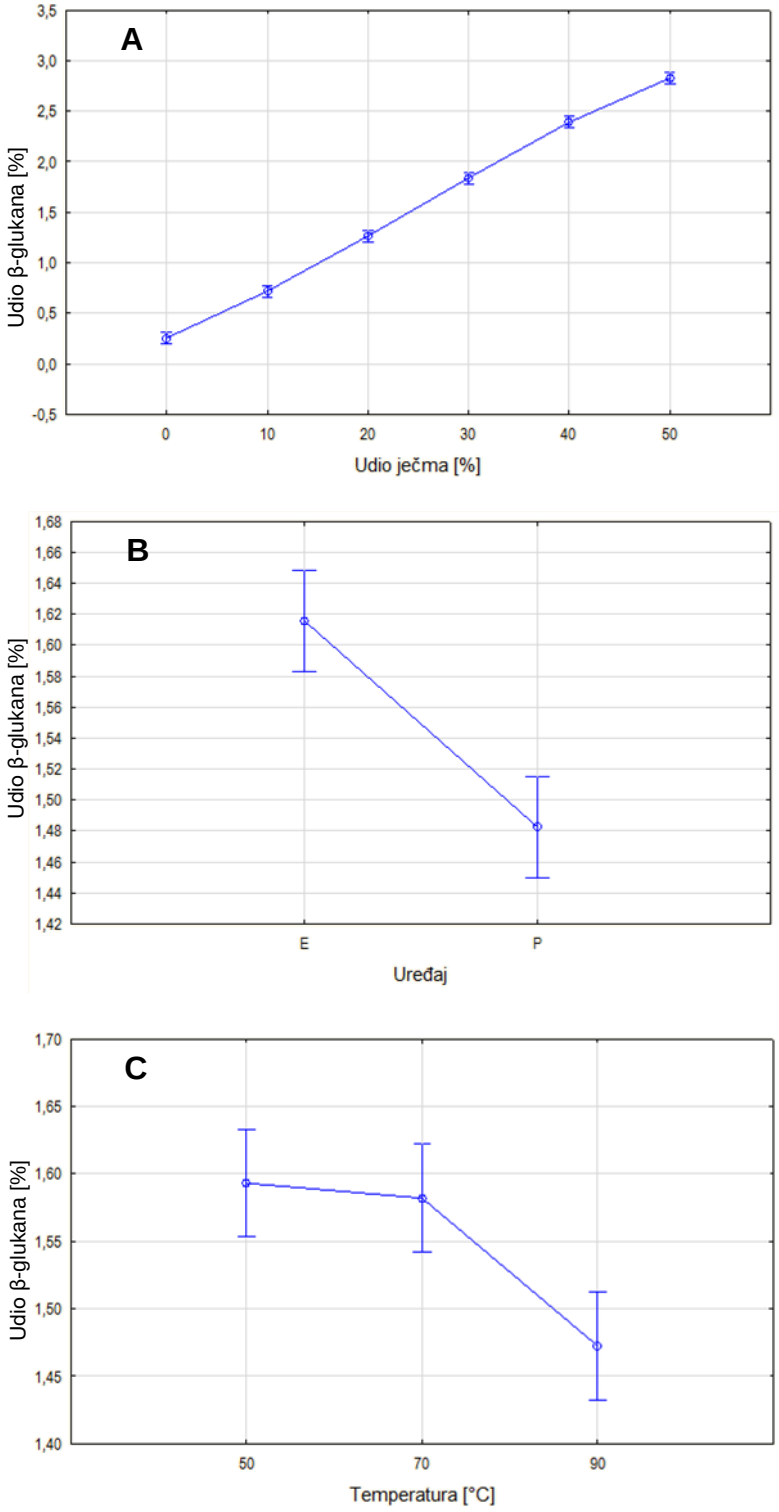


Slika 49 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio beta glukana uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 22 Udio β-glukana u kuhanoj tjestenini [%]*

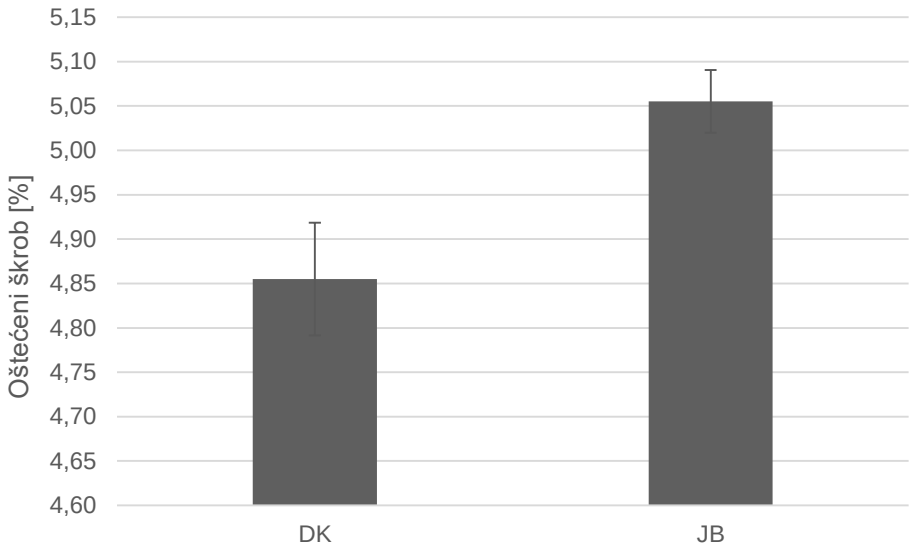
Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	0,25±0,03^{aA}	0,26±0,01^{aA}	0,18±0,00^{aA}	0,21±0,01^{aA}	0,30±0,01^{aA}	0,34±0,01^{aB}
10% JB	0,82±0,02^{bC}	0,81±0,06^{bB}	0,43±0,04^{bC}	0,68±0,01^{bB}	0,75±0,04^{bB}	0,83±0,03^{bD}
20% JB	1,44±0,04^{cE}	1,37±0,04^{cC}	0,95±0,01^{cE}	1,16±0,01^{cD}	1,31±0,01^{cC}	1,35±0,01^{cF}
30% JB	2,40±0,03^{dH}	2,00±0,07^{dE}	1,52±0,04^{dG}	1,66±0,00^{dF}	1,69±0,02^{dD}	1,78±0,02^{dH}
40% JB	2,93±0,06^{eJ}	2,56±0,02^{eG}	2,20±0,01^{eI}	2,12±0,02^{eG}	2,27±0,01^{eF}	2,28±0,02^{eJ}
50% JB	2,96±0,06^{eJ}	2,98±0,01^{fI}	3,01±0,07^{fL}	2,51±0,02^{fI}	2,70±0,03^{fH}	2,81±0,02^{fK}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-L) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 50 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio beta glukana uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.3.4. Stupanj oštećenja škroba

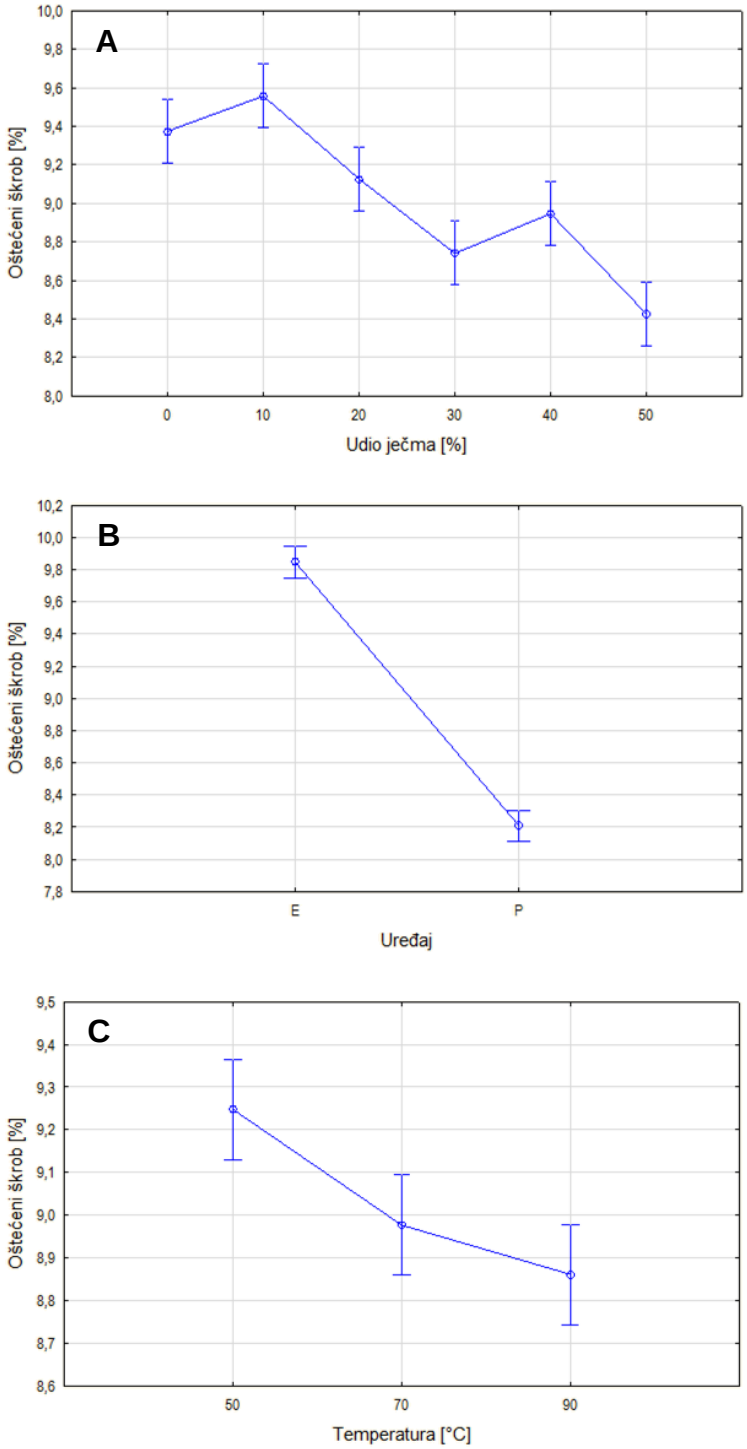


Slika 51 Stupanj oštećenja škroba u durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

Tablica 23 Stupanj oštećenja škroba uzoraka sušene tjestenine [%]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	10,47±0,08^{bcF}	9,55±0,00^{aE}	9,34±0,03^{bFG}	8,84±0,26^{eD}	9,08±0,03^{cD}	8,96±0,17^{dE}
10% JB	10,70±0,02^{cdF}	9,85±0,25^{aEF}	9,93±0,04^{cH}	8,41±0,37^{deC}	8,99±0,09^{cD}	9,47±0,18^{eG}
20% JB	10,82±0,25^{cdFG}	9,78±0,03^{aEF}	9,33±0,06^{bFG}	7,57±0,14^{abAB}	8,32±0,09^{bC}	8,95±0,12^{dE}
30% JB	10,04±0,11^{abE}	9,92±0,03^{aF}	9,21±0,13^{bF}	7,18±0,16^{aA}	7,70±0,07^{aB}	8,40±0,04^{cC}
40% JB	11,13±0,22^{dG}	9,93±0,20^{aF}	8,91±0,12^{aDE}	8,22±0,15^{cdC}	7,46±0,31^{aAB}	8,03±0,14^{bB}
50% JB	9,80±0,19^{aE}	9,85±0,19^{aEF}	8,70±0,07^{aD}	7,80±0,03^{bcB}	7,29±0,10^{aA}	7,12±0,01^{aA}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-H) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

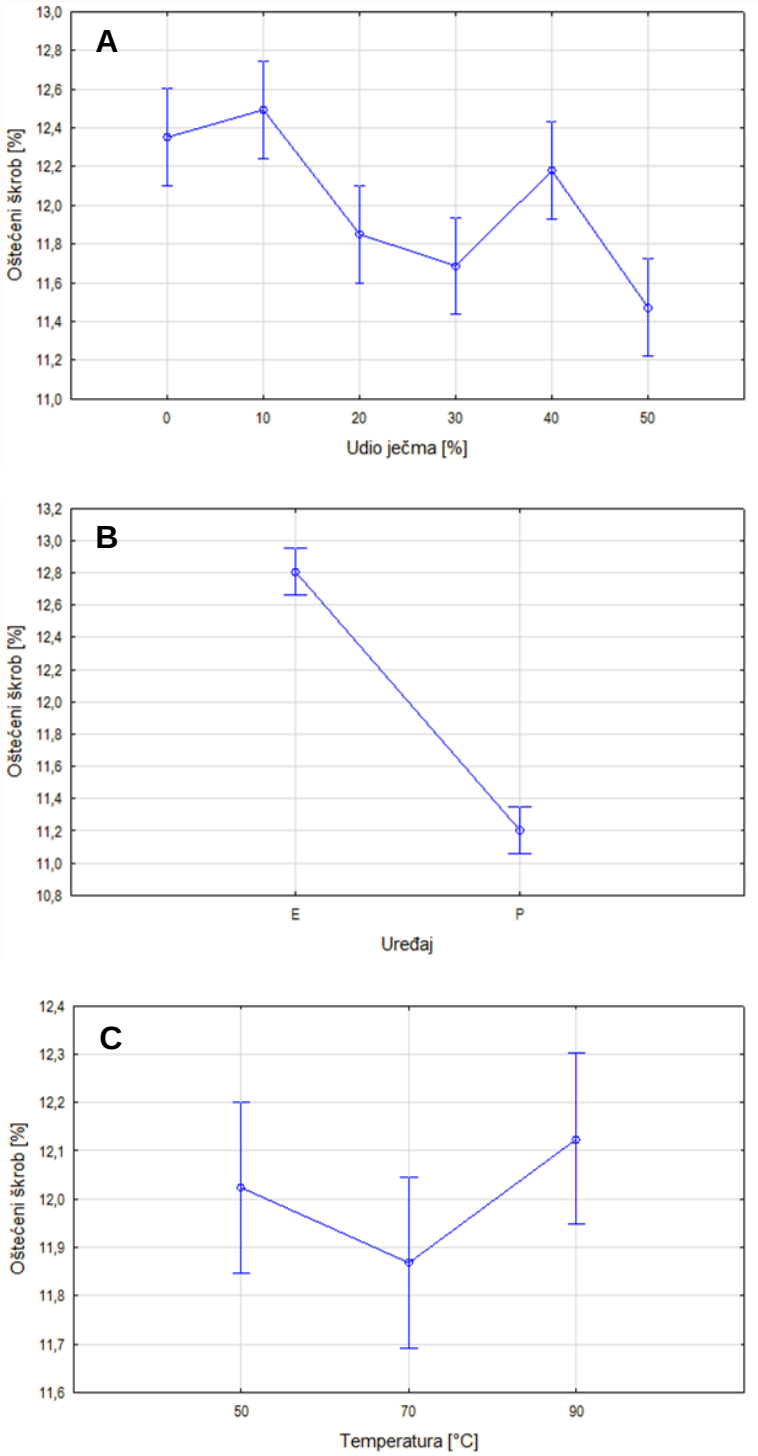


Slika 52 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na stupanj oštećenja škroba uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 24 Stupanj oštećenja škroba uzoraka kuhane tjestenine [%]*

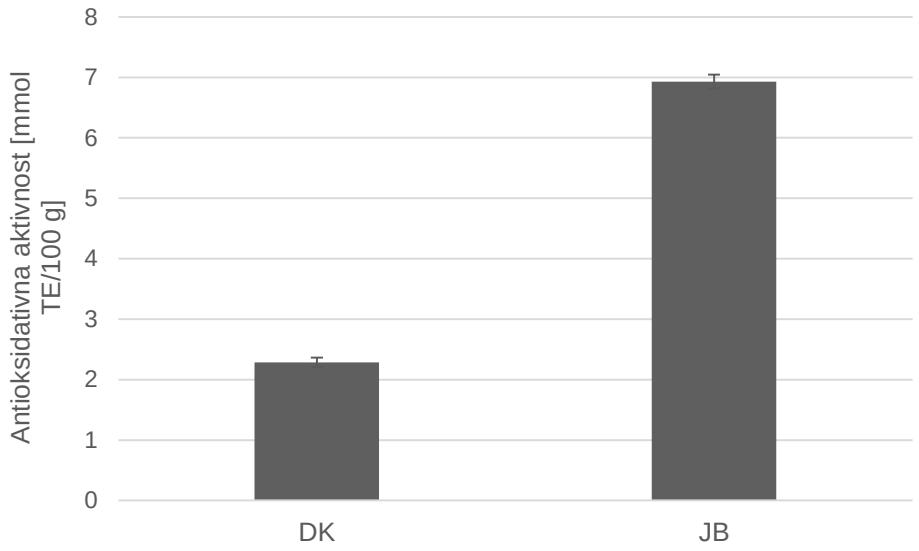
Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	13,51±0,58^{bcD}	11,94±0,51^{aBC}	13,15±0,54^{bEF}	11,40±0,40^{bBC}	12,08±0,10^{bBCD}	12,03±0,07^{cCD}
10% JB	12,28±0,65^{abC}	12,68±0,28^{aDE}	13,37±0,37^{bF}	11,52±0,37^{bBC}	12,60±0,15^{cDE}	12,52±0,05^{dDE}
20% JB	11,46±0,80^{aBC}	12,15±0,32^{aBCD}	13,37±0,09^{bF}	10,28±0,32^{aA}	11,83±0,22^{bB}	12,04±0,08^{cCD}
30% JB	14,01±0,49^{cdDE}	12,85±0,57^{aE}	11,47±0,09^{aBC}	9,86±0,03^{aA}	10,65±0,20^{aA}	11,29±0,09^{bBC}
40% JB	14,92±0,28^{dE}	12,53±0,11^{aCDE}	12,80±1,11^{bDEF}	11,23±0,31^{bB}	10,51±0,25^{aA}	11,09±0,16^{bAB}
50% JB	13,65±0,15^{cdD}	12,33±0,32^{aBCDE}	12,08±0,27^{abCD}	10,19±0,11^{aA}	10,29±0,15^{aA}	10,31±0,09^{aA}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-F) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 53 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na stupanj oštećenja škroba uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.3.5. Određivanje antioksidativne aktivnosti

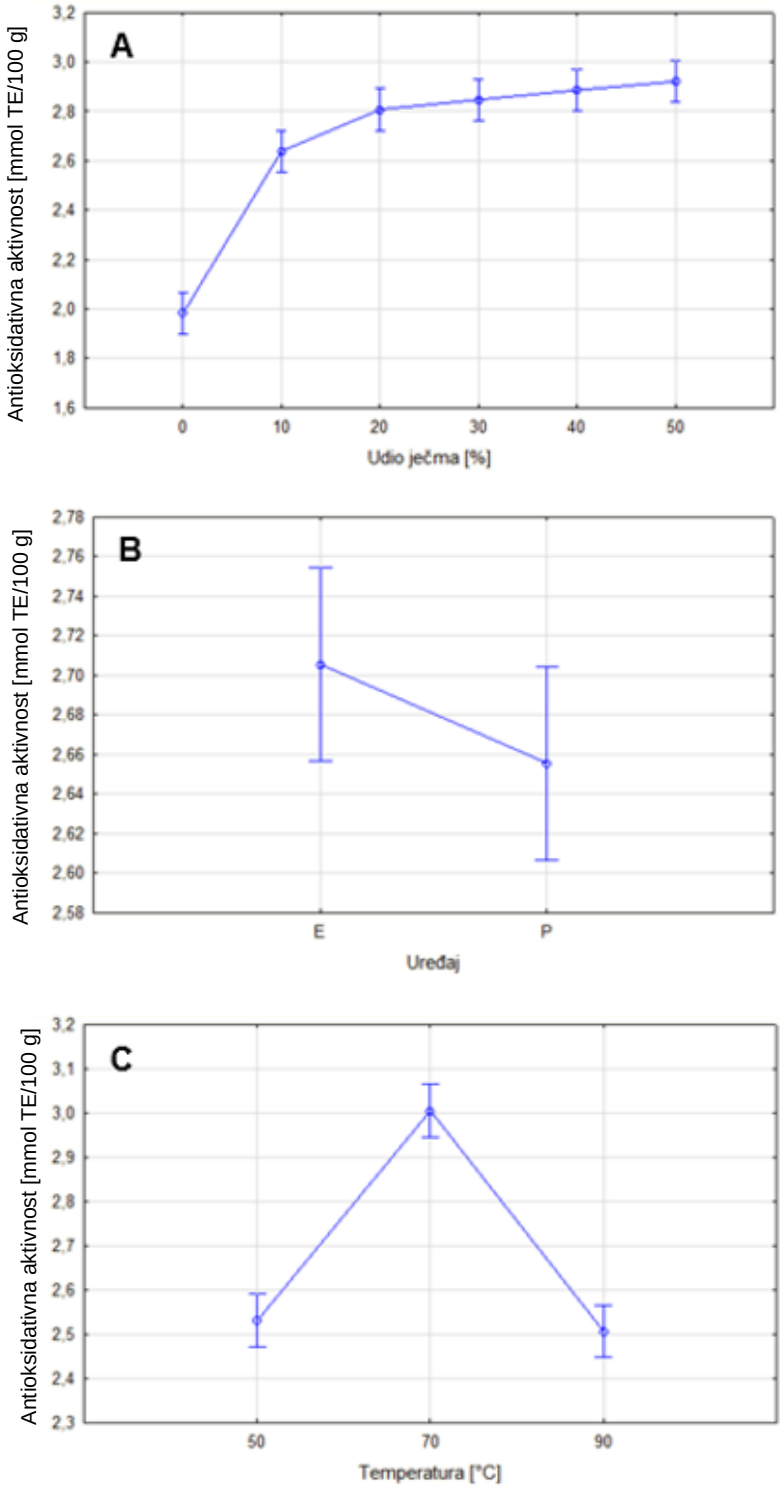


Slika 54 Antioksidativna aktivnost u durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

Tablica 25 Antioksidativna aktivnost uzoraka sušene tjestenine [mmol TE/100 g]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	1,59±0,03^{aA}	1,55±0,68^{aA}	1,57±0,06^{aA}	2,33±0,02^{aBC}	2,36±0,00^{aB}	2,50±0,04^{aBCD}
10% JB	2,28±0,12^{bB}	3,20±0,04^{bB}	2,35±0,15^{bB}	2,41±0,00^{abBC}	3,15±0,01^{bB}	2,45±0,14^{aBC}
20% JB	2,93±0,07^{cD}	3,24±0,08^{bB}	2,66±0,06^{cDEF}	2,36±0,04^{aBC}	3,12±0,02^{bB}	2,53±0,05^{aCD}
30% JB	3,03±0,10^{cD}	3,15±0,06^{bB}	2,76±0,09^{cF}	2,42±0,05^{abBC}	3,18±0,02^{bcB}	2,54±0,05^{aCD}
40% JB	3,06±0,13^{cD}	3,33±0,07^{bB}	2,75±0,07^{cEF}	2,42±0,06^{abC}	3,18±0,05^{bcB}	2,57±0,06^{aCDE}
50% JB	3,06±0,00^{cD}	3,38±0,08^{bB}	2,83±0,07^{cF}	2,47±0,02^{bC}	3,22±0,03^{cB}	2,57±0,08^{aCDE}

