

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Aleksandra L. Ćirković

**UPOTREBA MLEVENIH ULJANIH POGAČA OD
SEMENKI I JEZGRA RAZLIČITOG VOĆA U
PROIZVODNJI PEKARSKIH PROIZVODA**

doktorska disertacija

Beograd, 2024.

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE**

Aleksandra L. Ćirković

**THE UTILIZATION OF GROUND OILSEED
CAKE FROM VARIOUS FRUITS IN THE
PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024.

Mentori

dr Mirjana Demin, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

dr Biljana Rabrenović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

Članovi komisije:

dr Milica Fotirić Akšić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

dr Olivera Šimurina, viši naučni saradnik
Naučni institut za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, FINS

dr Jovanka Laličić-Petronijević, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

Datum odbrane doktorske disertacije: _____

Zahvalnica

Srdačno se zahvaljujem svojim mentorima dr Mirjani Demin i dr Biljani Rabrenović, redovnim profesorima Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Hvala na svemu što ste učinile za mene.

Veliku zahvalnost dugujem dr Milici Fotirić-Akšić, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu na neizmernoj podršci, strpljenju, pomoći i ukazanom poverenju.

Zahvaljujem dr Oliveri Šimurini, višem naučnom saradniku Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu na pomoći pri izvođenju dela eksperimenata i prenesenom iskustvu.

Veliko hvala dr Jovanki Laličić-Petronijević, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu na stručnim i praktičnim savetima, prenetom pozitivnom stavu, strpljivosti da sasluša sva moja pitanja i spremnosti da na ista da neiscrpne odgovore i pojašnjenja.

Želim da se zahvalim svim kolegama iz razvojnog centra „Puratos-Srbija“ koji su učestvovali u pravljenju gotovog proizvoda koji je bio tema ovog istraživanja.

Veliko hvala dr Ilinki Pećinar, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu na strpljenju, prenetom znanju, profesionalizmu, ažurnosti, praktičnosti i razumevanju. Hvala na pomoći prilikom izvođenja dela eksperimenata i statističke obrade odgovarajućih rezultata.

Hvala dr Mioni Belović, višem naučnom saradniku Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu na pomoći pri izvođenju dela eksperimenata.

Veliku zahvalnost dugujem dr Slađani Žilić, naučnom savetniku Instituta za kukuruz “Zemun polje” i dr Marijani Simić sa Instituta za kukuruz “Zemun polje” koje su mi omogućile deo izrade ove doktorske disertacije.

Neizmerno se zahvaljujem dr Draganu Šeferu, redovnom profesoru Veterinarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na pomoći pri izvođenju dela eksperimenata.

Srdačno se zahvaljujem studentskoj službi Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu na neizmernoj pomoći.

Veliko hvala mojim najmilijima, prijateljima i kumovima na savetima, podršci, strpljenju, razumevanju, podsticaju i neizmernoj i nesebičnoj pomoći, Miru i Čađi, čiča Ratku i porodici, Milici Stevanović, Milici Lučić, Dragani Đurić, Aci i Dodi.

Najveću zahvalnost za ukupan rad dugujem svom ocu Lazaru, bez čije neizmerne ljubavi, motivacije, podrške, razumevanja, strpljenja, optimističnog stava i finansijske pomoći ovo istraživanje ne bi bilo moguće. Njemu i posvećujem ovu doktorsku disertaciju.

UPOTREBA MLEVENIH ULJANIH POGAČA OD SEMENKI I JEZGRA RAZLIČITOG VOĆA U PROIZVODNJI PEKARSKIH PROIZVODA

Sažetak

Nusproizvodi u procesu proizvodnje i prerade voća čine čak 50 - 60% mase ploda, što predstavlja jednu od kategorija sa najvećom stopom otpada i vrši veliki pritisak na ekološke sisteme. Ova vrsta otpada obuhvata seme, listove, kominu, pokožicu, trop, koru i ljusku. Sa druge strane, ovaj tip nusproizvoda predstavlja odličan izvor bioaktivnih jedinjenja poput fenola, proteina, masnih kiselina, vlakana i brojnih drugih.