*JB – ječmeno brašno, TE – trolox ekvivalent
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-c) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-F) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

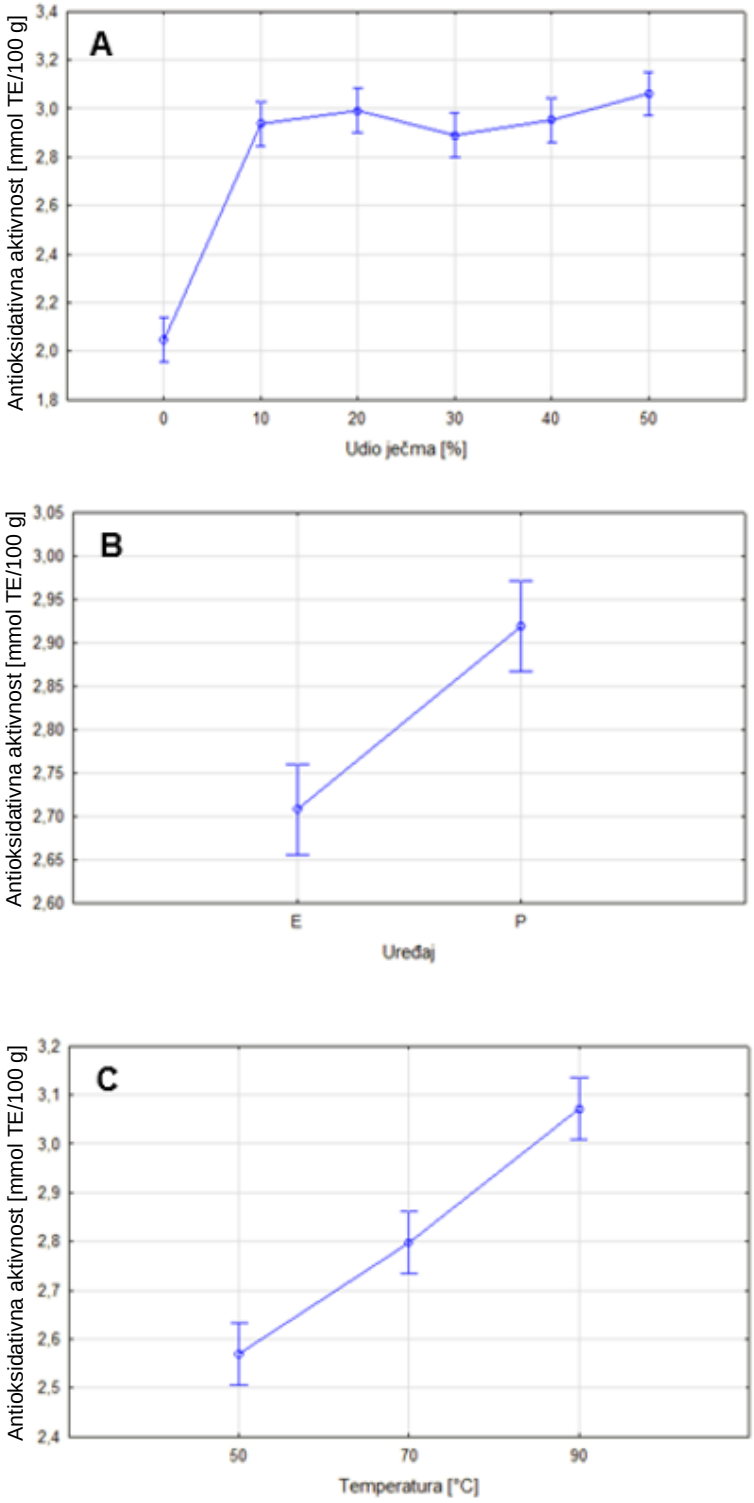


Slika 55 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na antioksidativnu aktivnost uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 26 Antioksidativna aktivnost uzoraka kuhane tjestenine [mmol TE/100 g]*

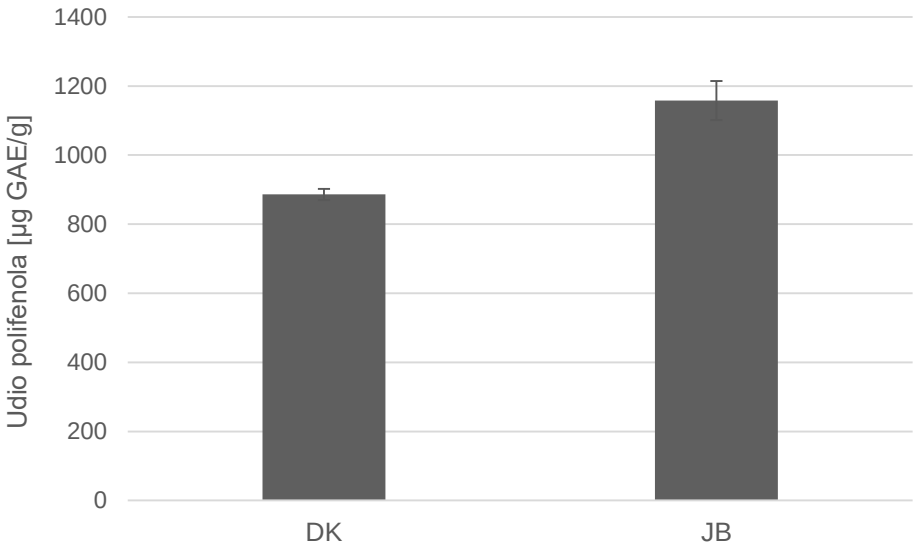
Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	1,63±0,02^{aA}	1,57±0,07^{aA}	1,64±0,03^{aA}	2,42±0,04^{aB}	2,48±0,01^{aB}	2,54±0,04^{aB}
10% JB	3,14±0,16^{cdE}	2,48±0,13^{bB}	3,29±0,07^{bDEF}	2,46±0,01^{abBC}	3,20±0,04^{bD}	3,07±0,08^{bC}
20% JB	3,28±0,11^{dE}	2,60±0,08^{bBC}	3,20±0,09^{bCDE}	2,40±0,04^{aB}	3,23±0,04^{bD}	3,26±0,02^{cDE}
30% JB	2,52±0,12^{bBC}	2,63±0,16^{bBC}	3,16±0,08^{bCD}	2,44±0,04^{abBC}	3,28±0,02^{bcD}	3,32±0,03^{cdDEF}
40% JB	2,58±0,01^{bC}	2,73±0,11^{bC}	3,25±0,09^{bDE}	2,49±0,01^{bcBC}	3,32±0,05^{cdD}	3,36±0,04^{cdEF}
50% JB	2,97±0,06^{cD}	2,71±0,11^{bC}	3,36±0,16^{bEF}	2,54±0,02^{cBC}	3,37±0,04^{dD}	3,43±0,04^{dF}

*JB – ječmeno brašno, TE – trolox ekvivalent
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-d) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-F) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 56 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na antioksidativnu aktivnost uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.3.6. Određivanje udjela ukupnih polifenola

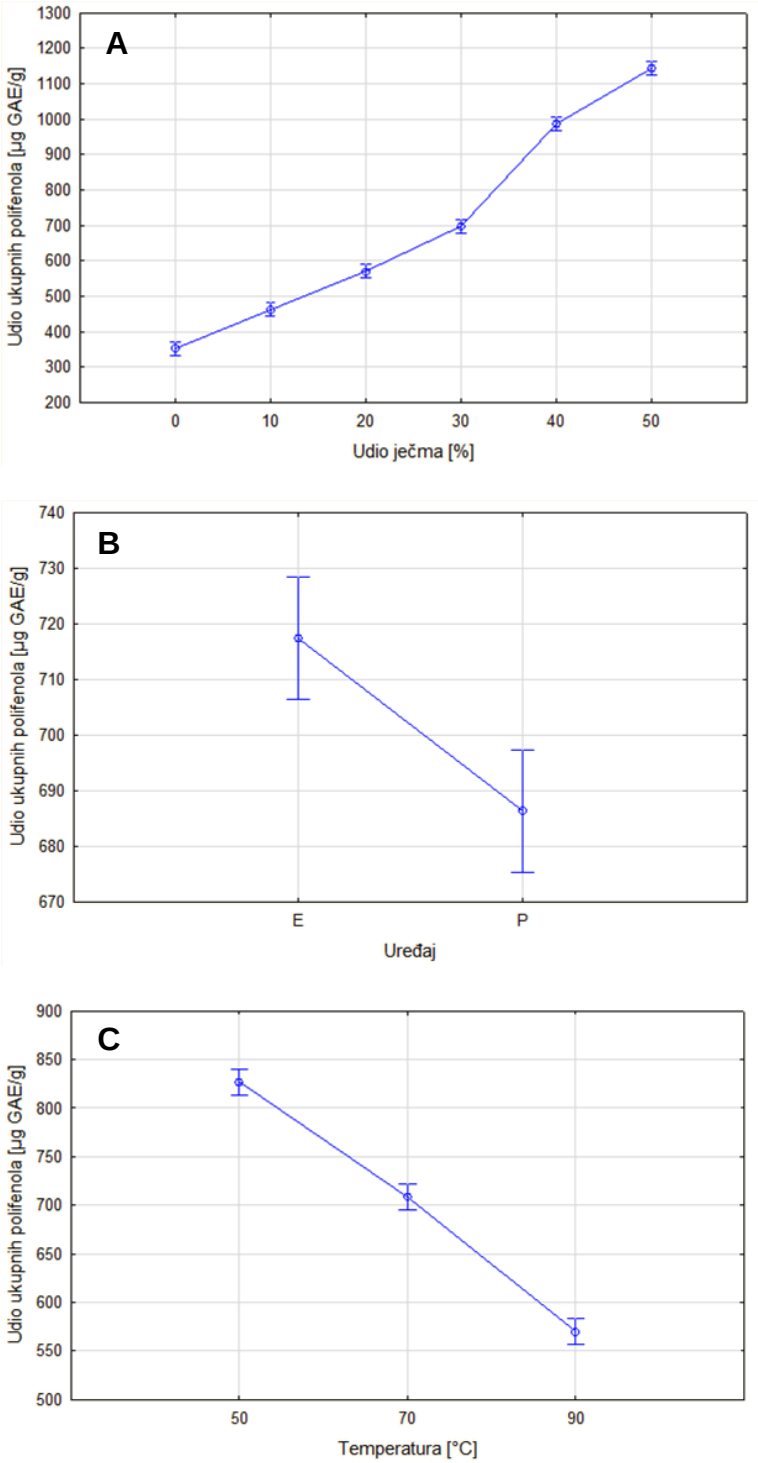


Slika 57 Udio ukupnih polifenola u durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

Tablica 27 Udio ukupnih polifenola uzoraka sušene tjestenine [μg GAE/g]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	408,99±13,03^{aA}	410,83±15,83^{aB}	287,40±2,61^{aB}	414,52±5,21^{aA}	303,98±10,42^{aA}	285,56±26,05^{aA}
10% JB	578,48±28,66^{bCD}	532,42±41,69^{bCD}	372,14±13,03^{bC}	563,74±13,03^{bAB}	421,89±26,05^{bAB}	300,29±20,84^{aB}
20% JB	652,17±13,03^{bD}	631,91±15,63^{cE}	466,10±31,26^{cE}	670,60±7,82^{cBC}	552,69±2,61^{cC}	449,52±18,24^{bC}
30% JB	864,04±20,84^{cE}	663,23±18,24^{cEF}	490,05±18,24^{cE}	819,82±15,63^{dCD}	751,66±23,45^{dD}	596,90±18,24^{cD}
40% JB	1123,80±112,03^{dF}	1035,37±28,66^{dG}	775,61±20,84^{dG}	1254,61±5,21^{eE}	935,89±33,87^{eF}	794,03±20,84^{dF}
50% JB	1287,77±78,16^{eG}	1239,87±52,11^{eH}	1092,48±15,63^{eI}	1285,92±23,45^{eF}	1020,63±23,45^{fG}	932,20±54,71^{eH}

*JB – ječmeno brašno, GAE – ekvivalenti galne kiseline
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-H) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

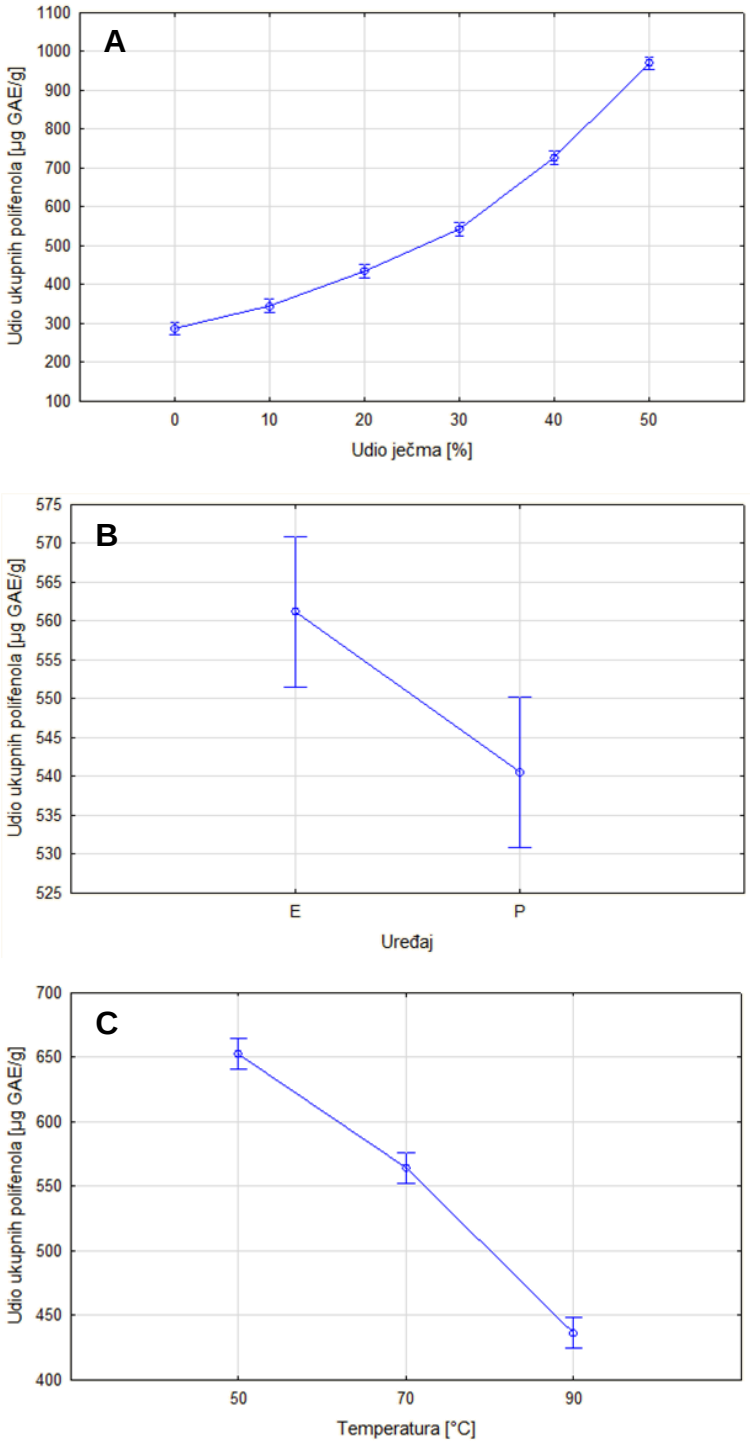


Slika 58 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio ukupnih polifenola uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 28 Udio ukupnih polifenola uzoraka kuhane tjestenine [μg GAE/g]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	336,64±1,90^{aB}	330,69±2,34^{aB}	238,76±17,20^{aB}	374,17±3,39^{aA}	236,92±20,84^{aA}	204,50±15,11^{aA}
10% JB	424,47±3,13^{bD}	383,94±6,25^{bC}	313,01±15,37^{bB}	430,36±8,34^{bB}	296,43±2,87^{bB}	222,55±1,04^{aA}
20% JB	507,00±14,07^{cE}	497,42±22,41^{cD}	353,72±7,30^{cD}	495,21±19,80^{cC}	447,86±7,03^{cC}	304,05±1,67^{bB}
30% JB	592,48±13,55^{dF}	561,35±28,40^{dF}	413,96±12,77^{dF}	657,89±3,91^{dE}	650,88±18,50^{dE}	378,22±10,68^{cC}
40% JB	802,69±14,33^{eI}	700,26±9,12^{eG}	682,94±14,33^{eG}	924,47±20,84^{eG}	746,13±1,56^{eF}	504,79±16,67^{dE}
50% JB	1090,83±40,90^{fJ}	1007,18±32,05^{fH}	864,04±4,69^{fH}	1190,49±21,36^{fH}	912,31±11,46^{fG}	752,95±15,89^{eG}

*JB – ječmeno brašno, GAE – ekvivalenti galne kiseline
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-J) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 59 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio ukupnih polifenola uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.3.7. Određivanje *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata

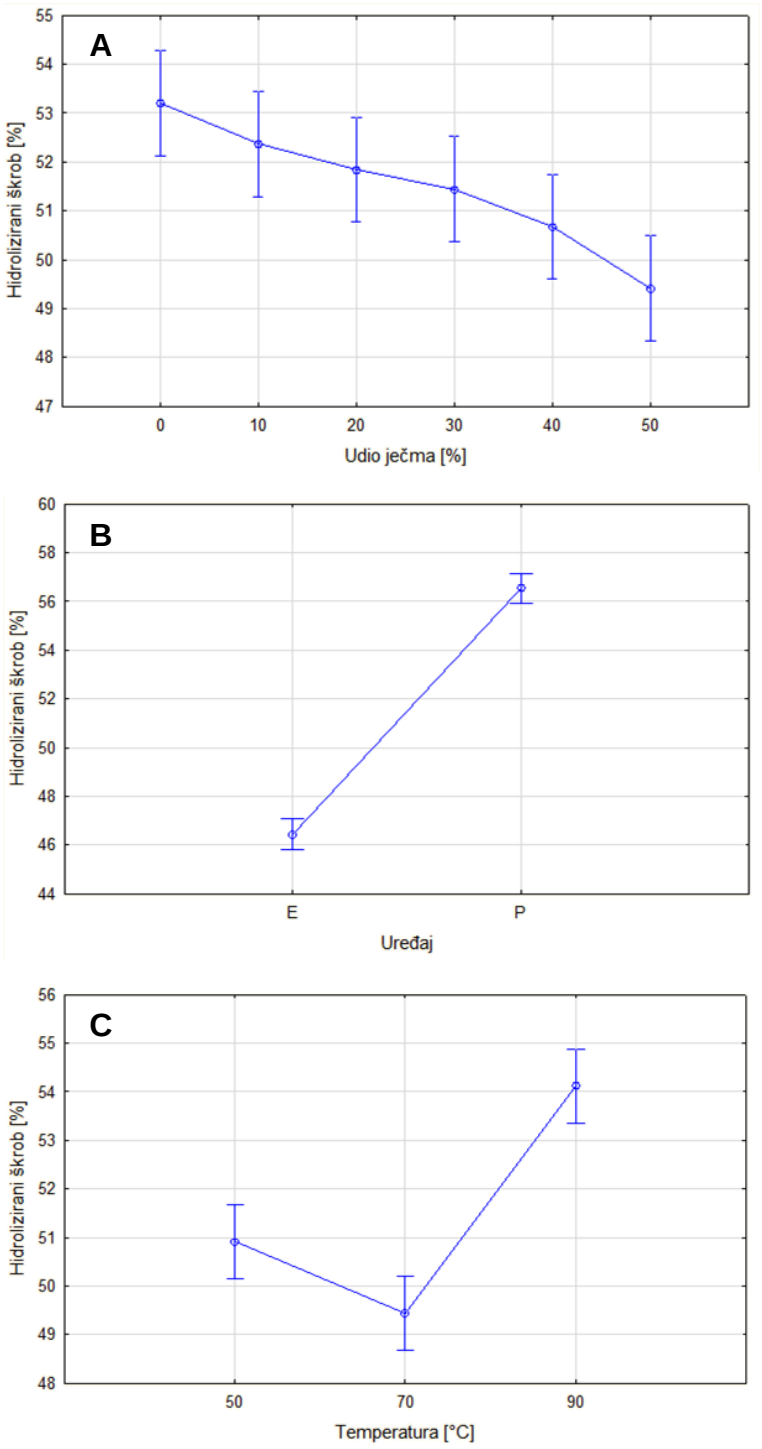
Tablica 29 *In vitro* probavljivost ugljikohidrata uzoraka kuhane tjestenine; % hidroliziranog škroba*

	Ekstruder			Preša		
			50 °C			
Uzorak	**20 min**	**120 min**	**180 min**	**20 min**	**120 min**	**180 min**
0% JB	44,73±0,13^{f}	86,17±0,19^{f}	96,70±0,60^{f}	63,86±0,95^{f}	78,71±3,75^{de}	93,56±1,72^{f}
10% JB	44,32±0,06^{e}	85,76±0,30^{e}	95,64±0,25^{e}	60,61±0,66^{e}	75,56±0,94^{cd}	90,49±0,88^{e}
20% JB	44,05±0,10^{d}	84,60±0,16^{d}	94,99±0,03^{d}	58,52±0,83^{cd}	74,30±1,15^{c}	87,21±1,05^{d}
30% JB	43,52±0,42^{c}	83,63±0,40^{c}	93,94±0,23^{c}	57,99±1,10^{bc}	71,23±0,83^{b}	83,93±0,37^{c}
40% JB	42,99±0,14^{b}	82,55±0,44^{ab}	93,18±0,10^{b}	55,82±1,43^{b}	67,73±1,00^{a}	81,36±1,11^{ab}
50% JB	42,62±0,19^{a}	81,27±1,91^{a}	92,20±0,21^{a}	52,07±1,59^{a}	66,06±1,53^{a}	79,47±3,05^{a}
			70 °C			
0% JB	40,95±0,38^{a}	88,77±0,20^{f}	95,32±0,74^{f}	54,72±0,64^{a}	66,56±0,57^{ef}	86,94±2,42^{ef}
10% JB	41,24±0,16^{ab}	86,00±0,30^{e}	93,95±0,08^{e}	55,06±0,23^{ab}	65,95±0,23^{e}	85,43±1,11^{e}
20% JB	42,10±0,17^{c}	83,70±0,83^{d}	93,05±0,08^{d}	55,96±0,23^{c}	65,09±0,10^{d}	83,43±0,45^{d}
30% JB	43,00±0,02^{d}	81,66±0,89^{c}	92,09±0,05^{c}	56,76±0,40^{d}	64,77±0,14^{c}	82,14±0,49^{c}
40% JB	43,80±0,12^{e}	79,33±0,49^{b}	91,25±0,13^{b}	57,04±0,63^{de}	64,10±0,04^{b}	80,81±0,83^{ab}
50% JB	44,30±0,28^{f}	76,24±0,59^{a}	90,59±0,42^{a}	58,37±1,46^{de}	63,48±0,04^{a}	79,88±0,45^{a}
			90 °C			
0% JB	55,44±0,89^{ef}	83,70±2,67^{f}	96,60±1,40^{f}	59,54±0,70^{ef}	81,86±1,85^{f}	86,72±0,32^{f}
10% JB	54,97±0,06^{e}	78,70±0,64^{e}	95,07±0,25^{e}	58,08±0,83^{e}	76,16±1,00^{e}	83,17±0,98^{e}
20% JB	54,02±0,16^{d}	75,92±0,52^{d}	94,65±0,18^{d}	56,43±0,45^{d}	72,91±1,08^{d}	79,68±0,80^{d}
30% JB	53,09±0,11^{c}	71,74±0,92^{c}	94,02±0,30^{c}	54,30±1,17^{c}	69,86±0,87^{c}	76,35±0,75^{c}
40% JB	52,01±0,22^{b}	67,11±1,17^{b}	93,17±0,08^{b}	52,42±0,57^{b}	66,29±0,24^{b}	74,18±1,04^{b}
50% JB	49,01±0,06^{a}	63,27±2,16^{a}	92,70±0,21^{a}	50,13±0,51^{a}	62,19±2,04^{a}	71,01±0,25^{a}

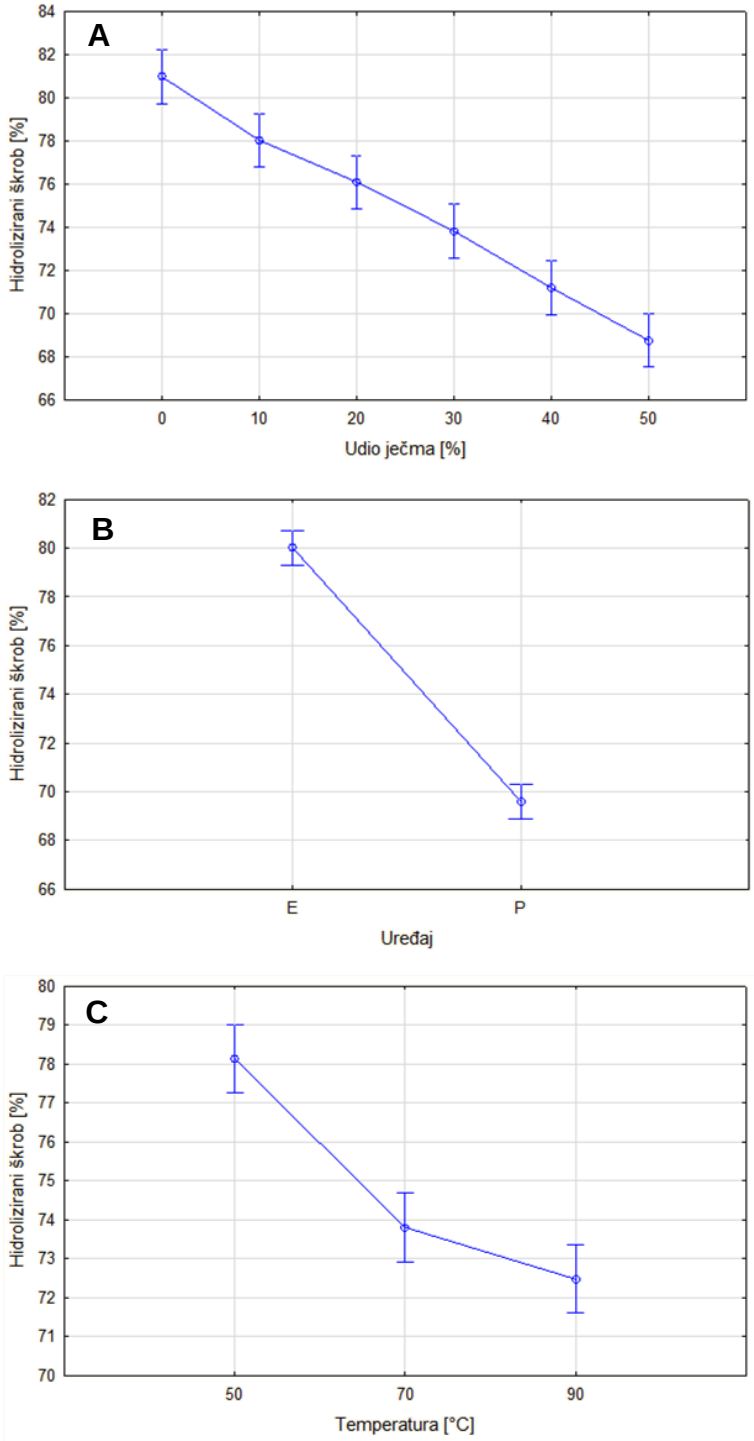
*JB – ječmeno brašno

srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)

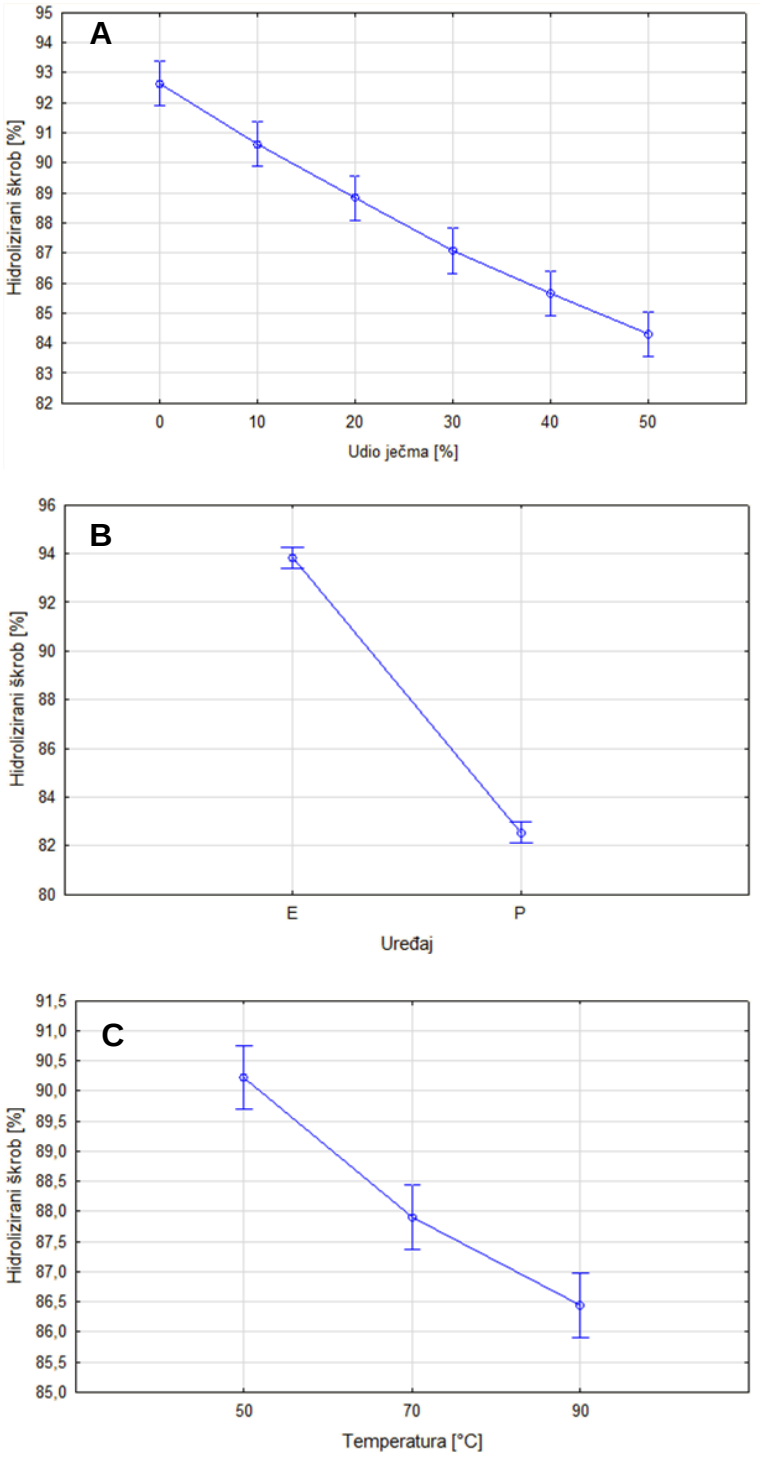
Vrijednosti u istoj koloni pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.



Slika 60 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio hidroliziranog škroba (20 min digestije) uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



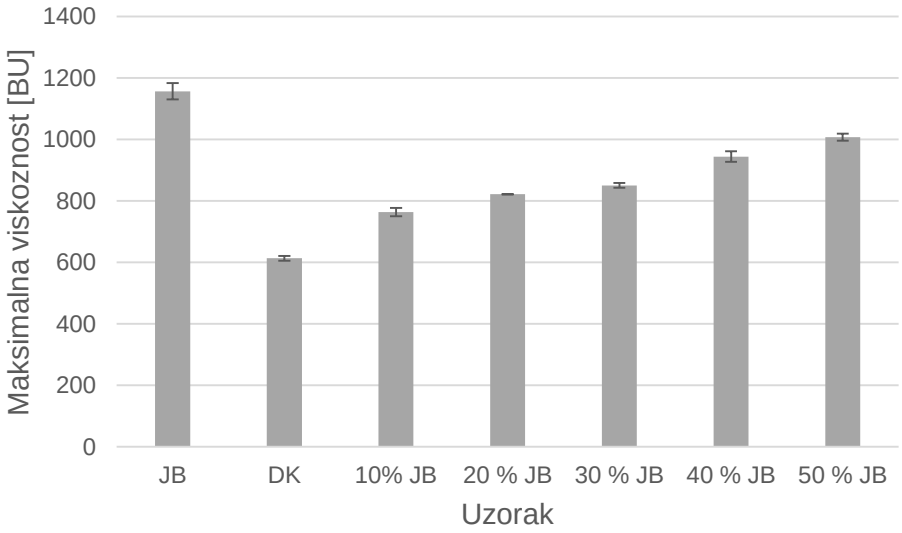
Slika 61 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio hidroliziranog škroba (120 min digestije) uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)



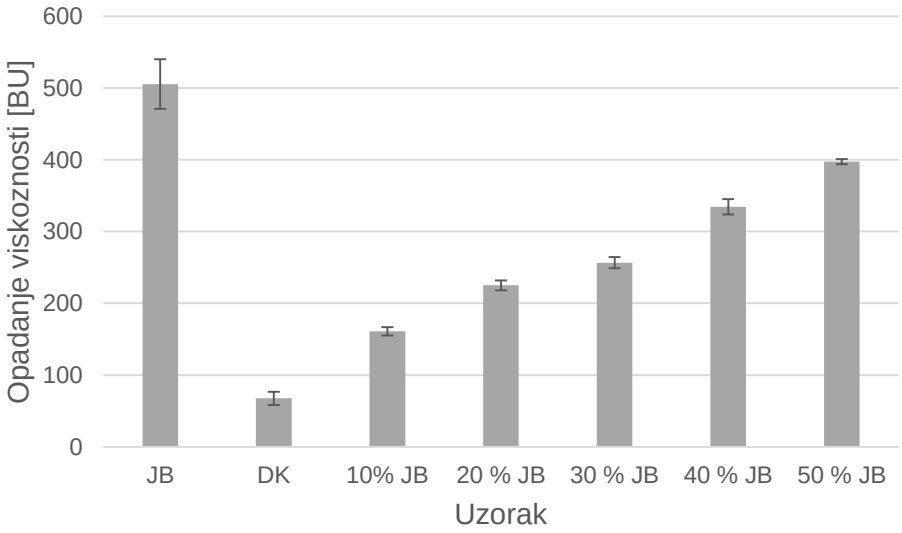
Slika 62 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio hidroliziranog škroba (180 min digestije) uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.4. Reološka svojstva

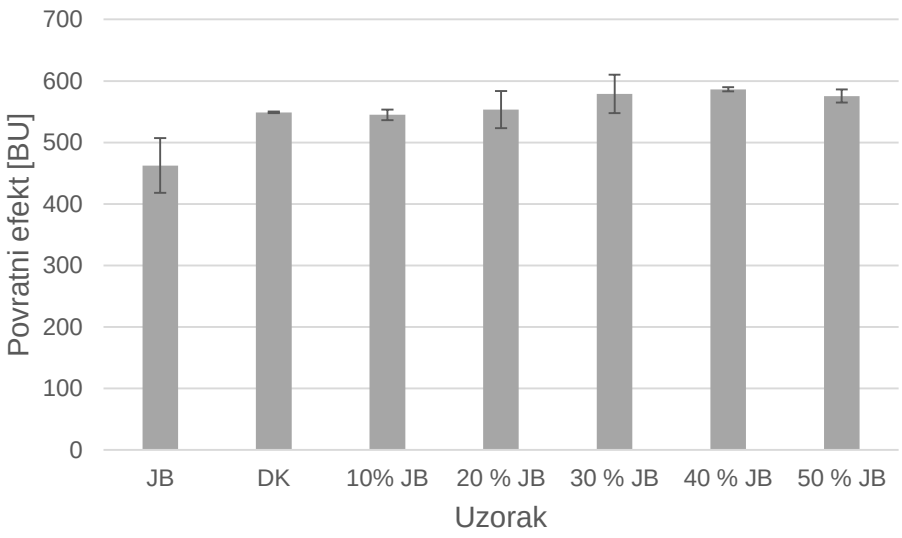
4.4.1. Određivanje viskoznosti brašna i uzoraka tjestenine



Slika 63 Maksimalna viskoznost sirovina durum krupice (DK), ječmenog brašna (JB) i zamjesa (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)



Slika 64 Opadanje viskoznosti sirovina durum krupice (DK), ječmenog brašna (JB) i zamjesa (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

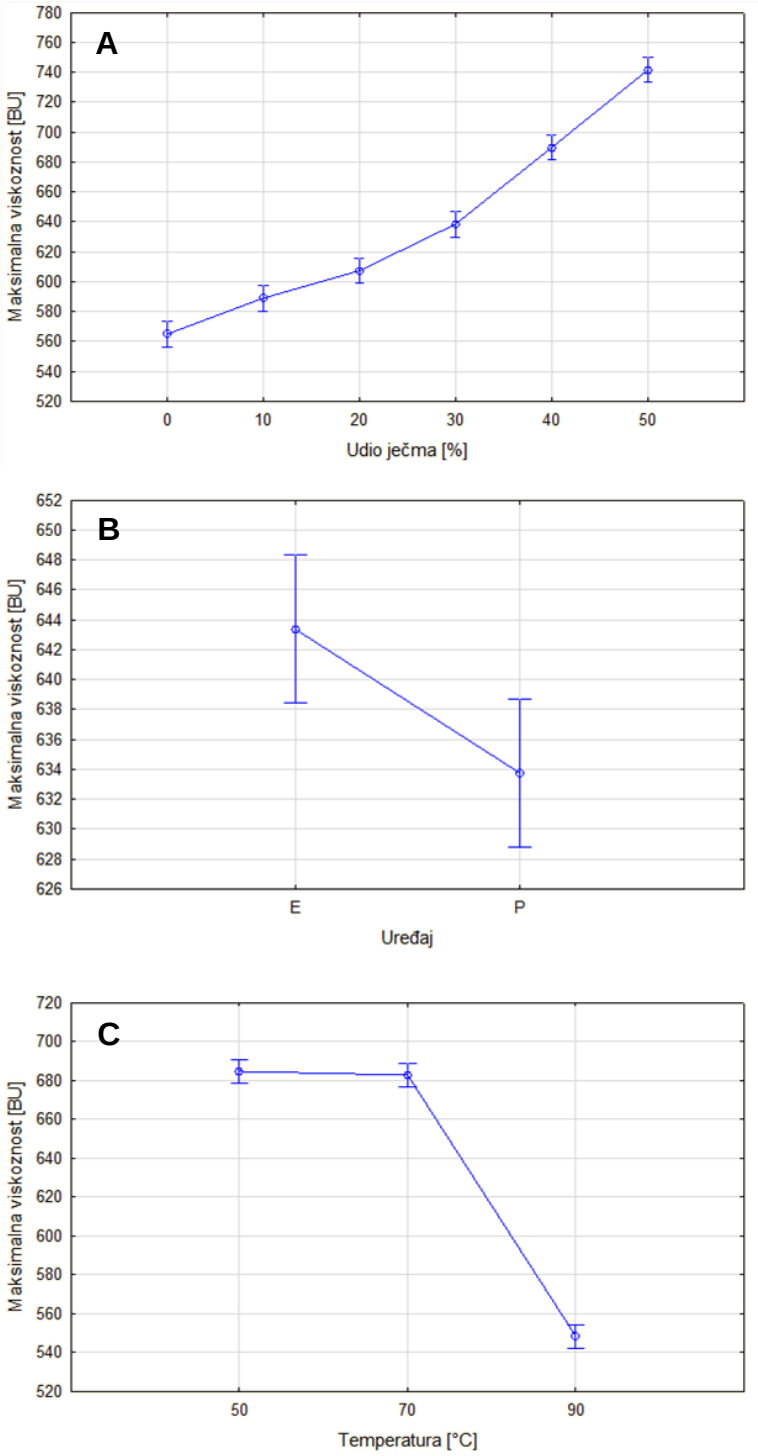


Slika 65 Povratni efekt sirovina durum krupice (DK), ječmenog brašna (JB) i zamjesa (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu devijaciju)

Tablica 30 Maksimalna viskoznost uzoraka sušene tjestenine [BU]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	623±2,83^{aC}	630±2,83^{abC}	523±0,71^{cD}	548±3,54^{aA}	583±1,41^{aA}	484±0,71^{aA}
10% JB	654±4,95^{bD}	637±4,24^{bcC}	485±7,78^{aA}	600±3,54^{bB}	635±0,71^{bC}	525±8,49^{bD}
20% JB	682±2,12^{cE}	606±6,36^{aB}	498±2,12^{bB}	621±2,12^{cC}	689±11,31^{cE}	550±2,83^{cE}
30% JB	728±16,97^{dG}	658±20,51^{cD}	513±2,12^{cC}	698±1,41^{dF}	683±0,71^{cE}	553±0,71^{cE}
40% JB	736±2,83^{dG}	784±9,19^{dH}	573±6,36^{dF}	738±12,02^{eG}	717±3,54^{dF}	593±1,41^{dG}
50% JB	785±2,83^{eH}	825±7,79^{eI}	646±2,83^{eH}	806±1,41^{fI}	750±0,71^{eG}	640±0,71^{eH}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-I) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

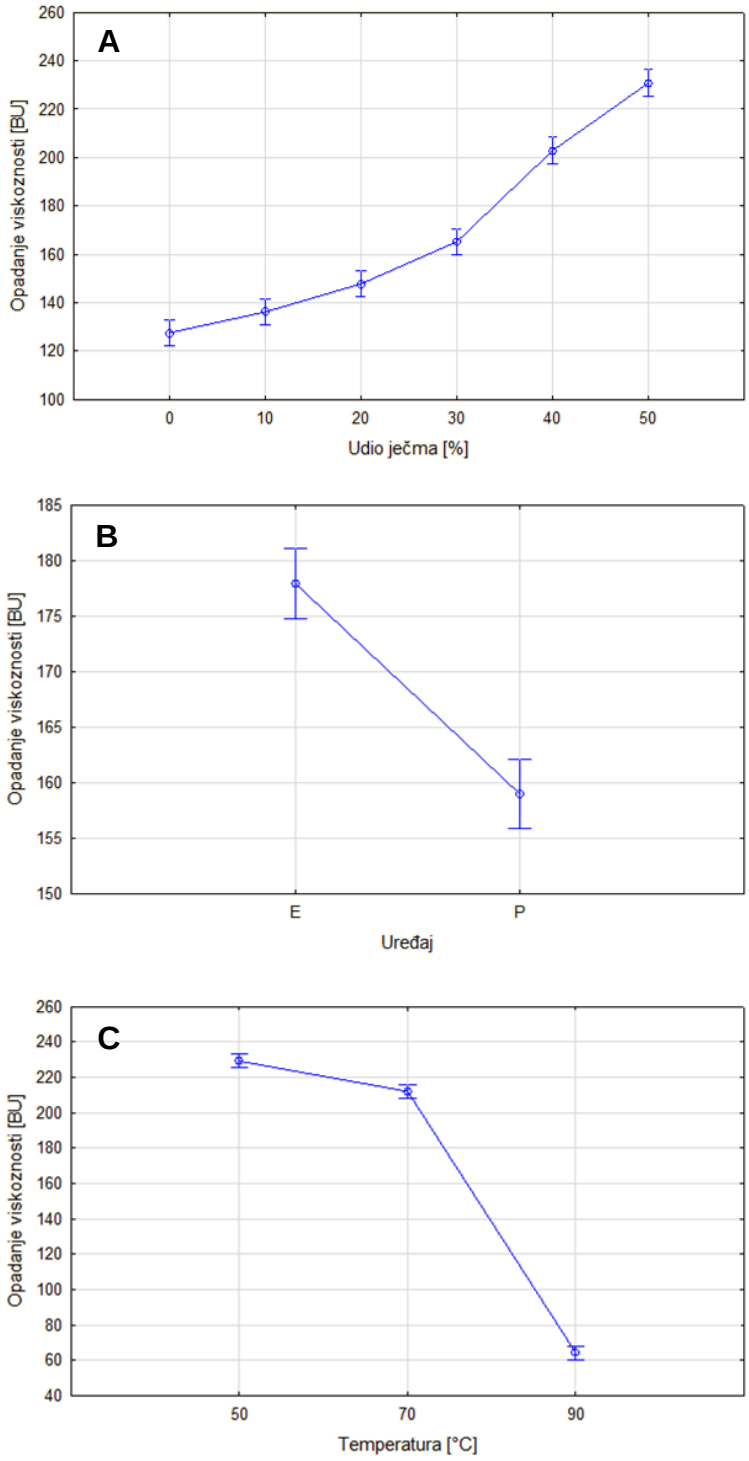


Slika 66 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na maksimalnu viskoznost uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 31 Opadanje viskoznosti („breakdown“) uzoraka sušene tjestenine [BU]*

Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	188±0,00^{aB}	187±4,95^{aBC}	56±1,41^{cE}	161±0,00^{aA}	151±1,41^{aA}	23±2,83^{aA}
10% JB	198±4,24^{aBC}	195±0,00^{abCD}	24±2,12^{aA}	189±1,41^{bB}	176±1,41^{bB}	36±2,83^{bB}
20% JB	223±1,41^{bD}	179±8,49^{aB}	39±4,95^{bBC}	205±1,41^{cC}	202±6,36^{cdCDE}	40±1,41^{bcBC}
30% JB	246±17,68^{cE}	215±14,85^{bEF}	49±5,66^{cDE}	239±0,71^{dE}	198±1,41^{cCD}	46±2,83^{cCD}
40% JB	261±0,71^{cF}	290±0,71^{cG}	105±2,83^{dG}	265±9,19^{eF}	208±3,54^{dDEF}	91±2,12^{dF}
50% JB	282±0,71^{dG}	325±14,14^{dH}	145±4,95^{eI}	296±8,49^{fH}	221±4,24^{eF}	117±4,24^{eH}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-f) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-I) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