Posle hladnog presovanja procenjen je kvalitet dobijenog ulja i uljanih pogača (kao nusproizvoda hladnog presovanja) semena dunje, šljive i višnje. U dobijenim uljima utvrđen je sastav masnih kiselina, antioksidativna aktivnost, osnovni parametri kvaliteta ulja, oksidativna stabilnost i sadržaj tokoferola i fitosterola. Najveći sadržaj ulja posle Soxhlet ekstrakcije imalo je seme šljive ($35,92 \pm 0,90\%$), manji udeo ulja imalo je seme višnje ($26,34 \pm 0,50\%$), a najmanji seme dunje ($19,52 \pm 0,40\%$). Hladnim presovanjem utvrđeno je da semena šljive i višnje imaju približan sadržaj ulja ($26,21 \pm 0,45\%$ i $26,45 \pm 0,53\%$, redom), a seme dunje $6,54 \pm 0,57\%$. U ulju semena šljive dominirala je oleinska kiselina, dok su ulja semena dunje i višnje sadržala najveće koncentracije linolne kiseline. Dobijena hladno presovana ulja pokazala su dobra antioksidativna svojstva. Najveći sadržaj α -tokoferola imalo je ulje semena dunje, a ulje semena šljive najmanje, dok je ulje semena višnje imalo najveći sadržaj $\beta + \gamma$ -tokoferola. Sva tri proučavana ulja bila su bogata β -sitosterolom. Ulje semena dunje, šljive i višnje bilo je pogodno za proizvodnju visokokvalitetnog hladno presovanog ulja namenjenog za ljudsku ishranu.

Izvršena je karakterizacija uljanih pogača semena dunje, šljive i višnje, kao i njihovih mešavina sa pšeničnim brašnom u udelima od 10%, 20% i 30%, kao i samog pšeničnog brašna. Utvrđen je osnovni hemijski sastav, sastav i sadržaj dijetnih vlakana, antioksidativna aktivnost (TPC, ABTS⁺, DPPH[•] i FRP), funkcionalne i tehnološke karakteristike i Raman spektroskopija. Najveći sadržaj pepela, proteina i masti u ispitivanim pogačama bio je utvrđen kod pogače semena šljive, a najniži kod pogače semena višnje. Pogače su bile bogate dijetnim vlaknima. Najveću antioksidativnu vrednost pokazala je pogača semena šljive, pa pogača semena dunje, a najmanju pogača semena višnje. Funkcionalne i tehnološke karakteristike pogača i mešavina ukazale su na mogućnost potencijalne primene u proizvodnji pekarskih proizvoda.

Mešavine su uspešno iskorišćene za proizvodnju obogaćenih hlebova. Hlebovima je određena nutritivna vrednost, antioksidativna aktivnost, senzorna karakterizacija (uključujući teksturna svojstva, boju i specifičnu zapreminu vekni hleba), *in vitro* digestija posle čega je potvrđeno da se uljane pogače bezbedno mogu koristiti za proizvodnju obogaćenih hlebova.

Ključne reči: nusproizvodi, uljane pogače, hladno presovana ulja, obogaćeni hlebovi

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Nauka o preradi ratarskih sirovina

UDK broj: 665.117:634.1/.2]:664.661(043.3)

THE UTILIZATION OF GROUND OILSEED CAKE FLOURS FROM VARIOUS FRUITS IN THE PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS

ABSTRACT

By-products from the production and processing of fruit account for up to 50 - 60% of the weight of fruit, which is one of the categories with the highest waste rate and places a pressure on ecological systems. This type of waste includes pits, seeds, leaves, pomace, skin, pulp, rind and peel. On the other hand, this type of by-product is an excellent source of bioactive compounds such as phenols, proteins, fatty acids, fibers and numerous others.

After cold pressing, the quality of the obtained oil and oil cake (as a by-product of cold pressing) of quince, plum and sour cherry seeds was evaluated. The composition of the fatty acids, the antioxidant activity, the basic parameters of oil quality, the oxidation stability and the content of tocopherols and phytosterols were determined in the oils obtained. Plum seeds had the highest oil content after Soxhlet extraction ($35,92 \pm 0,90\%$), sour cherry seeds had a lower oil content ($26,34 \pm 0,50\%$) and quince seeds the lowest ($19,52 \pm 0,40\%$). In cold pressing, plum and cherry seeds were found to have an approximate oil content ($26,21 \pm 0,45\%$ and $26,45 \pm 0,53\%$, respectively), quince seeds $6,54 \pm 0,57\%$. The plum seed oil was dominated by oleic acid, while quince and sour cherry seed oil contained the highest concentrations of linoleic acid. The cold-pressed oils obtained showed good antioxidant properties. Quince seed oil had the highest α -tocopherol content, plum seed oil the lowest, while sour cherry seed oil had the highest $\beta+\gamma$ -tocopherol content. All three oils tested were rich in β -sitosterol. Quince, plum and cherry seed oil were suitable for the production of high-quality cold-pressed oil for human consumption.