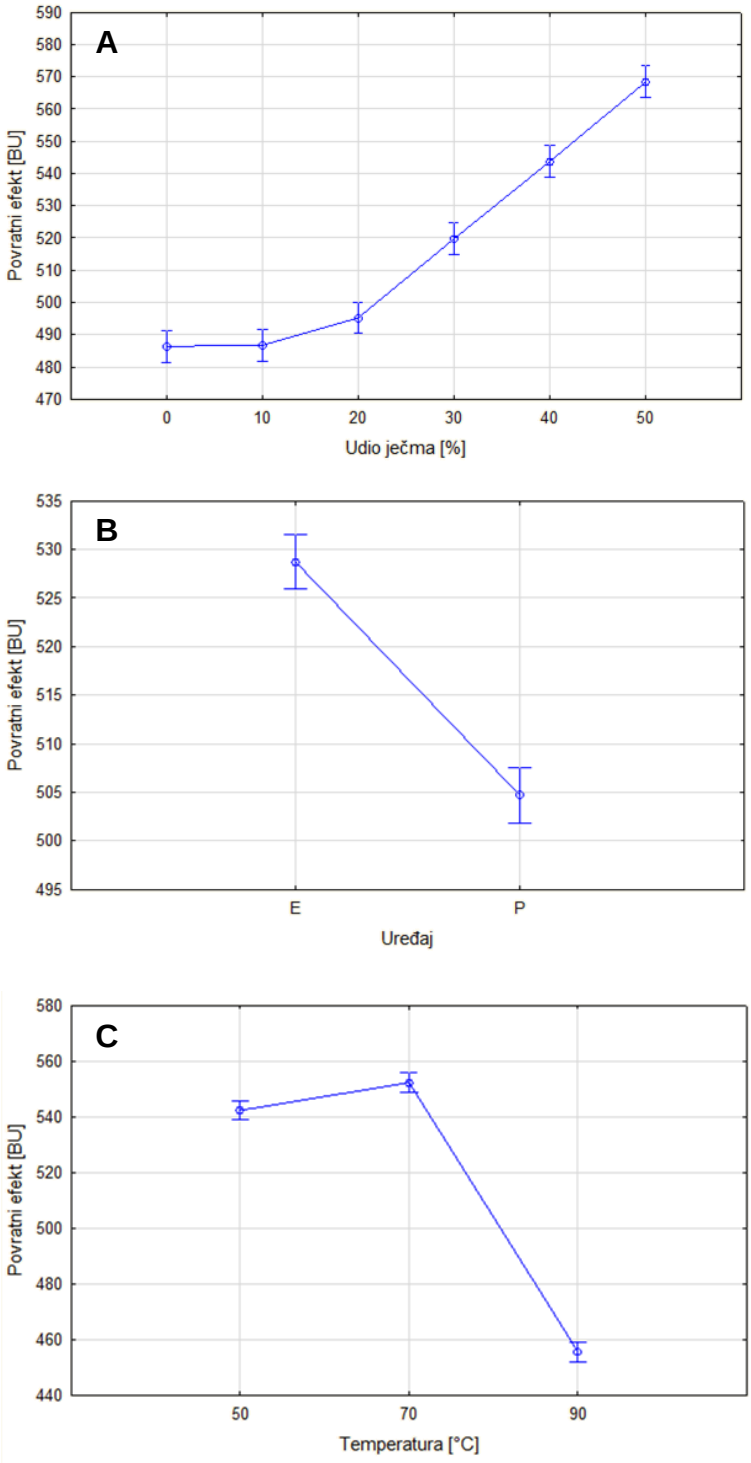


Slika 67 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na opadanje viskoznosti uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

Tablica 32 Povratni efekt („setback“) uzoraka sušene tjestenine [BU]*

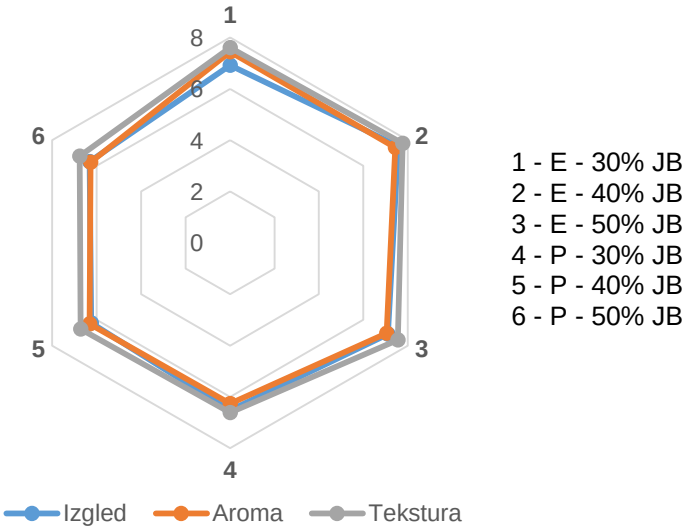
Uzorak	Ekstruder			Preša		
	50 °C	70 °C	90 °C	50 °C	70 °C	90 °C
0% JB	542±3,54^{aC}	547±9,19^{bcD}	456±4,24^{abCD}	471±11,31^{aA}	503±2,12^{aA}	401±1,41^{aA}
10% JB	540±3,54^{aC}	528±0,00^{abBC}	431±3,54^{aBC}	488±2,12^{bB}	514±3,54^{bA}	422±4,95^{aAB}
20% JB	545±4,24^{aCD}	515±4,24^{aAB}	429±10,61^{aABC}	494±2,12^{bB}	540±9,19^{cCD}	450±0,00^{bCD}
30% JB	572±4,24^{bF}	552±14,14^{cD}	447±10,61^{aBCD}	537±2,83^{cC}	544±0,71^{cD}	468±2,12^{bDE}
40% JB	568±1,41^{bEF}	611±8,49^{dF}	491±7,07^{bcEF}	557±4,95^{dDE}	567±2,12^{dE}	470±20,51^{bDE}
50% JB	604±10,61^{cG}	630±2,83^{dG}	513±34,65^{cF}	593±0,00^{eG}	580±0,71^{eE}	492±1,41^{cEF}

*JB – ječmeno brašno
srednje vrijednosti dva mjerenja ± standardna devijacija (SD)
Vrijednosti u istoj koloni s različitim eksponentima (a-e) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.
Vrijednosti pri istoj temperaturi sušenja s različitim eksponentima (A-G) su statistički značajno različite ($p<0,05$) ANOVA, Fisher's LSD.

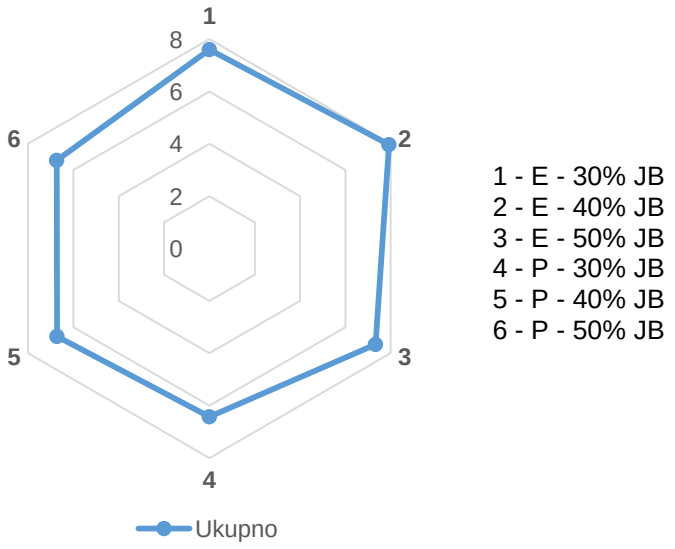


Slika 68 Grafički prikaz rezultata statističke obrade utjecaja udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na povratni efekt uzoraka sušene tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) (raspon za svaku vrijednost predstavlja standardnu grešku)

4.5. Senzorska analiza



Slika 69 Senzorska svojstva odabranih uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) s dodatkom ječmenog brašna (JB)



Slika 70 Ukupna senzorska ocjena odabranih uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu (E) i preši (P) s dodatkom ječmenog brašna (JB)

5. RASPRAVA

5.1. Analiza sirovina

Kako bi se u istraživanju koristila lokalno uzgojena sorta ječma s najvećim udjelom β-glukana, ispitano je 13 sorti pljevičastog i golozrnog ječma, uzgojenih na tri različite lokacije u Slavoniji. Utvrđeno je da je većina ispitivanih sorti imala udio β-glukana između 3,5% i 4,5%. Najniži udio sadržavala je pivarska sorta ječma Vanessa (udio niži od 3% na sve tri ispitane lokacije), dok je sorta golozrnog ječma Osvit sadržavala najveći udio β-glukana (oko 5%) (**Slika 14**), te je iz tog razloga odabrana za daljnje istraživanje. Istraživanja drugih autora već su pokazala da golozrni ječam može sadržavati veći udio β-glukana od pljevičastog ječma (Kinner i sur., 2011.).

Granulacija sirovina prikazana je na **Slici 15**. Granulacija durum krupice u prosjeku se kretala oko 250 μm, što odgovara zahtjevima tehnologije proizvodnje tjestenine. Naime, preporuka je da se oko 90% čestica kreće u rasponu veličine od 150 do 340 μm (Kent i Evers, 1994.). Utvrđen je i visok udio čestica veličine oko 100 μm, što odgovara zahtjevima nekih suvremenih postrojenja za proizvodnju tjestenine, koja zahtijevaju sitnije čestice radi smanjenja vremena zamjesa. Općenito, važno je da je veličina čestica krupice u što je moguće užem rasponu radi jednakomjerne hidratacije (Kill i Turnbull, 2001.), što je u ovom istraživanju i postignuto – veličina oko 75% čestica durum krupice je u rasponu 100 – 250 μm.

S druge strane, preko 70% čestica ječmenog brašna bilo je manje od 100 μm (**Slika 15**), također uz visoku jednakomjernost veličine. Kent i Evers (1994.) preporučuju da se veličina čestica kukuruza koji se dodaje durum krupici u proizvodnji tjestenine kreće ispod 200 μm, kako bi se postigla željena kvaliteta konačnog proizvoda. Naime, na kvalitetu tjestenine prvenstveno utječe kvaliteta pšeničnog glutena, pa se njegovim „razrjeđivanjem“ narušavaju svojstva kuhanja, dolazi do raspadanja tjestenine i velikog gubitka kuhanjem, što se djelomično može korigirati smanjenjem veličine čestica nepšeničnih sirovina (Kent i Evers, 1994.).

5.2. Fizikalna svojstva sirovina i uzoraka tjestenine

5.2.1. Boja sirovina i uzoraka tjestenine

Slika 16 prikazuje rezultate određivanja boje zamjesa sirovina. *L** parametar se odnosi na svjetlinu uzorka, *b** parametar na žutoću, a *a** parametar na crveno/smeđu boju. Svi ispitivani uzorci imali su visoke vrijednosti parametra *L**, što je pokazatelj velike svjetline uzoraka. Međutim, već s dodatkom 10% ječma parametar *a** iz negativne domene prelazi u pozitivnu, povećavajući značajno crvenu komponentu boje, čiji se intenzitet povećava proporcionalno dodanom udjelu ječma. Istovremeno, proporcionalno dodatku ječma, smanjuje se vrijednost parametra *b**, što je pokazatelj smanjenja udjela žute komponente. Rezultat navedenih

promjena je ukupna promjena boje, koja se izražava preko parametra Δ*E*, koji se dobiva računski iz prethodno navedena tri parametra. Ukupna promjena boje zamjesa sirovina prikazana je u **Tablici 6**. Prema Jukiću i sur. (2007.), promjenu boje koja odgovara kolorimetrijskoj razlici Δ*E* iznad 3 uočava prosječna osoba. Iz rezultata je vidljivo da je dodatak ječmenog brašna već u udjelu od 10% rezultirao vidljivom razlikom u boji u odnosu na durum krupicu kao kontrolni uzorak. Nadalje, dodatak ječmenog brašna u udjelu 50% rezultirao je ekstremnom razlikom u boji (Δ*E* > 12) pri čemu boje više ne pripadaju ni istoj skupini.

Boja uzoraka sirove tjestenine proizvedene na ekstruderu i preši prikazana je u **Tablici 7**. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je, za razliku od zamjesa, dodatak ječmenog brašna statistički značajno utjecao na potamnjenje površine tjestenine izraženo kao smanjenje vrijednosti *L** parametra, pri čemu je razlika u odnosu na kontrolni uzorak (bez dodatka ječmenog brašna) bila veća u slučaju primjene laboratorijske preše, nego u slučaju ekstrudirane tjestenine. Vrijednosti *a** parametra dodatkom ječma rastu, dok vrijednosti *b** parametra opadaju proporcionalno dodatku ječmenog brašna, s izraženijim promjenama na laboratorijskoj preši.

Uzorci tjestenine proizvedene na preši imali su tamniju boju od uzoraka proizvedenih na ekstruderu pri istim udjelima ječma. Razlog tomu bi mogao biti u većoj vlažnosti zamjesa za prešu. Iz tablice je vidljivo da uzorci tjestenine s preše imaju više vrijednosti *a** parametra, a niže vrijednosti *b** u usporedbi s uzorcima proizvedenim na ekstruderu.

Ukupna promjena boje, koja predstavlja usporedbu boje tjestenine s dodatkom brašna ječma s bojom tjestenine proizvedene od durum krupice, povećava se s dodanom količinom brašna ječma. Razlike u ukupnoj promjeni boje u odnosu na kontrolni uzorak izraženije su kod primjene laboratorijske preše (izraženo kroz više vrijednosti Δ*E*) u odnosu na primjenu ekstrudera.

Tablica 8 prikazuje rezultate određivanja boje uzoraka sušene tjestenine proizvedene na laboratorijskom ekstruderu. Dodatak ječmenog brašna utjecao je statistički značajno (**Tablica 8, Slika 17A**) na smanjenje svjetline (parametra *L**) kod svih uzoraka, neovisno pri kojoj temperaturi su sušeni. Uzorci sušeni na 70 °C imali su najviše vrijednosti parametra *L**, slijedili su uzorci sušeni na 50 °C, dok su uzorci sušeni na 90 °C imali najniže vrijednosti parametra *L** pri svim udjelima dodanog ječmenog brašna (**Tablica 8**), no između uzoraka sušenih na 50 °C i 70 °C razlika nije bila statistički značajna (**Slika 17C**).

Parametar *a** se povećavao s količinom dodanog brašna ječma, prelazeći iz domene zelene pri udjelima 10% i 20% u domenu crvene boje, proporcionalno dodatku ječmenog brašna pri sve tri ispitane temperature. Uspoređuje li se boja uzoraka s istim udjelima ječmenog brašna, uočava se isti trend utjecaja sušenja kao i na parametar *L**, s istom statističkom značajnosti (**Slika 18A i 18C**). Ovaj trend može se objasniti nastankom produkata Maillardovih reakcija

tijekom sušenja na povišenim temperaturama (Feillet i sur., 2000.). Na 70 °C sušenje je trajalo značajno kraće nego na 50 °C pa Maillardove reakcije nisu tako uznapredovale, kao na 90 °C gdje je puno značajniji utjecaj temperature nego vremena sušenja.

Pri sve tri ispitane temperature sušenja dodatak brašna ječma statistički značajno je utjecao na smanjenje *b** parametra (**Tablica 8, Slika 19A**), koji se odnosi na žutoću proizvoda. Povećanjem temperature sušenja s 50 na 90 °C došlo je do proporcionalnog, statistički značajnog povećanja *b** parametra (**Tablica 8, Slika 19C**).

Ukupna promjena boje izražena preko parametra Δ*E* značajno je rasla s povećanjem udjela ječmenog brašna pri sve tri ispitane temperature sušenja. Razliku u boji između uzoraka s 10% ječmenog brašna i kontrolnih uzoraka pri sve tri temperature sušenja mogu uočiti samo trenirani senzorski analitičari, a do očiglednog odstupanja boja (pri čemu boje još uvijek pripadaju istoj skupini) došlo je kod uzoraka s 40% i 50% ječmenog brašna.

U **Tablici 9** su prikazani rezultati određivanja boje uzoraka sušene tjestenine proizvedene na preši. Dodatak brašna ječma imao je isti trend utjecaja na *L**, *a** i *b** parametre kao i kod uzoraka proizvedenih na ekstruderu, ali s izraženijim razlikama u vrijednostima ispitivanih parametara, što se očitovalo i većom razlikom ukupne promjene boje Δ*E*. Stoga je do očiglednog odstupanja boja kod ovih uzoraka došlo već pri udjelu ječmenog brašna 20%, a daljnjim povećanjem udjela ječmenog brašna razlika u boji postaje ekstremna (Jukić i sur., 2007.). Uzorci proizvedeni na preši imali su višu početnu vlažnost pa je bilo potrebno više vremena za njihovo sušenje u odnosu na uzorke proizvedene na ekstruderu zbog čega su Maillardove reakcije bile izraženije, što je vidljivo iz viših vrijednosti parametara *a** (crveniji) i *b** (žući uzorci) i nižih vrijednosti parametara *L**. Iz **Slika 17B, 18B i 19B** vidljiv je statistički značajan utjecaj uređaja na parametre *L**, *a** i *b**.

Boju uzoraka kuhane tjestenine proizvedene na ekstruderu i preši prikazuju **Tablice 10** i **11**. Iz rezultata je vidljiv isti utjecaj ječmenog brašna kao i kod uzoraka sušene tjestenine. Kuhanje tjestenine rezultiralo je povišenjem parametra *L** , odnosno svjetline kod svih uzoraka. Razlika u boji, Δ*E*, uočava se lakše kod kuhane tjestenine, naročito kod tjestenine proizvedene na ekstruderu, a statistička značajnost utjecaja temperature sušenja također raste nakon kuhanja (**Slike 20, 21 i 22**)

5.2.2. Optimalno vrijeme kuhanja

Optimalno vrijeme kuhanja uzoraka tjestenine prikazano je u **Tablici 12**. Optimalno vrijeme kuhanja je fizikalno svojstvo tjestenine na koje utječe kvaliteta osnovne sirovine, dodatak drugih sirovina, procesni parametri itd.

Dodatak ječmenog brašna i temperatura sušenja nisu imali izraženi trend utjecaja na optimalno vrijeme kuhanja tjestenine, što je vidljivo iz **Tablice 12** i **Slike 23A i C**. Najkraće optimalno vrijeme kuhanja imala je tjestenina s dodatkom 40% ječmenog brašna proizvedena na preši i sušena na 90 °C, dok je najduže optimalno vrijeme kuhanja imala tjestenina s dodatkom 10% ječmenog brašna, proizvedena na ekstruderu i sušena na 70 °C.

Tjestenina proizvedena na laboratorijskoj preši imala je niže optimalno vrijeme kuhanja u usporedbi sa tjesteninom proizvedenom na laboratorijskom ekstruderu pri svim udjelima ječmenog brašna i svim ispitanim temperaturama sušenja. Razlog tomu bi mogao biti u slabijoj mehaničkoj energiji upotrjebljenoj tijekom procesa proizvodnje, a samim tim se dobije manje kompaktan proizvod, kojem je potrebno manje vremena za potpunu želatinizaciju (BeMiller i Whistler, 2009.). Glutenska mreža je slabija kod uzoraka s preše, što pokazuje i određivanje tvrdoće uzoraka. Rezultati su pokazali da uzorci tjestenine sušeni na nižoj temperaturi (50 °C) zahtijevaju više vremena za potpunu želatinizaciju od uzoraka sušenih na 70 i 90 °C (**Slika 23C**).

5.2.3. Gubitak kuhanjem

Utjecaj dodatka ječma na gubitak suhe tvari kuhanjem prikazan je u **Tablici 13**. Udio ječmenog brašna pokazao se kao statistički značajan faktor pri određivanju gubitka suhe tvari kuhanjem. Uz neke iznimke, općenito se može reći da se povećanjem udjela brašna ječma u tjestenini povećao i gubitak kuhanjem. Slične rezultate dobili su i Chillo i sur. (2011.) koji su u svom radu koristili koncentrat β-glukana, Aydin i Gocmen (2011.) koji su tjesteninu obogatili zobenim brašnom, dok su Aravind i sur. (2012.) utvrdili da dodatak koncentrata β-glukana (engl. *barley balance*, BB) nema statistički značajan utjecaj na gubitak kuhanjem uzoraka tjestenine.

Slika 24A prikazuje statističku značajnost utjecaja dodatka ječmenog brašna svih uzoraka, neovisno o uvjetima proizvodnje, na gubitak kuhanjem. Dodatak od 30, 40 i 50% ječmenog brašna statistički značajno utječe na povećanje gubitka kuhanjem uzoraka u odnosu na uzorak od durum krupice. Razlog povećanja gubitka kuhanjem leži u mreži proteina. Dodatkom ječmenog brašna nastaje slabija i diskontinuirana mreža proteina koja ima manju sposobnost zadržavanja suhe tvari tijekom kuhanja, te dolazi do izlaženja suhe tvari u vodu i povećanja ljepljivosti tjestenine (Chillo i sur., 2011.).

Uzorci proizvedeni na ekstruderu su pokazali manji gubitak kuhanjem u usporedbi s uzorcima s preše (**Slika 24B**). Tijekom procesa proizvodnje tjestenine na ekstruderu upotrijebljena je veća sila u usporedbi s proizvodnjom na preši, te nastaje kompaktnija mreža proteina koja bolje zadržava suhu tvar tijekom kuhanja. **Slika 24C** prikazuje utjecaj temperature sušenja na gubitak kuhanjem uzoraka. Temperatura se pokazala kao statistički značajan faktor za gubitak kuhanjem i povećanjem temperature sušenja, gubitak kuhanjem se smanjuje. Isti učinak

temperature sušenja utvrdio je i Zweifel (2001.) u istraživanju utjecaja visoke temperature na strukturalna i teksturalna svojstva tjestenine od durum krupice. Razlog smanjenja gubitka kuhanjem povećanjem temperature sušenja je u nastanku jače proteinske mreže i povećane denaturacije proteina. Denaturacijom proteina učvršćuje se glutenska mreža i smanjuje se izlazak suhe tvari tijekom kuhanja (Zweifel, 2001.).

5.2.4. Indeks apsorpcije vode

Indeks apsorpcije vode uzoraka tjestenine s dodatkom ječmenog brašna proizvedenih na ekstruderu i preši i sušenih na tri temperature (50, 70 i 90 °C) prikazan je u **Tablici 14**. Dodatak ječma nije se pokazao kao statistički značajan faktor za indeks apsorpcije vode, iako se može zamijetiti pad indeksa apsorpcije s povećanjem udjela ječmenog brašna (**Slika 25A**). Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima dobivenim u istraživanju Aravind i sur. (2012.) koji su koristili praškasti izolat β-glukana (engl. *barley balance*, BB) za obogaćivanje tjestenine. Navedeni autori dodavali su BB u udjelima od 7, 5, 15 i 20% te su utvrdili sniženje apsorpcije vode s povećanjem udjela BB.

Temperatura sušenja se pokazala kao značajan faktor za apsorpciju vode uzoraka. Statistički značajna razlika uočava se kod uzoraka sušenih na 50 i uzoraka sušenih na 70 i 90 °C, dok između 70 i 90 °C nije zamijećena statistički značajna razlika (**Slika 25B**). Više temperature utječu na nastanak snažnije glutenske mreže, a pretpostavka je da se slabija glutenska mreža nedovoljno isprepliće s β-glukanima i uzrokuje nastanak slabe strukture u kojoj škrob lakše bubri.