A characterization of quince, plum and sour cherry seed oilcakes and their mixtures with wheat flour in proportions of 10%, 20% and 30% as well as wheat flour itself was carried out. The basic chemical composition, the composition and content of dietary fiber, the antioxidant activity (TPC, ABTS⁺⁺, DPPH^{*} and FRP), the functional and technological properties and Raman spectroscopy were determined. The plum oilseed cake had the highest ash, protein and fat content in the breads tested, while the sour cherry oilseed cake had the lowest. The oilseed cakes were rich in fiber. The plum oilseed cake had the highest antioxidant value, followed by the quince oilseed cake and the sour cherry oilseed cake with the lowest value. The functional and technological properties of the oilseed cakes and mixtures indicated the possibility of a potential application in the production of bakery products.

The mixtures were successfully used for the production of enriched breads. The breads were evaluated for their nutritional value, antioxidant activity, sensory properties (including texture, color and specific volume of the boaves) and *in vitro* digestion.

Keywords: by-products, oilseed cake, cold-pressed oils, enriched breads

Scientific field: Technological engineering

Scientific subfield: Science of field crop processing

UDC number: 665.117:634.1/.2]:664.661(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE	2
2.1. Poreklo, gajenje i rasprostranjenost ispitivanog voća	2
2.1.1. Dunja	2
2.1.2. Šljiva	3
2.1.3. Višnja	5
2.2. Nusproizvodi industrijske prerade voća	6
2.3. Postupak hladnog presovanja	11
2.4. Bioaktivne komponente ulja	12
2.5. Reakcije kvarenja ulja	15
2.6. Oksidativna stabilnost ulja	16
2.7. Uljane pogače	17
2.8. Brašno	18
2.9. Hleb	20
2.9.1. Kvalitet hleba	23
2.10. Instrumentalne tehnike za određivanje kvaliteta brašna, pogača i hleba	24
2.10.1. Određivanje funkcionalnih karakteristika brašna	24
2.10.2. Ramanova spektroskopija	27
2.10.3. <i>In vitro</i> gastrointestinalna digestija	27
2.10.4. Analiza teksture	29
2.10.5. Senzorna analiza	29
3. CILJ ISTRAŽIVANJA	30
4. MATERIJAL I METODE	31
4.1. Materijal	31
4.2. Metode ispitivanja fizičkih i hemijskih karakteristika semena	31
4.3. Postupak hladnog presovanja semena	32
4.4. Metode za određivanje kvaliteta hladno presovanog ulja	32
4.5. Metode za određivanje nutritivne vrednosti ulja	33
4.5.1. Sastav i sadržaj masnih kiselina	33
4.5.2. Izračunavanje nutritivnih indeksa	33
4.5.3. Određivanje sadržaja i sastava tokoferola	33
4.5.4. Metoda za određivanje sadržaja fitosterola	34
4.6. Metode za određivanje oksidativne stabilnosti ulja	34
4.7. Metode za karakterizaciju pogača, brašna, mešavina brašna i hleba	34
4.7.1. Postupak pripreme hleba	34
4.7.2. Određivanje osnovnog hemijskog sastava	37
4.7.3. Određivanje sadržaja dijetnih vlakana	38
4.8. Metode za određivanje antioksidativne aktivnosti pogača, brašna, mešavina brašna, hleba i ulja	38
4.8.1. Određivanje ukupnog sadržaja polifenola (TPC) i antioksidativna aktivnost (FRP, ABTS ⁺ i DPPH*)	38
4.9. Raman spektroskopija	39
4.10. Određivanje funkcionalnih svojstava pogača, brašna i mešavina brašna	40
4.11. Kapaciteti zadržavanja rastvarača	40
4.12. Određivanje teksturnih svojstava gotovih hlebova	41
4.13. Metoda za određivanje biodigestije <i>in vitro</i> obogaćenih hlebova	42