Utjecaj vrste uređaja na indeks apsorpcije uzoraka prikazan je na **Slici 25C**. Iz rezultata je vidljivo da uzorci proizvedeni na preši imaju viši indeks apsorpcije vode u usporedbi s uzorcima proizvedenim na ekstruderu. Razlog može biti u glutenskoj mreži, tijekom proizvodnje na ekstruderu nastaje kompaktnija i čvršća glutenska mreža u odnosu na proizvodnju na preši, što se odražava na sposobnost apsorpcije vode i indeks bubrenja uzoraka.

Dobiveni rezultati nisu u skladu s rezultatima Foschia i sur. (2015.) koji su ispitivali utjecaj dodatka prehrambenih vlakana na kakvoću tjestenine, a rezultati istraživanja pokazali su porast indeksa apsorpcije s povećanjem udjela vlakana u uzorcima. Objašnjenje za ovu razliku u rezultatima se pripisuje vrsti dodatka. Foschia i sur. (2015) dodavali su isključivo vlakna, dok je u ovom istraživanju korišteno brašno cjelovitog zrna ječma koje sadrži i škrob, kao i vrsti proizvedene tjestenine. Foschia i sur. (2015) ispitivali su svježu tjesteninu, dok je u ovom istraživanju ispitana sušena.

5.2.5. Indeks bubrenja tjestenine

Indeks apsorpcije vode i indeks bubrenja tjestenine u međusobnom su odnosu, te se iz rezultata prikazanih u **Tablici 15** može primijetiti sličnost između ta dva parametra. S porastom udjela ječma u uzorcima, vidljiv je pad indeksa bubrenja tjestenine, slično kao i indeksa apsorpcije vode. Aravind i sur. (2012.) također su dobili slične rezultate dodavajući β-glukan u tjesteninu. Tudorică i sur. (2002.) utvrdili su da dodatak inulina utječe na smanjenje indeksa bubrenja tjestenine. Smanjenje indeksa bubrenja može se objasniti visokom hidrofilnosti inulina, radi čega većinom inulin apsorbira vodu i tim je smanjeno bubrenje škroba (Brennan i sur., 2004.). Na sličan način mogu djelovati i topljiva vlakna ječma.

Iz rezultata na **Slici 26A** vidljivo je da dodatak ječmenog brašna u udjelima 10% i 20% ima značajan utjecaj na pad indeksa bubrenja tjestenine, dok daljnje povećanje udjela ječmenog brašna do 50% nema statistički značajan utjecaj.

Slika 26B prikazuje utjecaj vrste uređaja na indeks bubrenja i vidljivo je da uzorci proizvedeni na preši imaju viši indeks bubrenja u odnosu na uzorke proizvedene na ekstruderu. Temperatura se pokazala kao statistički značajan faktor za indeks bubrenja. Povišenjem temperature sušenja, indeks bubrenja opada, značajniji pad je između 70 i 90, nego između 50 i 70 °C (**Slika 26C**). Navedena razlika može se objasniti nastankom kompaktnije glutenske mreže tijekom sušenja pri 90 °C nego pri nižim temperaturama, a koja utječe na smanjenje mogućnosti škroba da apsorbira vodu.

5.2.6. Tekstura uzoraka kuhane tjestenine

Tekstura kuhane tjestenine bitan je parametar kakvoće, a ovisi o uvjetima kuhanja (Manthey i Dick, 2012.). Prihvatljivost za potrošače uvelike ovisi o teksturalnim parametrima. Tjestenina je namirnica koja se većinom konzumira u kratkom periodu nakon kuhanja, te dobru tjesteninu karakterizira visok stupanj tvrdoće i elastičnosti, a uobičajeni naziv za te odlike je „al dente“ (Sozer i sur., 2007.).

U **Tablici 16** prikazani su rezultati određivanja tvrdoće uzoraka kuhane tjestenine. Iz tablice je vidljivo da dodatak brašna ječma smanjuje tvrdoću uzoraka kuhane tjestenine, a povišenje temperature sušenja povisuje tvrdoću. Uzorci proizvedeni na ekstruderu imaju višu tvrdoću u usporedbi s uzorcima proizvedenim na preši.

Slika 27A prikazuje utjecaj dodatka brašna ječma na tvrdoću uzoraka, neovisno na kojem uređaju su proizvedeni ili pri kojoj temperaturi sušeni. Iz slike je vidljivo da tvrdoća uzoraka opada s povećanjem udjela brašna ječma. Uzorci s 0 i 10% ječmenog brašna statistički se ne razlikuju međusobno, a vidljiva je značajna razlika od uzorka s 20% ječmenog brašna i uzoraka

s 30, 40 i 50% ječmenog brašna. Između uzoraka s 40 i 50% ječmenog brašna također nema statistički značajne razlike, a uzorak s 30% gotovo se neznatno razlikuje od uzorka s 50% ječmenog brašna. Razlog je u nastaloj glutenskoj mreži, koja slabi dodatkom brašna iz cijelog zrna ječma (West i sur., 2013.).

Slika 27C prikazuje utjecaj temperature sušenja na tvrdoću uzoraka i iz slike je vidljivo da je temperatura značajan faktor za parametar tvrdoća. Tvrdoća pri sve tri temperature statistički se značajno razlikuje, a s porastom temperature sušenja raste i tvrdoća uzoraka, te su uzorci sušeni na 90 °C najtvrđi. Slične rezultate dobili su i ostali autori (Zweifel i sur., 2003.; Cubadda i sur., 2007.; Lamacchia i sur., 2007.; West i sur., 2013.), koji su u istraživanju došli do zaključka da se tvrdoća uzoraka tjestenine povećava upotrebom viših temperatura sušenja. Povišenjem temperature sušenja dolazi do nastanka kompaktnije mreže glutena koja utječe na povećanje tvrdoće uzoraka. Na **Slici 27B** može se vidjeti utjecaj uređaja na tvrdoću uzoraka, te je iz rezultata vidljivo da su uzorci proizvedeni na ekstruderu imali veću tvrdoću u usporedbi s uzorcima proizvedenim na preši. Jačina nastale glutenske mreže i ovdje ima utjecaj, te je vidljivo da na ekstruderu dolazi do nastanka jače mreže glutena i kompaktnije strukture tjestenine u usporedbi s prešom.

Adhezivnost kuhane tjestenine pokazuje koliko je tjestenina ljepljiva, a u izravnoj je vezi s udjelom i stupnjem želatinizacije škroba (Sozer i sur., 2007.). **Tablica 17** prikazuje rezultate određivanja adhezivnosti uzoraka kuhane tjestenine. Iz tablice je vidljivo da uzorci sušeni na 90 °C imaju nižu adhezivnost od uzoraka sušenih na 50 ili 70 °C, a uzorci proizvedeni na ekstruderu pokazuju manju adhezivnost od uzoraka proizvedenih na preši.

Utjecaj udjela ječma na adhezivnost prikazana je na **Slici 28A**. Iz slike je vidljivo da se adhezivnost smanjuje s povećanjem udjela ječma, osim kod uzorka s 20% ječmenog brašna, koji se statistički značajno razlikuje od ostalih uzoraka. Slično je i kod tvrdoće, gdje se također uzorak s dodatkom 20% brašna ječma isticao među ostalim uzorcima. Chillo i sur. (2008.b) su dobili slične rezultate tijekom određivanja adhezivnosti uzoraka tjestenine obogaćene brašnom heljde i mekinja, te su utvrdili da gotovo da i nema statistički značajne razlike između uzoraka s dodatkom 10, 15 i 20% brašna heljde i mekinja. Prehrambena vlakna pokazuju pozitivan utjecaj na adhezivnost uzoraka te bi to mogao biti razlog radi kojeg nema značajne razlike između uzoraka s dodatkom brašna ječma (Chillo i sur., 2008.b). Chillo i sur. (2011.a) su dobili slične rezultate u svom istraživanju prilikom ispitivanja kakvoće tjestenine s dodatkom β-glukana. Utjecaj temperature sušenja na adhezivnost uzoraka prikazana je na **Slici 28C**. Povišenjem temperature sušenja, adhezivnost uzoraka se smanjuje, te je iz rezultata vidljivo da postoji statistički značajna razliku između sve tri temperature sušenja. Smanjenje adhezivnosti povišenjem temperature je povezano s nastankom jače glutenske mreže koja sprječava izlazak amiloze iz strukture i samim tim je smanjena površinska ljepljivost uzoraka

(Sozer i sur., 2007.). **Slika 28B** prikazuje utjecaj vrste uređaja na adhezivnost i vidljivo je da uzorci proizvedeni na ekstruderu imaju nižu adhezivnost u usporedbi s uzorcima proizvedenim na preši, što je također vezano uz nastalu glutensku mrežu.

Kohezivnost je parametar koji pokazuje koliko se dobro struktura tjestenine može održati tijekom kuhanja (Sozer i sur., 2007.). Kohezivnost uzoraka kuhane tjestenine prikazana je u **Tablici 18**. Iz rezultata je vidljivo da uzorci tjestenine sušeni na 90 °C imaju veću kohezivnost u usporedbi s uzorcima sušenim na 50 i 70 °C.

Slika 29A prikazuje utjecaj udjela brašna ječma na kohezivnost uzoraka. Vidljivo je da između uzoraka s 0, 10 i 30% brašna ječma nema statistički značajne razlike, kao i između uzoraka s 20, 40 i 50% brašna ječma, dok između te dvije grupe uzoraka postoji statistički značajna razlika, pri čemu je kohezivnost uzoraka s 20, 40 i 50% ječmenog brašna viša. Utjecaj temperature sušenja na kohezivnost je prikazan na **Slici 29C**. Vidljivo je da povišenjem temperature sušenja, kohezivnost uzoraka raste i postoji statistički značajna razlika između sve tri temperature sušenja. Vrsta uređaja također značajno utječe na kohezivnost, što je vidljivo sa **Slike 29B**. Uzorci tjestenine proizvedeni na ekstruderu pokazuju veću kohezivnost od uzoraka s preše. Ovi rezultati potvrđuju nastanak jače glutenske mreže proizvodnjom tjestenine na ekstruderu (Sozer i sur., 2007.).

5.2.7. Mikrostruktura sirovina, uzoraka sušene i kuhane tjestenine

Slika 30 prikazuje snimku sirovina durum krupice (DK) (A, C, E) i ječmenog brašna (JB) (B, D, F) skenirajućim elektronskim mikroskopom uz povećanje od 50, 1000 i 2000 puta. Pri povećanju od 50 puta može se vidjeti razlika između DK i JB, čestice DK su poliedri oštrih rubova, dok su rubovi čestica JB zaobljeni, ovalnog do okruglastog oblika. Ovi oblici karakteristični su i za škrobove iz navedenih žitarica (Ačkar, 2010; Carciofi et al., 2012). Sličan oblik čestica krupice uočili su i Matsuo i sur. (1978.) ispitujući mikrostrukturu durum krupice. Pri povećanju 1000 puta mogu se uočiti velike A granule i male B granule škroba, te proteinski matriks koji okružuje granule. Vidljivo je da DK sadrži veći broj velikih granula škroba u odnosu na JB. I pšenični i ječmeni škrob sastoje se od velikog broja B- i malog broja A-granula, no granule pšeničnog škroba veće su od ječmenog (BeMiller i Whistler, 2009.). Također se mogu uočiti oštećene granule škroba u DK. Ječam je bio samljeven na manju granulaciju, te je veće oštećenje unutar komponenti zrna, što se i vidi iz rezultata stupnja oštećenja škroba (**Slika 51**). Pri povećanju 2000 puta, razlike između mikrostrukture DK i JB su još uočljivije, kao i razlike u veličini granula škroba tipa A (25-40 μm kod pšenice, 10 – 30 μm kod ječma) i tipa B (5-10 μm kod pšenice, < 6 μm kod ječma) (Petitot, 2009.).

Mikrostruktura uzoraka sušene tjestenine pri 50, 70 i 90 °C bez dodatka JB prikazana je na **Slici 31**, a s dodatkom 50% JB na **Slici 32**. Sa slika se može uočiti razlika između temperatura sušenja i uređaja na kojem je tjestenina proizvedena.

Mikrostruktura uzoraka sušene tjestenine bez dodatka ječmenog brašna (**Slika 31**) pokazuje da je ekstruzija u kombinaciji sa srednjim i visokim temperaturnim režimom sušenja utjecala na škrobne granule (**Slika 31A, C, E**) koje pucaju te škrob izlazi iz njih, želatinizira i ulazi u različite interakcije (škrob-protein, škrob-lipid, škrob-škrob kompleksi). Kod uzoraka proizvedenih na preši pucanje škrobnih granula značajno je manje čak i kod uzoraka osušenih u visokom temperaturnom režimu (**Slika 31 B, D, F**), ali je došlo do djelomičnog bubrenja škrobnih granula, što se vidi iz usporedbe sa **Slikom 30C**. Kod uzoraka s dodatkom 50% JB također se uočava isti trend – kod ekstrudiranih uzoraka s povišenjem temperature sušenja smanjuje se broj cjelovitih škrobnih granula, ali se uočavaju male škrobne granule, koje vjerojatno potječu od ječma (B-tip granula), dok kod uzoraka s preše dolazi do djelomičnog bubrenja granula.

Ovi rezultati mogu se povezati i s povećanjem maksimalne viskoznosti uzoraka (**Tablica 30**), gdje se uočava da je maksimalna viskoznost uzoraka proizvedenih na ekstruderu viša od maksimalne viskoznosti uzoraka s preše, kao i povratnim efektom („setback“) (**Tablica 32**) koji pokazuje da su uzorci s ekstrudera značajno skloniji retrogradaciji, zahvaljujući većem stupnju želatinizacije škroba. Promatra li se utjecaj temperature na maksimalnu viskoznost uzoraka tjestenine bez dodatka JB, uočava se da ona raste od 50 °C na 70 °C, a zatim se smanjuje. Ovaj trend može se povezati s bubrenjem škrobnih granula – viskoznost škrobne paste najviša je kada su granule maksimalno nabubrene, a opada nakon njihovog pucanja. Kod uzoraka s dodatkom 50% JB maksimalna viskoznost opada s povišenjem temperature sušenja, što je u skladu s rezultatima SEM analize, koja pokazuje da su granule najviše nabubrile kod uzoraka sušenih na 50 °C (**Slika 32B, D, E**). Stupanj oštećenja škroba (**Tablica 23**) također je viši kod uzoraka proizvedenih na ekstruderu, što se također može povezati s rezultatima SEM analize.

Kod uzoraka proizvedenih na preši vidljive su slabije uklopljene granule škroba u proteinski matriks, što ima utjecaj na prije spomenute parametre optimalno vrijeme kuhanja, gubitak kuhanjem, tvrdoću. Uzorci s preše su pokazali niže vrijednosti optimalnog vremena kuhanja (**Slika 23B**) te veći gubitak kuhanjem (**Slika 24B**) u odnosu na uzorke s ekstrudera. I ovi se parametri mogu povezati sa želatinizacijom škroba – škrob koji je želatinizirao oslobođen je iz granula (**Slike 31 i 32**) i lako ulazi u reakcije kompleksiranja s lipidima i proteinima, što rezultira stvaranjem spojeva za koje je potrebno daleko više energije. Škrob koji je ostao u granulama tijekom kuhanja tek ulazi u proces želatinizacije te je manje izražen utjecaj prethodno navedenih kompleksa na vrijeme kuhanja.

Kuhanjem tjestenine dolazi do potpune želatinizacije škroba i stvaranja jedinstvene mreže s proteinima (**Slike 33** i **34**). **Slika 33** prikazuje uzorke kuhane tjestenine bez dodatka JB, sušene pri 50 i 90 °C. Na slici su vidljiva mjesta gdje su „iscurile“ granule škroba, te je nakon tog ostao prazan prostor. Pri temperaturi sušenja od 50 °C, takvih praznih mjesta je više u odnosu na uzorke kuhane tjestenine sušene pri 90 °C. Kod uzoraka tjestenine proizvedene na ekstruderu vidljivo je manje slobodnih prostora u odnosu na uzorke s preše, što je također povezano s manjim gubitkom kuhanjem uzoraka s ekstrudera (**Slika 24B**).

Slika 34 prikazuje uzorke kuhane tjestenine s dodatkom 50% JB, sušene pri 50 i 90 °C. Kao i kod uzoraka bez dodatka JB, i ovdje su vidljivi slobodni prostori gdje su prije kuhanja bile granule škroba. Uzorci sušeni na 90 °C imaju znatno manje slobodnih prostora, što je u skladu s rezultatima gubitka kuhanjem (**Tablica 13, Slika 24**).

5.3. Kemijska svojstva

5.3.1. Osnovni kemijski sastav

Osnovni kemijski sastav sirovina prikazan je u **Tablici 19**. Određen je udio vode, mineralnih tvari, proteina, masti i škroba u sirovinama i iz rezultata je vidljiva statistički značajna razlika u udjelu navedenih parametara između durum krupice i brašna ječma. Brašno ječma je dobiveno mljevenjem cijelog zrna, te je stoga imalo statistički značajno veći ($p<0,05$) udio mineralnih tvari, proteina i masti, a niži udio škroba u odnosu na durum krupicu.

Tablica 20 prikazuje rezultate određivanja udjela vode u uzorcima sušene tjestenine. Osim kod uzoraka sušenih na 50 °C, udio vode u uzorcima proizvedenim na ekstruderu bio je niži u odnosu na uzorke proizvedene na preši. Početna vlažnost zamjesa bila je niža kod uzoraka proizvedenih na ekstruderu, u ekstruderu dolazi do jačeg smicanja i zagrijavanja materijala pa je uslijed kombinacije navedenih faktora bila i niža vlažnost tjestenine na izlazu iz uređaja (rezultati nisu prikazani u radu), koja je utjecala na konačni rezultat nakon sušenja.

Kod uzoraka sušenih na 50 °C odstupanje od ovog trenda može se objasniti statistički značajnom razlikom u udjelu topljivih vlakana (**Slika 36A**) uzoraka proizvedenih na ekstruderu i preši pa su vjerojatno topljiva vlakna vezala vodu u uzorku, pa temperatura 50 °C nije bila dovoljna da se ona sušenjem izdvoji.

Kod tjestenine proizvedene na ekstruderu uočava se trend sniženja vlažnosti suhe tjestenine s povišenjem temperature sušenja, dok kod uzoraka s preše taj trend nije izražen.

Udio brašna ječma nema značajan utjecaj na udio vode kod većine uzoraka. Chillo i sur. (2011.a) su dobili slične rezultate tijekom ispitivanja dodatka β-glukana, te su rezultati pokazali da dodatak β-glukana nema značajan utjecaj na udio vode uzoraka tjestenine.

5.3.2. Udio topljivih, netopljivih i ukupnih prehrambenih vlakana

Prehrambena vlakna su dijelovi biljke koji nisu podložni djelovanju probavnih enzima ljudskog probavnog sustava, te ih on ne može probaviti, a sastoje se od polisaharida (celuloza, hemiceluloza, oligosaharidi, pektini), lignina i sličnih sastojaka kao primjerice kutin. Prema topljivosti u vodi, ukupna prehrambena vlakna (UV) mogu se podijeliti na topljiva (TV) i netopljiva (NV) prehrambena vlakna, a svaka vrsta ima drugačiju fiziološku ulogu u ljudskom zdravlju (Vasanthan i sur., 2002.).

Udio NV, TV i UV u sirovinama prikazan je na **Slici 35**. Ječam sadrži značajno veći udio NV, TV i UV u odnosu na durum krupicu. Ječam je, prema literaturnim podacima, poznat kao žitarica s povećanim udjelom β-glukana u odnosu na druge žitarice, te se upravo radi tog u ovom istraživanju koristio ječam za proizvodnju nutritivno obogaćene tjestenine. Stanična stijenka endosperma ječma sadrži oko 75% β-glukana i 20% arabinoksilana, a stijenka aleuronskog sloja sadrži oko 26% β-glukana i 71% arabinoksilana. β-glukani i dio arabinoksilana spadaju u topljiva prehrambena vlakna. Od ostalih vlakana, mali postotak se odnosi na celulozu, glukomanan i (1→3)-β-glukan (Vasanthan i sur., 2002., Knutsen i Holtekjølen, 2006.). Durum krupica sadrži podjednaki udio NV i TV, a ječam sadrži značajno veći udio NV u odnosu na TV.

Slika 36 prikazuje utjecaj dodatka ječmenog brašna na udio TV, NV i UV uzoraka tjestenine sušenih na 50 °C. Povećanjem udjela ječma u uzorcima tjestenine, povećao se udio TV, NV i UV u uzorcima tjestenine s ekstrudera i preše. Dobiveni rezultati u skladu su s očekivanjima. Uzorci s ekstrudera su pokazali nešto veće vrijednosti udjela TV u odnosu na uzorke s preše (**Slika 36A**), dok su uzorci s preše pokazali nešto veće vrijednosti NV (**Slika 36B**). Moguće je da se u uzorcima s ekstrudera, radi više temperature i većeg tlaka tijekom ekstruzije, dio NV transformirao u TV (Vasanthan i sur., 2002.). Proces proizvodnje nije imao značajan utjecaj na udio ukupnih vlakana.

Udio TV, NV i UV uzoraka tjestenine sušenih na 70 °C prikazuje **Slika 37**. Udio TV smanjio se s povećanjem temperature sušenja s 50 na 70 °C. Vidljivo je, također, da povećanjem udjela brašna ječma, raste udio TV kod uzoraka s ekstrudera i preše. Udio TV je značajno viši kod uzoraka s 20 i 30% ječmenog brašna (JB) s ekstrudera u odnosu na uzorke s preše, dok je kod ostalih udjela JB razlika neznatna, a uzorak s 50% JB proizveden na preši ima značajno veći udio TV u odnosu na uzorak s istim udjelom JB s ekstrudera.

Utjecaj vrste uređaja nije se pokazao kao značajan faktor za udio NV uzoraka tjestenine sušenih na 70 °C. Statistički se značajno razlikuju jedino uzorci s 10% JB kod kojih je uzorak s preše imao značajno veći udio NV u odnosu na uzorak s ekstrudera. Povišenjem temperature sušenja s 50 na 70 °C, kao i udjela JB, raste udio NV kod uzoraka.

Udio UV u uzorcima sušenim na 70 °C prikazan je na **Slici 37C** i iz rezultata je vidljivo da je udio UV viši od uzoraka tjestenine sušenih na 50 °C. Utjecaj vrste uređaja ne pokazuje značajan utjecaj na udio UV, a povećanjem udjela JB, povećava se i udio UV, osim kod uzoraka s 0 i 10% JB, uzoraka s 30 i 40% JB proizvedenih na ekstruderu, te uzoraka s 10 i 20% JB proizvedenih na preši. Kod navedenih uzoraka nema značajne razlike u udjelu UV.

Slika 38 (A, B i C) prikazuje rezultate udjela TV, NV i UV uzoraka tjestenine sušenih na 90 °C. Sa **Slike 38A** je vidljivo da se udio TV značajno smanjio povišenjem temperature sušenja na 90 °C. Povećanjem udjela JB, povećavao se udio TV u uzorcima. Vrsta uređaja nije pokazala značajan utjecaj na udio TV uzoraka. Povišenjem temperature sušenja, kao i udjela JB, udio NV u uzorcima se povećao. Vrsta uređaja se ni u ovom slučaju nije pokazala kao značajan faktor za udio NV. Udio UV proporcionalno se povećava s povećanjem udjela JB u uzorcima. Uzorci proizvedeni na preši su pokazali malo veći udio UV u odnosu na uzorke s ekstrudera. Razlika u udjelu UV veća je što je veći udio JB u uzorcima, te je tako dodatak JB u udjelu 30, 40 i 50%, značajno povećao udio UV kod uzoraka s preše u odnosu na uzorke s ekstrudera. Očito je da visoka temperatura tijekom ekstruzije i sušenja u kombinaciji s visokim tlakom u ekstruderu rezultiraju promjenama na topljivim prehrambenih vlakana.