4.13.1. Priprema uzoraka za ispitivanje antioksidativnih svojstava digesta.....	43
4.14. Određivanje zapremine.....	43
4.15. Određivanje boje hleba.....	43
4.16. Određivanje senzornih karakteristika gotovih pekarskih proizvoda.....	44
4.17. Statistička obrada rezultata.....	44
5. REZULTATI I DISKUSIJA.....	46
5.1. Fizičke i hemijske karakteristike semena.....	46
5.2. Prinos ulja.....	47
5.3. Parametri kvaliteta hladno presovanog ulja.....	48
5.4. Nutritivna vrednost ulja.....	49
5.4.1. Sadržaj i sastav masnih kiselina i nutritivni indeksi.....	49
5.4.2. Sastav i sadržaj tokoferola.....	51
5.4.3. Sastav i sadržaj fitosterola.....	51
5.5. Antioksidativna aktivnost ulja.....	52
5.6. Oksidativna stabilnost.....	53
5.7. Hemijska karakterizacija brašna uljanih pogača i mešavina brašna.....	54
5.8. Antioksidativna aktivnost pogača, brašna i mešavina.....	59
5.9. Raman spektroskopija mešavina i pšeničnog brašna.....	62
5.10. Funkcionalna svojstva pogača, mešavina i pšeničnog brašna.....	73
5.11. Tehnološke karakteristike pogača, mešavina i pšeničnog brašna.....	76
5.12. PCA pogača, mešavina i pšeničnog brašna.....	78
5.13. Hemijski sastav kontrole i obogaćenih hlebova.....	84
5.14. Antioksidativna aktivnost kontrole i obogaćenih hlebova.....	88
5.15. Raman spektroskopija obogaćenih hlebova.....	89
5.16. Tekstura obogaćenih hlebova i kontrole.....	102
5.18. Specifična zapremina obogaćenih hlebova i kontrole.....	105
5.19. Boja obogaćenih hlebova i kontrole.....	106
5.20. <i>In vitro</i> biodigestija obogaćenih hlebova i kontrole.....	108
5.21. Senzorna ocena obogaćenih hlebova i kontrole.....	110
5.22. PCA obogaćenih hlebova i kontrole.....	113
6. ZAKLJUČAK.....	120
7. LITERATURA.....	122
BIOGRAFIJA AUTORA.....	141
Izjava o autorstvu.....	142
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada.....	143
Izjava o korišćenju.....	144

SPISAK SKRAĆENICA

D - seme dunje
Š - seme šljive
V - seme višnje
HP - hladno presovanje
Kbr - kiselinski broj
Pbr - peroksidni broj
DU - hladno presovano ulje semena dunje
ŠU - hladno presovano ulje semena šljive
VU - hladno presovano ulje semena višnje
PUFA - polinezasićene masne kiseline
MUFA - mononezasićene masne kiseline
SFA - zasićene masne kiseline
AI - indeks aterogenosti
TI - indeks trombogenosti
GAE - galna kiselina
AA - askorbinska kiselina
TPC - sadržaj ukupnih polifenola
FRP - feri redukciona snaga, redukciona svojstva
ABTS^{*+} - sposobnost sakupljanja ABTS^{*+} radikala
DPPH^{*} - aktivnost prikupljanja radikala, sposobnost sakupljanja DPPH^{*} radikala
FW - sveža masa
P - pšenično brašno
Pd - uljana pogača semena dunje
Pš - uljana pogača semena šljive
Pv - uljana pogača semena višnje
Db10 - pšenično brašno supstituisano sa 10% samlevene uljane pogače semena dunje
Db20 - pšenično brašno supstituisano sa 20% samlevene uljane pogače semena dunje
Db30 - pšenično brašno supstituisano sa 30% samlevene uljane pogače semena dunje
Šb10 - pšenično brašno supstituisano sa 10% samlevene uljane pogače semena šljive
Šb20 - pšenično brašno supstituisano sa 20% samlevene uljane pogače semena šljive
Šb30 - pšenično brašno supstituisano sa 30% samlevene uljane pogače semena šljive
Vb10 - pšenično brašno supstituisano sa 10% samlevene uljane pogače semena višnje
Vb20 - pšenično brašno supstituisano sa 20% samlevene uljane pogače semena višnje
Vb30 - pšenično brašno supstituisano sa 30% samlevene uljane pogače semena višnje
NDF - neutralna deterdžentska vlakna
ADF - kisela deterdžentska vlakna
ADL - kiseli deteržentni lignin
KZV - kapacitet zadržavanja vode
KZU - kapacitet zadržavanja ulja
KB - kapacitet bubrenja
SRC - sposobnost zadržavanja rastvarača
GLC - gasno-tečna hromatografija
MS - masena spektrometrija
WI - indeks beline
BI - indeks
TAG - triacilgliceroli
FID - detektori jonizacije plamena