Slika 39 prikazuje utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio TV u uzorcima tjestenine. Povećanjem udjela JB u uzorcima, proporcionalno se povećava udio TV, a najznačajniji porast je vidljiv kod uzorka s 50% JB (**Slika 39 A i C**). Najveći udio TV imao je uzorak tjestenine s udjelom 50% JB, proizveden na ekstruderu, sušen na 50 °C te je on iznosio 5,55±0,16, dok je najmanji udio bio kod uzorka bez dodatka JB, s ekstrudera, sušenog na 90 °C i on je iznosio 0,39±0,04. Iz rezultata je vidljivo da vrsta uređaja nema značajan utjecaj na udio TV uzoraka (**Slika 39B**), a temperatura sušenja predstavlja značajan faktor za udio TV, te se povećanjem temperature smanjuje udio TV uzoraka (**Slika 39C**).

Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio NV uzoraka, prikazan je na **Slici 40**. Iz rezultata je vidljivo da se udio NV proporcionalno povećava povećanjem udjela JB (**Slika 34A**). Najveći udio NV imao je uzorak s 50% JB, proizveden na preši, sušen na 90 °C, a udio je iznosio 7,37±0,17, dok je najmanji udio imao uzorak bez dodatka JB, proizveden na ekstruderu, sušen na 50 °C, te je on iznosio 1,10±0,06. Vrsta uređaja se pokazala kao značajan faktor za udio NV, što je vidljivo sa **Slike 34B**. Uzorci proizvedeni na preši imali su značajno veći udio NV u odnosu na uzorke s ekstrudera. Moguće je da je došlo do

transformacije malog dijela NV u TV kod uzoraka proizvedenih na ekstruderu uslijed većeg tlaka i temperature samog procesa, što je vidljivo na **Slici 39B**. Vidljivo je da uzorci s ekstrudera pokazuju veći udio TV, iako razlika nije statistički značajna. Značajniji utjecaj na udio NV pokazuje temperatura sušenja uzoraka (**Slika 40C**). Statistički značajna razlika postoji između sve tri temperature sušenja, te se može uočiti da udio NV raste s povišenjem temperature sušenja uzoraka.

Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio UV uzoraka prikazuje **Slika 41**. Udio ječma se pokazao kao značajan faktor utjecaja na udio UV uzoraka, te se udio UV proporcionalno povećavao s povećanjem udjela JB (**Slika 41A**). Najveći udio UV imao je uzorak s 50% JB, proizveden na preši, sušen na 90 °C, a najmanji uzorak bez dodanog JB, sušen na 90 °C, proizveden na ekstruderu i preši (2,82±0,12 i 2,82±0,26). Vrsta uređaja nema značajan utjecaj na udio UV, iako se može uočiti da uzorci s ekstrudera imaju manji udo UV u odnosu na uzorke s preše (**Slika 41B**). **Slika 41C** prikazuje utjecaj temperature sušenja na udio UV u uzorcima, te je vidljivo da sušenje na 70 °C značajno utječe na povećanje udjela UV u odnosu na sušenje na 90 °C, dok između sušenja na 50 °C i 90 °C nema statistički značajne razlike.

Jedan od ciljeva istraživanja bio je proizvesti tjesteninu koja bi mogla zadovoljiti prehrambene i zdravstvene tvrdnje Pravilnika o prehrambenim i zdravstvenim tvrdnjama (MZSS, 2010.) kojim je definirano da je neka hrana izvor vlakana ukoliko sadrži najmanje 3 g vlakana na 100 g proizvoda, odnosno visoko bogata vlaknima ukoliko sadrži najmanje 6 g vlakana na 100 g proizvoda. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da se za uzorke sušene tjestenine s dodatkom 30, 40 i 50% JB (osim uzorka s 30% JB proizvedenog na ekstruderu, sušenog na 90 °C za kojeg se može koristiti tvrdnja da je izvor vlakana) bez obzira na kojem su uređaju proizvedeni i pri kojoj temperaturi sušeni, može koristiti tvrdnja da su visoko bogati vlaknima. Za sve uzorke, osim uzoraka s 0 i 10% JB s ekstrudera i uzorka s 0% JB s preše, sušenih na 90 °C, može se koristiti tvrdnja da su izvor vlakana.

Udio topljivih, netopljivih i ukupnih prehrambenih vlakana u uzorcima kuhane tjestenine sušene pri 50 °C prikazan je na **Slici 42**. U odnosu na sušenu tjesteninu, vidljiv je porast u udjelu netopljivih vlakana, te je razlika u udjelu topljivih-netopljivih vlakana malo viša kod uzoraka sušene tjestenine. Utjecaj ječma na udio TV, NV i UV, slijedi jednak trend kao i kod uzoraka sušene tjestenine, te se najveći udio pojedinih vlakana može vidjeti kod uzoraka s 50% dodanog JB. Uzorci proizvedeni na preši pokazuju nešto veći udio vlakana u odnosu na uzorke s ekstrudera.

Slika 43 prikazuje udio TV, NV i UV uzoraka kuhane tjestenine sušene pri 70 °C, a **Slika 44** udio TV, NV i UV uzoraka kuhane tjestenine sušene pri 90 °C. Iz rezultata je vidljivo da je kod

obje temperature sušenja, udio NV nešto veći od udjela TV, a udio pojedinih vlakana proporcionalno raste s povećanjem udjela JB u uzorcima. Udio NV i UV je nešto viši kod uzoraka s preše u odnosu na uzorke s ekstrudera.

Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio TV u uzorcima kuhane tjestenine prikazan je na **Slici 45A**, **B** i **C**. Udio ječma i vrsta uređaja su se pokazali kao značajni faktori, dok se temperatura sušenja nije pokazala kao značajan faktor za udio TV. Udio TV gotovo linearno raste s povećanjem udjela JB, a uzorci s ekstrudera su imali veće vrijednosti TV u odnosu na uzorke s preše.

Slika 46A, **B** i **C** prikazuje utjecaj gore navedenih čimbenika na udio NV, te je vidljivo da su i kod NV, udio ječma i vrsta uređaja značajni faktori utjecaja na udio NV, dok je temperatura sušenja značajna tijekom povišenja s 70 na 90 °C. Veće vrijednosti NV kod uzoraka sušenih na 90 °C, mogle bi biti posljedica nastanka rezistentnog škroba koji utječe na povišenje udjela NV u uzorcima. Uzorci s ekstudera su imali niži udio NV u odnosu na uzorke s preše.

Iz gore objašnjenog slijedi da udio UV u kuhanoj tjestenini značajno ovisi o udjelu ječma, što je vidljivo sa **Slike 47A**, vrsti uređaja (**Slika 47B**) te temperaturi sušenja od 90 °C, dok nema značajne razlike između temperature sušenja 50 i 70 °C (**Slika 47C**).

Dijetalna vlakna smjesa su topljivih i netopljivih polisaharida, neprobavljivih oligosaharida, kutina, suberina i lignina i sl. U realnim uzorcima, kakva je tjestenina, ovi spojevi tijekom proizvodnje i pripreme izloženi su utjecaju povišene temperature, tlaka, smanjenju i povećanju vlažnosti, uslijed čega može doći do cijepanja, stvaranja kompleksa s drugim spojevima prisutnima u sustavu (probavljivi ugljikohidrati, proteini, masti), prevođenja iz topljivog u netopljivi oblik i dr. Zbog kompleksnosti reakcija do kojih može doći, teško je objasniti trendove i odstupanja od trendova promjene TV, NV i UV tijekom proizvodnje i kuhanja tjestenine u ovom istraživanju.

5.3.3. Udio β-glukana u uzorcima tjestenine

Durum pšenica spada u žitaricu koja ne sadrži značajne količine β-glukana, dok ječam i zob spadaju među najvažnije izvore (Lee i sur., 1997.; Hozová i sur., 2007.). Udio β-glukana u osnovnim sirovinama za proizvodnju uzoraka tjestenine, durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB), prikazan je na **Slici 48**. Sa slike je vidljivo da se udio β-glukana statistički značajno razlikuje između DK i JB, te iznosi 0,27 za DK, odnosno, 5,15 g/100 g s. tv. za JB. Yokoyama i sur. (1997.) dobili su 0,2 g/100 g s. tv. β-glukana u durum krupici korištenoj u istraživanju, Sinesio i sur. (2008.) 0,4 g/100 g s. tv. β-glukana, a Aravind i sur. (2012.) 0,27% β-glukana u durum krupici, te je dobiveni rezultat iz ovog istraživanja u skladu s prethodnim istraživanjima.

Tablica 21 prikazuje udio β-glukana u sušenoj tjestenini. Iz rezultata se može vidjeti da udio β-glukana raste proporcionalno s povećanjem udjela JB u uzorcima. Kod svih uzoraka sušene tjestenine, bez obzira na kojem uređaju su proizvedeni ili pri kojoj temperaturi sušeni, vidljivo je statistički značajno povećanje udjela β-glukana. Najmanji udio β-glukana imao je uzorak bez dodatka JB, proizveden na preši, a sušen pri 50 °C, a najveći uzorak s 50% dodanog JB, proizveden na ekstruderu, a sušen pri 70 °C. Slične rezultate dobili su i Dexter i sur. (2004.), Aravind i sur. (2012.) i Sinesio i sur. (2008.) koji su ispitivali dodatak frakcija golozrnog ječma, brašno obogaćeno β-glukanima i ječmeno brašno.

Slika 49 prikazuje utjecaj udjela ječma (A), vrste uređaja (B) i temperature sušenja (C) na udio β-glukana uzoraka sušene tjestenine. Vidljiv je gotovo linearan porast udjela β-glukana s povećanjem udjela ječma (**Slika 49A**). Sinesio i sur. (2008.) također su pokazali da udio β-glukana proporcionalno raste s povećanjem udjela ječmenog brašna. Vrsta uređaja za proizvodnju tjestenine se pokazala kao statistički značajan faktor za udio β-glukana u uzorcima tjestenine što je vidljivo sa **Slike 49B**. Iz rezultata se može vidjeti da su uzorci s ekstrudera imali značajno veći udio β-glukana u odnosu na uzorke s preše. Do sada nije istražen utjecaj vrste uređaja na udio β-glukana, ali su Kanauchi i Bamforth (2001.) ispitivali utjecaj enzima na ekstrakciju β-glukana iz staničnih stijenki ječma. Nastanak kompaktnije strukture na ekstruderu može se vidjeti iz prikazanih rezultata sa **Slike 23B**, **24B**, **25B**, **26B**, **27B** i **29B** na kojima se vidi da su uzorci s ekstrudera pokazali duže optimalno vrijeme kuhanja, niži gubitak kuhanjem, niži indeks apsorpcije i bubrenja, veću tvrdoću i kohezivnost u odnosu na uzorke s preše. Navedeni parametri su povezani sa čvrstoćom nastale mreže koja zahtijeva duže vremena za želatinizaciju tijekom kuhanja, voda teže dopire do škroba i smanjeno je bubrenje granula škroba, daje veći otpor tijekom djelovanja sile i uzorak je bolje povezan – kohezivniji je. S druge strane, temperatura sušenja nije se pokazala kao značajan faktor za udio β-glukana (**Slika 49C**).

Udio β-glukana u uzorcima kuhane tjestenine prikazan je u **Tablici 22**. Vidljivo je da se uzorci statistički značajno razliku po udjelu β-glukana, osim uzoraka s 40 i 50% JB proizvedenih na ekstruderu, sušenih na 50 °C. Udio β-glukana proporcionalno raste s povećanjem udjela JB. Najveći udio β-glukana imao je uzorak s 50% JB, proizveden na ekstruderu, sušen na 90 °C, te je on iznosio 3,01±0,07, a najniži je imao uzorak proizveden pri istim uvjetima, ali bez dodatka JB, te je udio iznosio 0,18±0,00 β-glukana/100 g s. tv. Kuhanjem tjestenine, udio β-glukana se neznatno povećao, što je vidljivo ako se usporede rezultati iz **Tablice 21** s rezultatima iz **Tablice 22**. Do nastalog povećanja moglo je doći uslijed stvaranja novih veza između komponenti, ili uslijed slabljenja nastale mreže, te je tim omogućen pristup enzimima tijekom enzimske razgradnje uzorka pri određivanju udjela β-glukana. Povećanje udjela β-glukana u uzorcima kuhane tjestenine u odnosu na sušenu tjesteninu dobili su i

Aravind i sur. (2012.) koji su ispitivali utjecaj brašna obogaćenog β-glukanima na kakvoću tjestenine.

Slika 50A, **B** i **C** prikazuje statistički utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio β-glukana. Slično kao i kod uzoraka sušene tjestenine, i uzorci kuhane tjestenine su pokazali gotovo linearni porast udjela β-glukana s povećanjem udjela JB u uzorcima (**Slika 50A**). Ekstruder se i kod uzoraka kuhane tjestenine pokazao kao bolji uređaj za proizvodnju tjestenine jer su uzorci s ekstrudera pokazali značajno veći udio β-glukana u odnosu na prešu (**Slika 50B**). Kod uzoraka kuhane tjestenine, sušenjem na 90 °C dobije se značajno niži udio β-glukana u odnosu na sušenje pri 50 i 70 °C, između kojih nema statistički značajne razlike (**Slika 50C**), ali se uočava trend pada udjela β -glukana s povišenjem temperature sušenja. Dobiveni rezultati upućuju na to da sušenje u visokom temperaturnom režimu uzrokuje promjene na tjestenini (fizikalne i/ili kemijske prirode) koje se ne manifestiraju značajnim promjenama na β-glukanima u sušenoj tjestenini, ali utječu na promjene u dostupnosti β-glukana enzimima nakon kuhanja, tj. naknadne termičke obrade.

5.3.4. Stupanj oštećenja škroba

Stupanj oštećenja škroba sirovina prikazan je na **Slici 51**. Sa slike je vidljiv značajno veći udio oštećenog škroba u JB u odnosu na DK što je svakako posljedica procesa mljevenja. Ječam je samljeven na sitniju granulaciju od DK, što se vidi iz rezultata određivanja granulacije sirovina (**Slika 15**).

Tablica 23 prikazuje rezultate određivanja stupnja oštećenja škroba u uzorcima sušene tjestenine. Najveći stupanj oštećenja škroba imao je uzorak s 40% JB, proizveden na ekstruderu, sušen pri temperaturi 50 °C (11,13±0,22%), a najniži uzorak s 50% JB, proizveden na preši, a sušen pri 90 °C (7,12±0,01%). Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja bolje se vidi na **Slici 52A**, **B** i **C**. Povećanjem udjela JB, stupanj oštećenja škroba se linearno smanjuje od udjela 10% do udjela 30% JB, te od udjela 40 do udjela 50% JB. Statistički značajna razlika vidljiva je između uzoraka bez dodatka JB i uzoraka s 40 i 50% JB, te udjela 10, 20 i 30% JB (**Slika 52A**). Vrsta uređaja se pokazala kao statistički značajan faktor za stupanj oštećenja škroba uzoraka sušene tjestenine (**Slika 52B**). Uzorci s ekstrudera su pokazali značajno veći stupanj oštećenja škroba u odnosu na uzorke s preše. Oštećenost škroba se može vidjeti i na **Slikama 31** i **32** gdje je vidljiv veći broj netaknutih škrobnih granula u uzorcima s preše u odnosu na uzorke s ekstrudera. Utjecaj temperature sušenja na stupanj oštećenja škroba prikazan je na **Slici 52C**, te se može vidjeti da dolazi do pada stupnja oštećenja škroba s porastom temperature. Sličan utjecaj temperature sušenja na stupanj oštećenja škroba pokazali su Grant i sur. (1993.) koji su također utvrdili da su uzorci sušeni pri

nižem temperaturnom režimu imali veći stupanj oštećenja škroba u usporedbi s uzorcima sušenim pri višem temperaturnom režimu. Značajno sniženje stupnja oštećenja škroba je vidljivo između 50 i 70 i 50 i 90 °C, dok između 70 i 90 °C nema značajne razlike. Uzorci sušeni na 90 °C su bili izloženi utjecaju povišene temperature kraći vremenski period u odnosu na uzorke sušene na 70, te uzorke sušene na 50 °C, koji su bili najduže vrijeme izloženi utjecaju temperature, te bi to mogao biti razlog dobivenih rezultata smanjenja stupnja oštećenja škroba s povećanjem temperature sušenja. Drugi razlog može biti u samom principu na kojem se metoda određivanja stupnja oštećenja zasniva, a to je hidratacija molekula škroba, koje bubre i podliježu djelovanju enzima. Kompleksi škrob-lipid su u pravilu hidrofobni (iako postoje iznimke), a općenito je za hidrataciju kompleksa potrebno više energije, odnosno zahtijevaju temperature više od 100 °C, a primijenjena metoda radi se na 40 °C stoga veliki dio oštećenog i želatiniziranog škroba može ostati „maskiran“.

Tablica 24 prikazuje rezultate određivanja stupnja oštećenja škroba uzoraka kuhane tjestenine. Najveći stupanj oštećenja škroba imao je uzorak s 40% JB, proizveden na ekstruderu, sušen pri temperaturi 50 °C (14,92±0,28%), a najniži uzorak s 30% JB, proizveden na preši, a sušen pri 50 °C (9,86±0,03%). **Slika 53A**, **B** i **C** prikazuje utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na stupanj oštećenja škroba uzoraka kuhane tjestenine. Udio ječma značajan je faktor za uzorke s udjelom JB 0 i 30 i 0 i 50%, te 10 i 40% i 40 i 50%. Vidljiv je blagi pad vrijednosti stupnja oštećenja škroba s povećanjem udjela JB. **Slika 53B** prikazuje utjecaj vrste uređaja, te je vidljiva značajna razlika između dva uređaja. Uzorci s ekstrudera imali su značajno veće vrijednosti stupnja oštećenja škroba u odnosu na uzorke s preše. Uzorci s ekstrudera su trebali znatno više vremena kako bi bili skuhani do „al dente“ točke (**Slika 23B**) te je to vjerojatno razlog uslijed kojeg je došlo do većeg oštećenja škroba kod tih uzoraka. Temperatura sušenja se nije pokazala kao značajan faktor kod uzoraka kuhane tjestenine, ali se može zamijetiti da su uzorci sušeni na 90 °C imali nešto veći stupanj oštećenja škroba (**Slika 53C**).

Utvrđeni stupanj oštećenja škroba i u kuhanoj tjestenini je prilično nizak, što bi upućivalo na to da su granule škroba ostale netaknute. Iako je moguće da je zbog glutenske mreže hidratacija škroba otežana, do nje mora doći da bi tjestenina bila prihvatljiva za konzumiranje. Ovdje je također moguć utjecaj „ograničenja“ metode, čemu u prilog govori i smanjenje stupnja oštećenja s dodatkom ječma, s kojim se unose i škrob i lipidi i proteini koji mogu kompleksirati sa želatiniziranim škrobom i tako utjecati na njegovo „maskiranje“.

Nema dosad objavljenih istraživanja o utjecaju dodatka ječmenog brašna i vrsti uređaja na stupanj oštećenja škroba u uzorcima sušene i kuhane tjestenine, tako da rezultati ovog istraživanja doprinose budućim istraživanjima na tom području.

5.3.5. Antioksidativna aktivnost

Slika 54 prikazuje antioksidativnu aktivnost (AOA) sirovina, durum krupice (DK) i ječmenog brašna (JB). JB je imalo statistički značajno ($p<0,05$) višu antioksidativnu aktivnost u odnosu na DK. AOA JB iznosila je 6,93±0,11, a DK 2,29±0,08 mmol TE/100 g. Autori koji su istraživali AOA ječma Madhujith i sur. (2006.) su ispitivali AOA dvije sorte ječma, koristeći 80%-tni metanol za ekstrakciju, te su dobili 59,71 i 56,09 μmol TE/g. Yu i sur. (2013.) su ispitivali AOA brašna iz cijelog zrna i rafiniranog brašna pšenice te su zamijetili da su rafinirana brašna imala nešto veću AOA u odnosu na brašna iz cijelog zrna.

Tablica 25 prikazuje rezultate određivanja AOA uzoraka sušene tjestenine. Tijekom sušenja tjestenine dolazi do formiranja komponenti koje mogu utjecati na AOA; reakcije neenzimskog posmeđivanja daju produkte koji pokazuju AOA. Tijekom procesiranja namirnica dolazi do gubitka antioksidanata iz hrane (Hirawan, 2011.). Iz dobivenih rezultata je vidljivo da je najveću AOA imao uzorak s 50% dodanog JB, proizveden na ekstruderu, sušen na 70 °C (3,38±0,08 mmol TE/100 g), a najmanju uzorak bez dodanog JB, proizveden na istom uređaju i sušen pri istoj temperaturi (1,55±0,68 mmol TE/100 g). Vidljiv je blagi porast AOA s povećanjem udjela JB kod većine uzoraka, iako nije svugdje statistički značajan.

Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja prikazan je na **Slici 55A**, **B** i **C**. Sa **Slike 55A** je vidljivo da su svi udjeli ječma statistički značajno povećali AOA uzoraka sušene tjestenine u odnosu na uzorak bez dodatka ječma. Dodatak ječma je također utjecao i na povećanje udjela ukupnih polifenola koji, uz ostale komponente, utječu na AOA uzoraka (**Slika 58A**). Između udjela 20, 30, 40 i 50% ječma nije bilo statistički značajne razlike, dok je vidljiva razlika između 10 i 50% udjela ječma. Vrsta uređaja se nije pokazala kao statistički značajan faktor za AOA, ali je vidljivo da su uzorci s ekstrudera imali blago višu AOA u odnosu na uzorke s preše. Utjecaj temperature sušenja na AOA može se vidjeti na **Slici 55C**. Statistički značajan porast AOA je vidljiv povišenjem temperature sušenja s 50 na 70 °C, a daljnjim povišenjem na 90 °C, AOA pada u odnosu na 70 °C, te je nešto malo niža od AOA uzoraka sušenih na 50 °C. Pretpostavka dobivenog porasta i pada AOA je nastanak produkata neenzimskog posmeđivanja, koji povećavaju AOA uzoraka, povišenjem temperature sušenja s 50 na 70 °C, a pad je moguće razlog razgradnje komponenti tjestenine koje utječu na AOA, te samim tim se i AOA uzoraka tjestenine smanjio tijekom povišenja temperature na 90 °C. Moguće je i da se dio komponenti koje utječu na AOA vezao na proteine tijekom sušenja na 90 °C, te utjecao na sniženje AOA uzoraka tjestenine.

AOA uzoraka kuhane tjestenine prikazana je u **Tablici 26**. Pretpostavka je da kuhanjem dolazi do stvaranja određenih veza između komponenti tjestenine, a koje imaju utjecaja na AOA, jer

iz tablice nije vidljiv pad AOA u odnosu na uzorke sušene tjestenine. Moguće je da proces kuhanja nije imao utjecaj na produkte Maillardovih reakcija (melanoidini) (Hirawan, 2011.) Najvišu AOA imao je uzorak s 50% JB, proizveden na preši, a sušen na 90 °C (3,43±0,04 mmol TE/100 g), a najnižu je imao uzorak bez dodatka JB, proizveden na ekstruderu, a sušen pri 70 °C (1,57±0,07 mmol TE/100 g). Fares i sur. (2010.) također su utvrdili porast AOA u kuhanoj tjestenini u odnosu na sušenu.

Slika 56A, **B** i **C** prikazuje utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na AOA uzoraka kuhane tjestenine. Vidljivo je da dolazi do porasta AOA s povećanjem udjela ječma, slično kao i kod uzoraka sušene tjestenine. Svi udjeli ječma značajno utječu na povećanje AOA u odnosu na uzorak bez dodatka ječma, ali između svih udjela dodanog ječma nema značajne razlike. Za razliku od uzoraka sušene tjestenine, vrsta uređaja je ovdje pokazala značajan utjecaj na AOA, te su uzorci s ekstrudera imali značajno nižu AOA u odnosu na uzorke s preše. Temperatura sušenja se također pokazala kao značajan faktor za AOA, te je vidljivo da se povećanjem temperature sušenja, proporcionalno povećala AOA uzoraka kuhane tjestenine, te je ona najveća kod uzoraka sušenih na 90 °C. Moguće je da je došlo do oslobađanja produkata Maillardovih reakcija, nastalih tijekom sušenja pri visokim temperaturama, tijekom kuhanja uzoraka (Fares i sur., 2010.).

5.3.6. Udio ukupnih polifenola

Udio ukupnih polifenola u durum krupici (DK) i ječmenom brašnu (JB) prikazan je na **Slici 57**, te je za JB iznosio 1157,70±56,80 μg GAE/g, a za DK 886,15±16,15 μg GAE/g. Zhao i sur. (2008.) su istraživali udio ukupnih polifenola u 14 sorti ječma za proizvodnju piva, te su dobili raspon od 2,17 do 2,56 mg GAE/g. Dvořáková i sur. (2008.a) su dobili udio ukupnih polifenola u ječmu od 0,6 do 1,5 mg GAE/g nakon ekstrakcije vrućom vodom, a od 211 do 606 mg GAE/kg u ječmu uz ekstrakciju metanolom (Dvořáková i sur. 2008.b). Autori Đorđević i sur. (2010.) dobili su udio ukupnih polifenola u ječmu u iznosu od 16,4±0,04 mg GAE/g. Udio ukupnih polifenola u durum krupici određivali su Jonnala i sur. (2010.), dobili su 2200 μg GAE/g, a Abozed i sur. (2014.) su dobili 1,05 mg GAE/g ukupnih polifenola u durum krupici. Razlika u rezultatima između istraživanja je u vrsti ekstrakcije, tj. korištenom otapalu za esktrakciju ukupnih polifenola iz uzoraka.

Tablica 27 prikazuje udio ukupnih polifenola u uzorcima sušene tjestenine, a **Tablica 28** u uzorcima kuhane tjestenine. Vidljivo je da se kod sušene i kuhane tjestenine, udio ukupnih polifenola povećava proporcionalno s povećanjem udjela JB. Udio ukupnih polifenola se povećao tri puta dodatkom 50% JB u odnosu na uzorke bez dodatka JB. Iz tablica je također vidljivo da se povišenjem temperature sušenja, udio ukupnih polifenola smanjio, kao i

kuhanjem uzoraka tjestenine, tijekom kojeg dolazi do smanjenja udjela polifenolnih spojeva. Povišena temperatura utječe na razgradnju ili promjenu u strukturi polifenolnih spojeva (Jozinović, 2015.). Hirawan i sur. (2010.) su ispitivali udio ukupnih polifenola u komercijalnim uzorcima tjestenine, te su također utvrdili smanjenje udjela polifenola tijekom kuhanja u odnosu na uzorke sušene tjestenine. Najveći udio ukupnih polifenola u uzorcima sušene tjestenine, pokazao je uzorak s 50% JB, proizveden na ekstruderu (1287,77±78,16 μg GAE/g), sušen pri 50 °C, a najniži uzorak bez dodanog JB, proizveden na preši, sušen pri 90 °C (285,56±26,05 μg GAE/g).

Slika 58A, **B** i **C** prikazuje utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio ukupnih polifenola uzoraka sušene tjestenine. Sa slike **A** je vidljivo da se povećanjem udjela JB, povećava udio ukupnih polifenola u uzorcima. Udio JB statistički značajno utječe na povećanje ukupnih polifenola, te je od 0 do 30% JB porast linearan, a s 40% dodatka JB udio ukupnih polifenola bilježi veći porast. Na slici **B** vidi se utjecaj vrste uređaja, te je on statistički manje značajan od utjecaja udjela JB, ali je vidljivo da su uzorci s ekstrudera imali nešto veći udio ukupnih polifenola u odnosu na uzorke s preše. Utjecaj temperature sušenja prikazan je na slici **C**, te je jasno vidljivo linearno smanjenje udjela polifenola s povećanjem temperature sušenja. Utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na udio ukupnih polifenola uzoraka kuhane tjestenine prikazan je na **Slici 59A**, **B** i **C**. Vidljiv je sličan trend utjecaja kao i kod uzoraka sušene tjestenine, ali kod uzoraka kuhane tjestenine, vrsta uređaja nije pokazala statistički značajan utjecaj na udio ukupnih polifenola.

Iz dobivenih rezultata udjela ukupnih polifenola, prehrambenih vlakana i β-glukana, može se zaključiti da golozrni ječam Osvit predstavlja dobru sirovinu za proizvodnju nutritivno obogaćene tjestenine, jer je pozitivno utjecao na porast udjela navedenih prehrambenih komponenata.

5.3.7. *In vitro* probavljivost ugljikohidrata

Tablica 29 prikazuje rezultate određivanja *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata u uzorcima kuhane tjestenine. Metoda određivanja *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata bazira se na određivanju oslobođenih ugljikohidrata (glukoze) tijekom digestije uzorka, a rezultat je izražen kao postotak hidroliziranog škroba. Dobiveni rezultat *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata u korelaciji je s glikemijskim indeksom, te se na osnovu njega može predvidjeti glikemijski indeks ispitivanih uzoraka. Može se reći da je škrob koji se hidrolizira tijekom prvih 20 min digestije brzo probavljivi škrob, od 20-120 min je sporo probavljivi, a 120-180 je rezistentni škrob (Yokoyama i sur., 1997.; Chung i sur., 2008.; Kim i sur., 2008.; Mishra i sur., 2008.; Simonato i sur., 2015.). Vidljivo je iz rezultata da kod gotovo svih uzoraka (osim kod uzoraka s ekstrudera

i preše tijekom prvih 20 min digestije), povećanjem udjela JB dolazi do smanjenja količine hidroliziranog škroba. Također s povećanjem vremena digestije s 20, na 120 i 180 min, povećava se i količina hidroliziranog škroba. Uzorci s preše su pokazali niže vrijednosti udjela sporo probavljivog i rezistentnog škroba u odnosu na uzorke s ekstrudera, dok su vrijednosti udjela brzo probavljivog škroba više kod uzoraka s preše u odnosu na uzorke s ekstrudera. Trend smanjenja glikemijskog indeksa pod utjecajem ječmenog brašna (β-glukana) i prehrambenih vlakana pokazali su mnogi autori (Yokoyama i sur., 1997.; Tudorică i sur., 2002.; Chillo i sur., 2011.; Foschia i sur., 2015.).

Slike 60, **61** i **62** (**A**, **B** i **C**) prikazuju utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na postotak hidroliziranog škroba tijekom 20, 120 i 180 min digestije. Na sve tri slike je vidljivo da se postotak hidroliziranog škroba smanjuje s povećanjem udjela ječma. U odnosu na uzorak bez dodanog JB, uzorci s 50% JB statistički značajno smanjuju postotak hidroliziranog škroba u svim uzorcima. Vrsta uređaja se također pokazala značajnim faktorom za postotak hidrolize škroba, kod digestije na 20 min, uzorci s ekstrudera su pokazali značajno manji postotak hidroliziranog škroba u odnosu na uzorke s preše, dok su kod digestije na 120 i 180 min, uzorci s preše pokazali značajno manji postotak hidroliziranog škroba u odnosu na uzorke s ekstudera. Na **Slici 60C** može se vidjeti da se uzorci sušeni na 50 i 70 °C statistički značajno ne razlikuju u udjelu hidroliziranog škroba, a uzorci sušeni na 90 °C su imali statistički značajno veći udio hidroliziranog škroba. Povišenjem temperature sušenja dolazi do pada udjela hidroliziranog škroba uzoraka kod digestije 120 i 180 min (**Slika 61C** i **62C**). Kod digestije od 180 min, smanjenje je statistički značajno za sve tri temperature, a kod digestije od 120 min uzorci sušeni na 70 i 90 °C nisu se statistički značajno međusobno razlikovali, ali je vidljivo da su uzorci sušeni na 90 °C imali niže vrijednosti udjela hidroliziranog škroba u odnosu na uzorke sušene na 70 °C.

Viši udio sporo probavljivog i rezistentnog škroba u uzorcima proizvedenim na ekstruderu rezultat je retrogradacije škroba i nastanka rezistentnog škroba RS3 (Ačkar, 2010.). Naime, kako je već rečeno, uzorci s ekstrudera imali su više vrijednosti povratnog efekta („setback“) u odnosu na uzorke s preše (**Slika 59B**), što je pokazatelj sklonosti retrogradaciji, a bolju želatinizaciju tijekom proizvodnje potvrđuju **Slike 31 – 34**, iz kojih je vidljivo da je škrob u većoj mjeri želatinizirao u uzrocima s ekstrudera, te je naknadnim kuhanjem tjestenine dao homogeniju strukturu s proteinima, koja je očito teže dostupna enzimima.

5.4. Reološka svojstva

Ispitivanje reoloških svojstava zamjesa sirovina i uzoraka sušene tjestenine se odnosi na određivanje maksimalne viskoznosti, opadanja viskoznosti i povratnog efekta.

Slika 63 prikazuje rezultate određivanja maksimalne viskoznosti sirovina i zamjesa. Vidljivo je da JB ima značajno višu viskoznost u odnosu na DK i zamjese. Visoka viskoznost je moguće rezultat većeg udjela β-glukana, koji su iz literature poznati po povećanju viskoznosti (Aastrup, 1979.; Gamel i sur., 2012.). Dodatak JB u zamjes utjecao je na povećanje maksimalne viskoznosti. Statistički značajna razlika između udjela JB vidljiva je kod svih zamjesa, osim kod zamjesa s 20 i 30% dodatka JB, gdje se nije pokazala statistički značajna razlika. U odnosu na DK, maksimalna viskoznost zamjesa s 50% JB, gotovo se dvostruko povećala. Maksimalna viskoznost je povezana i s aktivnošću α-amilaze, te se može zaključiti kako je aktivnost α-amilaze JB značajno niža u odnosu na DK.

Slika 64 prikazuje rezultate opadanja viskoznosti zamjesa, koja označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama. Iz rezultata je vidljivo da JB ima značajno veću (5 i više puta) vrijednost opadanja viskoznosti u odnosu na DK, te se dodatkom JB u zamjes značajno i proporcionalno povećava vrijednost opadanja viskoznosti što upućuje na smanjenje stabilnosti tijekom miješanja pri visokim temperaturama.

Povratni efekt (engl. *setback*) označava sklonost škrobne paste retrogradaciji, a prikazan je na **Slici 65**. Iz dobivenih rezultata se ne može zaključiti da dodatak JB značajno utječe na povratni efekt uzoraka zamjesa, iako je povratni efekt JB značajno niži od povratnog efekta DK.

Tablica 30 prikazuje rezultate maksimalne viskoznosti uzoraka sušene tjestenine. Vidljivo je da se dodatkom JB proporcionalno povećava maksimalna viskoznost kod svih uzoraka. Statistički značajno povećanje maksimalne viskoznosti vidljivo je kod gotovo svih dodataka JB. Također je vidljivo da uzorci s preše pokazuju nešto nižu maksimalnu viskoznost u odnosu na uzorke s ekstrudera. Maksimalnu viskoznost imao je uzorak s 50% JB, proizveden na ekstruderu, a sušen pri 70 °C (825±7,79 BU), a najnižu uzorak bez dodatka JB, sušen pri 90 °C, proizveden na preši (484±0,71 BU).

Slika 66A, **B** i **C** prikazuje utjecaj udjela ječma, vrste uređaja i temperature sušenja na maksimalnu viskoznost uzoraka sušene tjestenine. Vidljivo je da se maksimalna viskoznost proporcionalno povećava s povećanjem udjela ječma u uzorcima (**A**). Vrsta uređaja se nije pokazala kao značajan faktor pri određivanju maksimalne viskoznosti (**B**), iako je vidljivo da uzorci s ekstrudera pokazuju nešto višu maksimalnu viskoznost u odnosu na uzorke s preše. Sušenje pri temperaturi 50 i 70 °C nema značajne razlike u utjecaju na maksimalnu viskoznost, dok povećanjem temperature sušenja na 90 °C, maksimalna viskoznost značajno opada (**C**). Razlog opadanju bi mogao biti u formiranju čvrste mreže proteina koja drži granule škroba (Bonomi i sur., 2012.). Nadalje, sušenje pri 50 i 70 °C traje značajno duže, te je izloženost α-amilaze utjecaju temperature duži i vjerojatno dolazi do njene inaktivacije, što utječe na povećanje maksimalne viskoznosti uzoraka, dok je sušenjem pri 90 °C inaktivacija manja,

uslijed kraće izloženosti enzima povišenoj temperaturi, te je viskoznost uzoraka niža. Sniženje maksimalne viskoznosti uslijed sušenja na 90 °C se može povezati i sa smanjenjem udjela β-glukana u uzorcima kuhane tjestenine sušene na 90 °C (usporedbom **Slika 50C i 66C** uočava se isti trend) što također upućuje na utjecaj sušenja u visokom temperaturnom režimu na promjene ß-glukana tijekom naknadne termičke obrade (tijekom mjerenja reoloških svojstava uzorci se zagrijavaju na 92 °C uz miješanje).

Tablica 31 i **Slika 67** prikazuju rezultate opadanja viskoznosti uzoraka sušene tjestenine. Iz tablice je vidljivo da povećanje udjela ječma utječe na povećanje pada viskoznosti kod većine uzoraka vjerojatno uslijed narušavanja glutenske mreže, a povišenje temperature sušenja utječe na sniženje opadanja viskoznosti. Slično su potvrdili i Bonomi i sur. (2012.) za uzorke tjestenine sušene pri povišenoj temperaturi koji su pokazali niske vrijednosti opadanja viskoznosti, a dobiveni rezultat tumače nastankom čvršće glutenske mreže koja sprječava bubrenje granula škroba.

Povećanje udjela ječma utječe na povećanje vrijednosti opadanja viskoznosti uzoraka, te se dobiveni rezultati za pojedine udjele međusobno statistički značajno razlikuju (**Slika 67A**). Vrsta uređaja se pokazala kao statistički značajan faktor utjecaja na opadanje viskoznosti, te uzorci s ekstrudera pokazuju znatno više vrijednosti opadanja viskoznosti u odnosu na uzorke s preše (**Slika 67B**). Temperatura sušenja se, slično kao i kod maksimalne viskoznosti, pokazala značajnom jedino kod povišenja s 50 i 70 na 90 °C (**Slika 67C**).

Povratni efekt uzoraka prikazan je **Tablicom 32** i **Slikom 68**. Vidljivo je da porastom udjela ječma raste povratni efekt kod većine uzoraka, a povišenjem temperature sušenja dolazi do blagog pada, koji je najznačajniji tijekom povišenja temperature sušenja s 70 na 90 °C. Uzorci s ekstrudera pokazuju više vrijednosti povratnog efekta u odnosu na uzorke s preše. Dodatak ječma u DK povećava sklonost uzoraka retrogradaciji, što je moguće povezano s povišenom viskoznosti samog JB i slabljenjem glutenske mreže koja „drži“ granule škroba.

Sa **Slike 68A** je vidljivo da povećanje udjela ječma utječe na povećanje sklonosti retrogradaciji uzoraka, te je od udjela 20 pa sve do udjela 50% porast linearan. Vrsta uređaja se također pokazala kao značajan faktor za povratni efekt uzoraka, te su uzorci s preše manje skloni retrogradaciji u odnosu na uzorke s ekstrudera (**B**). Povišenjem temperature s 50 na 70 °C dolazi do blagog rasta, a daljnjim povišenjem temperature na 90 °C, do naglog pada vrijednosti povratnog efekta (**C**). Ovdje se također sklonost retrogradaciji može povezati sa čvrstoćom glutenske mreže – kako je već navedeno, sušenje u visokom temperaturnom režimu rezultira čvršćom glutenskom mrežom koja ograničava bubrenje i mobilnost škrobnih granula.

Utjecaj udjela brašna iz cijelog zrna ječma na reološka svojstva tjestenine nije do sada istraživan, te će i zbog tog dobiveni rezultati ovog istraživanja imati važan doprinos znanosti.

5.5. Senzorska analiza

Za senzorsku analizu su odabrani uzorci koji imaju poboljšan nutritivni sastav, gledajući udio β-glukana, prehrambenih vlakana i ukupnih polifenola, a imaju zadovoljavajuća fizikalna svojstva (gubitak kuhanjem, tvrdoća). Uzorci koji su zadovoljili navedene zahtjeve su uzorci sušeni pri 90 °C, proizvedeni na ekstruderu i preši (radi usporedbe dva uređaja za proizvodnju) s dodatkom 30, 40 i 50% JB.

Senzorska analiza je uključivala ocjenu izgleda, arome i teksture uzoraka kuhane tjestenine, te ukupnu ocjenu. Svi analizirani uzorci dobili su vrlo visoke ocjene kako za ukupan dojam, tako i za izgled, aromu i teksturu. S obzirom na to da je u ovom istraživanju rađeno testiranje potrošača, pouzdano je reći da bi tjestenina razvijena u istraživanju imala veliki potencijal za primjenu na tržištu.

Rezultati ocjenjivanja izgleda, arome i teksture uzoraka prikazani su na **Slici 69**. Vidljivo je da su uzorci proizvedeni na ekstruderu dobili bolju ocjenu za sva tri parametra u odnosu na uzorke s preše. Lošija ocjena izgleda tjestenine s preše, moguća je radi vrste materijala od kojeg je sapnica za proizvodnju tjestenine napravljena (legura bronce) radi kojeg tjestenina ima hrapaviju i ljepljiviju površinu, što se pokazalo kao nepoželjna karakteristika tijekom ocjenjivanja, iako takva površina pokazuje bolja svojstva prianjanja umaka na samu površinu. Najveću ocjenu za izgled (7,56) dobio je uzorak s ekstrudera s 40% JB, a najnižu uzorak s istim udjelom JB, ali s preše (6,24). Najveća ocjena za aromu je bila kod uzoraka s 30 i 40% JB s ekstrudera (7,44), a najniža kod uzorka s 30% JB s preše (6,27). Tekstura je najbolje ocijenjena kod uzorka s 40% JB s ekstrudera (7,76), a najlošije kod uzorka s 30% JB s preše (6,61).

Slika 70 prikazuje rezultate ukupne ocjene uzoraka i vidljivo je da su uzorci s preše u odnosu na uzorke s ekstrudera lošije ocijenjeni kod sva tri dodatka JB. Najvišu ukupnu ocjenu dobio je uzorak s 40% JB s ekstrudera, a najnižu uzorak s 30% JB s preše.

Sinesio i sur. (2008.) su ispitivali senzorska svojstva tjestenine s dodatkom brašna ječma u udjelima 10, 20 i 30%, sušenih na niskom i visokom temperaturnom režimu. Rezultati istraživanja su pokazali da su uzorci s 20 i 30% JB dobili ukupno bolju ocjenu od uzorka s 10% JB. Aravind i sur. (2012.) su također ispitivali senzorska svojstva uzoraka tjestenine s dodatkom brašna obogaćenog β-glukanima u udjelima 10, 15 i 20%. Nema do sad objavljenih istraživanja o utjecaju udjela brašna iz cijelog zrna ječma u udjelu do 50%, tako da ovo istraživanje u tom pogledaju predstavlja značajan znanstveni doprinos.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju istraživanja, dobivenih rezultata te provedene rasprave mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Sorta golozrnog ječma Osvit, imala je najveći udio β-glukana između ispitivanih sorti ječma s Poljoprivrednog instituta Osijek.

- Granulacija durum krupice i ječmenog brašna u rasponu je prikladnom za proizvodnju tjestenine s dodatkom brašna druge žitarice.

- Dodatak ječmenog brašna imao je značajan utjecaj na boju zamjesa, sirove, sušene i kuhane tjestenine. Najveći utjecaj bio je kod udjela 50% dodanog ječmenog brašna. Temperatura sušenja i vrsta uređaja na kojem je proizvedena tjestenina, imali su značajan utjecaj na boju uzoraka sušene i kuhane tjestenine

- Utjecaj udjela ječmenog brašna nije se pokazao značajnim faktorom za optimalno vrijeme kuhanja, temperatura sušenja se samo djelomično pokazala značajnom, a vrsta uređaja je pokazala značajan utjecaj na optimalno vrijeme kuhanja. Uzorci s preše su pokazali niže optimalno vrijeme u odnosu na uzorke s ekstrudera.

- Na gubitak kuhanjem udio ječmenog brašna, vrsta uređaja i temperatura sušenja su imali značajan utjecaj. Ječmeno brašno je utjecalo na povećanje gubitka kuhanjem, a povišenje temperature je utjecalo na smanjenje gubitka kuhanjem.

- Indeks apsorpcije vode i indeks bubrenja su opadali s povećanjem udjela ječma, iako sniženje nije bilo statistički značajno kod svih uzoraka. Vrsta uređaja se pokazala kao značajan faktor za navedene parametre, a temperatura sušenja se pokazala značajnim faktorom za indeks bubrenja.

- Povećanje udjela ječma utjecalo je na sniženje tvrdoće uzoraka kuhane tjestenine, na adhezivnost i kohezivnost nije pokazao značajan utjecaj. Vrsta uređaja i temperatura sušenja su se pokazali značajnim faktorom za sva tri parametra. Uzorci s ekstrudera su bili tvrđi, manje su se lijepili i bili kohezivniji u odnosu na uzorke s preše. Povišenjem temperature sušenja na 90 °C dobije se tvrđa, manje ljepljiva i kohezivnija tjestenina.

- Snimanjem mikrostrukture uzoraka sušene i kuhane tjestenine vidljive su promjene na škrobu i proteinima uzoraka uslijed utjecaja vrste uređaja na kojem su uzorci proizvedeni, temperature sušenja i dodatka ječmenog brašna.

- Dodatak ječmenog brašna imao je značajan utjecaj na udio prehrambenih vlakana uzoraka sušene i kuhane tjestenine, te se za uzorke s 30, 40 i 50% ječmenog brašna može koristiti tvrdnja da su visoko bogati vlaknima (osim uzorka s 30% ječmenog brašna, proizvedenog na ekstruderu, sušenog na 90 °C), a za većinu uzoraka tvrdnja da su izvor vlakana. Temperatura sušenja i vrsta uređaja su također pokazali značajan utjecaj na udio prehrambenih vlakana.

- Dodatak ječmenog brašna značajno je povećao udio β-glukana u svim uzorcima kuhane i sušene tjestenine. Tijekom kuhanja dolazi do smanjenja udjela β-glukana u uzorcima tjestenine. Vrsta uređaja se pokazala kao značajan faktor za udio β-glukana u uzorcima sušene i kuhane tjestenine, a temperatura sušenja nije pokazala toliko značajan utjecaj.

- Vrsta uređaja za proizvodnju tjestenine se pokazala najznačajnijim faktorom za stupanj oštećenog škroba. Udio ječma nije pokazao značajan utjecaj kod većine udjela, kao ni temperatura sušenja.

- Udio ječmenog brašna značajan je faktor za antioksidativnu aktivnost uzoraka sušene i kuhane tjestenine. Vrsta uređaja i temperatura sušenja su se pokazali značajnijim faktorima kod uzoraka kuhane tjestenine u odnosu na sušenu tjesteninu. Kuhanjem tjestenine nije došlo do značajnog gubitka antioksidativne aktivnosti uzoraka.

- Dodatak ječmenog brašna značajno je povećao udio ukupnih polifenola u uzorcima sušene i kuhane tjestenine pri svim udjelima, a povišenjem temperature sušenja dolazi do sniženja udjela ukupnih polifenola.

- *In vitro* probavljivost uzoraka tjestenine smanjuje se povećanjem udjela ječma, i povišenjem temperature sušenja. Uzorci s manjom *in vitro* probavljivosti ugljikohidrata bi najvjerojatnije imali niži glikemijski indeks u odnosu na uzorke s većom probavljivosti.

- Ječmeno brašno je imalo utjecaj na povišenje viskoznosti zamjesa i uzoraka sušene tjestenine, te na smanjenje stabilnosti tijekom miješanja pri visokim temperaturama. Povećanje udjela ječma utjecalo je na povećanje sklonosti retrogradaciji uzoraka.

- Kod istog udjela ječma, senzorsko ocjenjivanje odabranih uzoraka tjestenine pokazalo je bolju prihvatljivost uzoraka tjestenine s ekstrudera u odnosu na uzorke s preše koji su dobili niže ocjene prilikom ocjenjivanja. Unatoč nešto nižim ocjenama kod uzoraka

s preše, ukupne ocjene pokazale su da dodatak ječmenog brašna nije imao negativan utjecaj na prihvatljivost uzoraka tjestenine kod potrošača.

- Iz svega navedenog može se zaključiti da se ječmeno brašno može koristiti kao dodatak za obogaćivanje tjestenine vlaknima (naročito β-glukanom) u udjelima do 50%, uz zadržavanje kvalitete tjestenine i dobru prihvatljivost kod potrošača. Dodatna ispitivanja potrebna su za određivanje glikemijskog indeksa, mogućeg utjecaja na probavni sustav ljudi i sl., te utvrđivanje može li se takva tjestenina svrstati u skupinu funkcionalne hrane.

7.LITERATURA

Aastrup S: The relationship between the viscosity of an acid flour extract of barley and its β-glucan content. *Carlsberg Research Communications*, 44:289-307, 1979.

Abecassis J, Abbou R, Chaurand M, Morel MH, Vernoux P: Influence of Extrusion Conditions on Extrusion Speed, Temperature, and Pressure in the Extruder and on Pasta Quality. *Cereal Chemistry*, 71(3):247-253, 1994.

Abozed SS, El-kalyoubi M, Abdelrashid A, Salama MF: Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran. *Annals of Agricultural Science*, 59:63-67, 2014.

Ačkar Đ: Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice. *Doktorska disertacija*, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2010.

Ahmad A, Anjum FM, Zahoor T, Nawaz H, Dilshad SMR: Beta Glucan: A Valuable Functional Ingredient in Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3):201-212, 2012.

American Association of Cereal Chemists: *β-Glucan Content of Barley and Oats—Rapid Enzymatic Procedure*. AACC 32-23.01.

American Association of Cereal Chemists: *Starch Damage*. AACC 76-31.01.

American Association of Cereal Chemists: *Total Starch Assay Procedure*. AACC 76-13.01.

Aravind N, Sissons M, Egan N, Fellows CM, Blazek J, Gilbert EP: Effect of β-Glucan on Technological, Sensory, and Structural Properties of Durum Wheat Pasta. *Cereal Chemistry*, 89(2):84-93, 2012.

Aravind N, Sissons M, Fellows CM: Can variation in durum wheat pasta protein and starch composition affect *in vitro* starch hydrolysis? *Food Chemistry*, 124:816–821, 2011.

Association of Official Analytical Chemists: *Total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods: enzymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer*. AOAC 991.43.

Aydin E, Gocmen D: Cooking Quality and Sensorial Properties of Noodle Supplemented with Oat Flour. *Food Science and Biotechnology*, 20(2):507-511, 2011.

Baiano A, Conte A, Del Nobile MA: Influence of drying temperature on the spaghetti cooking quality. *Journal of Food Engineering*, 76:341-347, 2006.

Baik BK, Ullrich SE: Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48:233–242, 2008.

BeMiller JN, Whistler RL: *Starch: Chemistry & Technology*, 3rd Ed. Academic Press, SAD, Kanada, UK, 2009.

Belitz HD, Grosch W, Schieberle P: *Food Chemistry*. 4th revised and extended ed. Springer, 670-740, 2009.

Biney K, Beta T: Phenolic profile and carbohydrate digestibility of durum spaghetti enriched with buckwheat flour and bran. *LWT - Food Science and Technology*, 57:569-579, 2014.

Bonoli M, Marconi E, Caboni MF: Free and bound phenolic compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.) flours Evaluation of the extraction capability of different solvent mixtures and pressurized liquid methods by micellar electrokinetic chromatography and spectrophotometry. *Journal of Chromatography A*, 1057:1–12, 2004.

Bonomi F, D'Egidio MG, Iametti S, Marengo M, Marti A, Pagani MA, Ragg EM: Structure–quality relationship in commercial pasta: A molecular glimpse. *Food Chemistry*, 135:348–355, 2012.

Borrelli GM, Troccoli A, Di Fonzo N, Fares C: Durum Wheat Lipoxygenase Activity and Other Quality Parameters that Affect Pasta Color. *Cereal Chemistry*, 76(3):335–340, 1999.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C: Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28:25–30, 1995.

Brennan CS, Cleary LJ: The potential use of cereal (1→3,1→4)-β-D-glucans as functional food ingredients. Review. *Journal of Cereal Science*, 42:1–13, 2005.

Brennan CS, Kuri V, Tudorica CM: Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86:189-193, 2004.

Brennan CS, Tudorica CM: Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. *International Journal of Food Science and Technology*, 43:2151–2162, 2008.

Carfioci M, Blennow A, Nielsen MM, Holm PB, Hebelstrup KH: Barley callus: a model system for bioengineering of starch in cereals. *Plant Methods*, 8:36, 2012.

Carini E, Vittadini E, Curti E, Antoniazzi F: Effects of different shaping modes on physico-chemical properties and water status of fresh pasta. *Journal of Food Engineering,* 93:400-406, 2009.

Chillo S, Laverse J, Falcone PM, Del Nobile MA: Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. *Journal of Food Engineering*, 84:101–107, 2008.a

Chillo S, Laverse J, Falcone PM, Protopapa A, Del Nobile MA: Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of Cereal Science*, 47:144–152, 2008.b

Chillo S, Ranawana DV, Henry CJK: Effect of two barley β-glucan concentrates on *in vitro* glycaemic impact and cooking quality of spaghetti. *LWT - Food Science and Technology*, 44:940-948, 2011.a

Chillo S, Ranawana DV, Pratt M, Henry CJK: Glycemic response and glycemic index of semolina spaghetti enriched with barley β-glucan. *Nutrition*, 27:653-658, 2011.b

Chung HJ, Shin DH, Lim ST: *In vitro* starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. *Food Research International*, 41:579–585, 2008.

Cubadda F, Aureli F, Raggi A, Carcea M: Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 49:92–97, 2009.

Cubadda RE, Carcea M, Marconi E, Trivisonno MC: Influence of Gluten Proteins and Drying Temperature on the Cooking Quality of Durum Wheat Pasta. *Cereal Chemistry*, 84(1):48-55, 2007.

De Zorzi M, Curioni A, Simonato B, Giannattasio M, Pasini G: Effect of pasta drying temperature on gastrointestinal digestibility and allergenicity of durum wheat proteins. *Food Chemistry*, 104:353–363, 2007.

Dexter JE, Izydorczyk MS, Marchylo BA, Schlichting LM: Texture and colour of pasta containing mill fractions from hull-less barley genotypes with variable content of amylose and fibre. U *Proceedings of the 12th International ICC Cereal and Bread Congress*, str. 488-493, ICC, Harrogate, UK, 2004.

Dexter JE, Matsuo RR, Morgan BC: High Temperature Drying: Effect on Spaghetti Properties. *Journal of Food Science*, 46:1741-1746, 1981.

Dexter JE, Tkachuk R, Matsuo RR: Amino Acid Composition of Spaghetti: Effect of Drying Conditions on Total and Available Lysine. *Journal of Food Science*, 49:225-228, 1984.

Dick JW, Matsuo RR: Durum wheat and pasta products. U *Wheat Chemistry and Technology*, *3rd ed., Vol. 1.* (Y. Pomeranz, ed.) Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN. str. 507-547, 1988.

Doxastakis G, Papageorgiou M, Mandalou D, Irakli M, Papalamprou E, D'Agostina A, Resta D, Boschin G, Arnoldi A: Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chemistry*, 101:57-64, 2007.

Dvořáková M, Douanier M, Jurková M, Kellner V, Dostálek P: Comparison of Antioxidant Activity of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Malt Extracts with the Content of Free Phenolic Compounds Measured by High Performance Liquid Chromatography Coupled with CoulArray Detector. *Journal of the Institute of Brewing*, 114:150-159, 2008.a

Dvořáková M, Moreira MM, Dostálek P, Skulilova Z, Guido LF, Barros AA: Characterization of monomeric and oligomeric flavan-3-ols from barley and malt by liquid chromatography-ultraviolet detection-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1189:398-405, 2008.b

Đorđević TM, Šiler-Marinković SS, Dimitrijević-Branković SI: Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chemistry*, 119:957-963, 2010.

European Food Safety Agency (EFSA): Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a

reduction in energy intake (ID 851, 852), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 821, 824), and “digestive function” (ID 850) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 9(6):2207, 2011.

Fares C, Platani C, Baiano A, Menga V: Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*, 119:1023–1029, 2010.

Feillet P, Autran JC i Icard-Vernière C: Pasta Brownness: An Assessment. *Journal of Cereal Science*, 32:215–233, 2000.

Food and Drug Administration (FDA): Zdravstvena tvrdnja o ječmu http://www.fda.gov/newsevents/newsroom/pressannouncements/2006/ucm108657.htm [25.07.2016.]

Foschia M, Peressini D, Sensidoni A: How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 61:41-46, 2015.

Fu BX, Schlichting L, Pozniak CJ, Singh AK: Pigment loss from semolina to dough: Rapid measurement and relationship with pasta colour. *Journal of Cereal Science*, 57:560-566, 2013.

Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzman NE, Gonzalez-Laredo RF, Ochoa-Martínez LA, Corzo N, Bello-Perez LA, Medina-Torres L, Peralta-Alvarez LE: Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119:1544–1549, 2010.

Gamel TH, Abdel-Aal ESM, Wood PJ, Ames NP, Tosh SM: Application of the Rapid Visco Analyzer (RVA) as an Effective Rheological Tool for Measurement of β-Glucan Viscosity. *Cereal Chemistry*, 89(1):52-58, 2012.

Giménez MA, González RJ, Wagner J, Torres R, Lobo MO, Samman NC: Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. *Food Chemistry*, 136:538–545, 2013.

Goering KJ, Fritts DH, Eslick RF: A Study of Starch Granule Size and Distribution in 29 Barley Varieties. *Die Stärke*, 25 Jahhrg., Nr. 9, 1973.

Grant LA, Dick JW, Shelton DR: Effects of drying temperature, starch damage, sprouting, and additives on spaghetti quality characteristics. *Cereal Chemistry*, 70:676-684, 1993.

Haraldsson J: Development of a Method for Measuring Pasta Quality Parameters. *Degree project work*, Linnaeus University, 2010.

Hidalgo A, Brandolini A, Pompei C: Carotenoids evolution during pasta, bread and water biscuit preparation from wheat flour. *Food Chemistry*, 121:746–751, 2010.

Hirawan R: Antioxidant Properties of Spaghetti and Infant Cereals and Characterization of Major Phenolic Compounds by LC/MS Analysis. *Master Thesis*, University of Manitoba, 2011.

Hirawan R, Ser WJ, Arntfiel SD, Beta T: Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 119:258-264, 2010.

Hozová B, Kuniak L, Moravčíková P, Gajdošová A: Determination of Water-Insoluble β-d-Glucan in the Whole-Grain Cereals and Pseudocereals. *Czech Journal of Food Sciences*, 25(6):316-324, 2007.

Icard-Vernière C, Feillet P: Effects of Mixing Conditions on Pasta Dough Development and Biochemical Changes. *Cereal Chemistry*, 76(4):558-565, 1999.

International Standard Organisation (ISO): *Animal feeding stuffs – Determination of crude ash*. ISO 5984:2002.

International Standard Organisation (ISO): *Animal feeding stuffs – Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content – Part 2: Block digestion/steam distillation method*. ISO 5983-2:2005.

International Standard Organisation (ISO): *Animal feeding stuffs – Determination of fat content*. ISO 6492:1999.

International Standard Organisation (ISO): *Maize – Determination of moisture content (on milled grains and on whole grains)*. ISO 6540:1980.

Izydorczyk MS i Dexter EJ: Barley β-glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products–a Review. *Food Research International*, 41:850–868, 2008.

Jonnala RS, Irmak S, MacRitchie F, Bean SR: Phenolics in the bran of waxy wheat and triticale lines. *Journal of Cereal Science*, 52:509-515, 2010.

Jozinović A: Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. *Doktorska disertacija*, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2015.

Jukić M, Ugarčić-Hardi Ž, Koceva Komlenić D: Colour changes of pasta produced with different supplements during drying and cooking. *Deutche Lebensmittel-Rundschau*, 103(4):159–163, 2007.

Kanauchi M, Bamforth CW: Release of β-Glucan from Cell Walls of Starchy Endosperm of Barley. *Cereal Chemistry*, 78(2):121-124, 2001.

Kent NL i Evers AD: *Technology of Cereals*. Elsevier Science Ltd., 1994.

Khan I, Yousif A, Johnson SK, Gamlath S: Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, 54:578-586, 2013.

Kill RC i Turnbull K: *Pasta and Semolina Technology*. Blackwell Science, 2001.

Kim EHJ, Petrie JR, Motoi L, Morgenstern MP, Sutton KH, Mishra S, Simmons LD: Effect of tructural and Physicochemical Characteristics of the Protein Matrix in Pasta on In Vitro Starch Digestibility. *Food Biophysics*, 3:229–234, 2008.

Kinner M, Nitschko S, Sommeregger J, Petrasch A, Linsberger-Martin G, Grausgruber H, Berghofer E, Siebenhandl-Ehn S: Naked Barley – Optimized recipe for pure barley bread with sufficient beta- glucan according to the EFSA health claims. *Journal of Cereal Science*, 53:225-230, 2011.

Knutsen SH, Holtekjølen AK: Preparation and analysis of dietary fibre constituents in whole grain from hulled and hull-less barley. *Food Chemistry*, 102:707-715, 2006.

Kratzer AM: Hydration, dough formation and structure development in durum wheat pasta processing. *Doctoral thesis*, ETH, 2007.

Kruger JE, Matsuo RB, Dick JW: Pasta and noodle technology. *Trends in Food Science & Technology Journal*, 8:252, 1997.

Lagassé SL, Hatcher DW, Dexter JE, Rossnagel BG, Izydorczyk MS: Quality Characteristics of Fresh and Dried White Salted Noodles Enriched with Flour from Hull-less Barley Genotypes of Diverse Amylose Content. *Cereal Chemistry*, 83(2):202-210, 2006.

Lamacchia C, Baiano A, Lamparelli S, Terracone C, Trani A, Di Luccia A: Polymeric protein formation during pasta-making with barley and semolina mixtures, and prediction of its effect on cooking behaviour and acceptability. *Food Chemistry*, 129:319-328, 2011.

Lamacchia C, Di Luccia A, Baiano A, Gambacorta G, la Gatta B, Pati S, La Notte E: Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour. *Journal of Cereal Science*, 46:58–63, 2007.

Landi A: Durum wheat, semolina and pasta quality characteristics for an Italian food company. (Di Fonzo N, Kaan F, Nachit M, ed.): Durum wheat quality in the Mediterranean Region. *CIHEAM*, 33-42, 1995.

Lásztity R: *The Chemistry of Cereal Proteins*. 2nd edition, CRC Press, 1996.

Lee CJ, Horsley RD, Manthey FA, Schwarz PB: Comparisons of β-Glucan Content of Barley and Oat. *Cereal Chemistry*, 74(5):571-575, 1997.

Lyly M: Added β-glucan as a source of fibre for consumers. *Doctoral thesis*, VTT, Finland, 2006.

Madhujit T, Izydorczyk M, Shahidi F: Antioxidant Properties of Pearled Barley Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 3283-3289, 2006.

Manthey FA, Dick T: Assessment of Probe Type for Measuring Pasta Texture. *Cereal Foods World*, 57:56-62, 2012.

Marchylo BA, Dexter JE: Pasta production. U *Cereal Processing Technology* (Owens G, ed.), CRC, Woodhead publishing limited, 109-127, 2001.

Marconi E, Graziano M, Cubadda R: Composition and Utilization of Barley Pearling By-Products for Making Functional Pastas Rich in Dietary Fiber and β-Glucans. *Cereal Chemistry*, 77(2):133–139, 2000.

Matsuo RR, Dexter JE, Dronzek BL: Scanning electron microscopy study of spaghetti processing. *Cereal Chemistry*, 55:744-753, 1978.

Ministarstvo poljoprivrede RH: Pravilnik o žitaricama, mlinskim i pekarskim proizvodima, tjestenini, tijestu i proizvodima od tijesta. *Narodne novine* 78/05, 2005.

Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi RH: Pravilnik o prehrambenim i zdravstvenim tvrdnjama. *Narodne novine* 84/10, 2010.

Mishra S, Monro J, Hedderley D: Effect of Processing on Slowly Digestible Starch and Resistant Starch in Potato. *Starch*, 60:500-507, 2008.

Montalbano A, Tesoriere L, Diana P, Barraja P, Carbone A, Spanó V, Parrino B, Attanzio A, Livrea MA, Cascioferro S, Cirrincione C: Quality characteristics and *in vitro* digestibility study of barley flour enriched ditalini pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 72:223-228, 2016.

Newman RK, Newman CW: *Barley for food and health: science, technology, and products*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.

Oliveira LC, Oliveira M, Meneghetti VL, Mazzutti S, Colla LM, Elias MC, Gutkoski LC: Effect of drying temperature on quality of β-glucan in white oat grains. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(4):793-797, 2012.

Ough CS, Amerine MA: Phenolic compounds. U *Methods for Analysis of Musts and Wines*; (Ough CS., Amarine MA, ed.) Wiley: New York, 196−221, 1998.

Pagani MA, Resmini P, Dalbon G: Influence of the extrusion process on characteristics and structure of pasta. *Food Microstructure*, 8:173-182, 1989.

Perten: Gluten formation, http://www.perten.com/products/glutomatic/about-gluten [24.07.2016.]

Petitot M: Pâtes alimentaires enrichies en légumineuse. Structuration des constituants au cours du procédé: Impact sur la qualité culinaire et les propriétés nutritionnelles des pâtes. *Doctoral thesis*, MontpellierSupAgro, 2009.

Prendergast JM: In vitro digestion of starch in barley. *Master thesis*, Norwegian University of Life Sciences, 2014.

Simonato B, Curioni A, Pasini G: Digestibility of pasta made with three wheat types: A preliminary study. *Food Chemistry*, 174:219–225, 2015.

Sinesio F, Paoletti F, D'Egidio MG, Moneta E, Nardo N, Peparaio M, Comendador FJ: Flavor and Texture as Critical Sensory Parameters of Consumer Acceptance of Barley Pasta. *Cereal Foods World*, 53:206-213, 2008.

Sissons M: Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread. *Food*, 2, 75-90, 2008.

Sissons MJ, Hwee NS, Turner MA: Role of gluten and its components in influencing durum wheat dough properties and spaghetti cooking quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87:1874–1885, 2007.

Sozer N, Dalgiç AC, Kaya A: Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*, 81:476-484, 2007.

Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM: Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 122:303–320, 2005.

Tudorică CM, Kuri V, Brennan CS: Nutritional and Physicochemical Characteristics of Dietary Fiber Enriched Pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:347-356, 2002.

Union of Organisations of Manufacturers of Pasta Products in the European Union (UN.A.F.P.A.): Proizvodnja i konzumacija tjestenine u EU (2007.-2015.), http://www.pasta-unafpa.org/ingstatistics1.htm [13.09.2016.]

Vasanthan T, Gaosong J, Yeung J, Li J: Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77:35–40, 2002.

Verardo V, Gómez-Caravaca AM, Messia MC, Marconi E, Caboni MF: Development of Functional Spaghetti Enriched in Bioactive Compounds Using Barley Coarse Fraction Obtained by Air Classification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59:9127-9134, 2011.

Wang J M, Yang J M, Mcneil D L, Zhou M X: Identification and molecular mapping of a dwarfing gene in barley (*Hordeum vulgare* L.) and its correlation with other agronomic traits. *Euphytica* 175:331–342, 2010

West R, Seetharaman K, Duizer LM: Effect of drying profile and whole grain content on flavour and texture of pasta. *Journal of Cereal Science*, 58:82-88, 2013.

Wood PJ: Cereal β-glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science*, 46:230–238, 2007.

Wrigley C, Corke H, Walker CE: *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Academic Press, 409-418, 2004.

Yokoyama WH, Hudson CA, Knuckles BE, Chiu MCM, Sayre RN, Turnlund JR, Schneeman BO: Effect of Barley β-Glucan in Durum Wheat Pasta on Human Glycemic Response. *Cereal Chemistry*, 74(3):293—296, 1997.

Yu L, Nanguet AL, Beta T: Comparison of Antioxidant Properties of Refined and Whole Wheat Flour and Bread. *Antioxidants*, 2(4):370-383, 2013.

Zhao H, Fan W, Dong J, Lu J, Chen J, Shan L, Lin Y, Kong W: Evaluation of antioxidant activities and total phenolic contents of typical malting barley varieties. *Food Chemistry*, 107:296-304, 2008.

Zou W, Sissons M, Gidley MJ, Gilbert RG, Warren FJ: Combined techniques for characterising pasta structure reveals how the gluten network slows enzymic digestion rate. *Food Chemistry*, 188:559–568, 2015.

Zweifel C: Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta. *Doctoral thesis*, ETH, 2001.

Zweifel C, Handschin S, Escher F, Conde-Petit B: Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta. *Cereal Chemistry*, 80(2):159-167, 2003.