SPISAK SLIKA U TEKSTU

Slika 1. Određivanje debljine semena šljive manuelnim mikrometrom	31
Slika 2. Hladno presovanje semena šljive pužnom presom (Gorenje, Slovenija)	32
Slika 3. Tresilica sa setom sita za određivanje frakcija pogača posle mlevenja	32
Slika 4. Postupak zamesa testa.....	35
Slika 5. Tehnološki postupak proizvodnje hleba.....	36
Slika 6. Upakovane vekne svih vrsta proizvedenih hlebova.....	36
Slika 7. Spaljivanje uzoraka hleba pre žarenja	37
Slika 8. Određivanje kapaciteta bubrenja u pogači semena šljive, mešavinma brašna sa pogačom semena šljive i pšeničnom brašnu.....	40
Slika 9. Određivanje sposobnosti zadržavanja rastvarača (mlečna kiselina).....	41
Slika 10. Analizator teksture TA1	41
Slika 11. Analizator teksture TA.XT2.....	42
Slika 12. Određivanje zapremine hleba pomoću VolScan Profiler	43
Slika 13. Uređaj Chroma Meter 400 za određivanje boje uzoraka (www.konicaminolta.eu)	43
Slika 14. Grafički prikaz hemijskog sastava uzoraka semena.	47
Slika 15. Grafički prikaz Kbr (A) i Pbr (B) ispitivanih uzoraka svežeg ulja.	48
Slika 16. Sastav i sadržaj tokoferola u uzorcima ulja.	51
Slika 17. Grafički prikaz indukcionog perioda ulja semena dunje, šljive i višnje određen Rancimat testom.	53
Slika 18. Ramanovi spektri mešavina brašna sa 10, 20 i 30% udelima pogača semena: A) dunje, B) šljive i C) višnje u odnosu na pšenično brašno.	62
Slika 19. PCA Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom dunje i pšeničnog brašna: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.....	68
Slika 20. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačom dunje i pšeničnog brašna.	69
Slika 21. PCA analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom šljive i pšeničnog brašna: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.	70
Slika 22. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačom dunje i pšeničnog brašna.	71
Slika 23. PCA analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom višnje i pšeničnog brašna: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.	72
Slika 24. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačom dunje i pšeničnog brašna.	73
Slika 25. Grafički prikaz SRC vrednosti za ispitivane pogače.	77
Slika 26. Grafički prikaz SRC vrednosti za ispitivane mešavine brašna.	77
Slika 27. Cattelijev scree dijagram posmatranih komponenti.....	81
Slika 28. Ramanovi spektri hlebova obogaćenih sa: A) 10% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje; B) 10% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje; i C) 30% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje.	90
Slika 29. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima od 10% pogače dunje, šljive i višnje i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.	97
Slika 30. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih 10% udelima pogača dunje, šljive i višnje i kontrole.	98
Slika 31. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima pogače dunje, šljive i višnje od 20%, i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.	99
Slika 32. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih sa udelima pogača semena dunje, šljive i višnje od 20% i kontrole.	100
Slika 33. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima pogače dunje, šljive i višnje od 30%, i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.	101

Slika 34. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih sa udelima pogača semena dunje, šljive i višnje od 30% i kontrole.	102
Slika 35. Teksturna svojstva kontrole i obogaćenih hlebova.	104
Slika 36. Boja uzoraka hleba.....	108
Slika 37. Grafički prikaz TPC, FRP, ABTS•+ i DPPH• vrednosti nerastvornih i rastvornih frakcija analiziranih uzoraka hleba.	109
Slika 38. Izgled kontrolnog i obogaćenih hlebova.....	110
Slika 39. Rezultati senzorne analize kontrolnog hleba i obogaćenih hlebova. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost \pm SD (n=10).	111
Slika 40. Promena senzornih karakteristika u% posle 7 dana skladištenja.....	112
Slika 41. Cattelijev scree dijagram posmatranih komponenti.....	114

LISTA TABELA U TEKSTU

Tabela 1. Sadržaj tokoferola u nerafinisanim biljnim uljima (Pravilnik b)	13
Tabela 2. Sadržaj sterola u hladno presovanim uljima (Pravilnik b)	14
Tabela 3. Udeo dodate vode potrebne za zames testa u proizvodnji obogaćenih hlebova.....	35
Tabela 4. Fizičke karakteristike ispitivanog semena (srednja vrednost \pm SD)	46
Tabela 5. Prinos ulja dobijen postupkom hladnog presovanja (HP) i Soxhlet ekstrakcijom (srednja vrednost \pm SD)	48
Tabela 6. Sastav i sadržaj (%) masnih kiselina u ispitivanim uzorcima ulja (srednja vrednost \pm SD)...	49
Tabela 7. Sadržaj fitosterola i skvalena (% od ukupnog sadržaja fitosterola) (srednja vrednost \pm SD) .	52
Tabela 8. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost ispitivanih uzoraka (srednja vrednost \pm SD)	52
Tabela 9. Udeo čestica ispitivanih uzoraka pogača po veličini.....	54
Tabela 10. Osnovni hemijski sastav ispitivanih uzoraka pogača i brašna	54
Tabela 11. Sadržaj i sastav dijetnih vlakana u ispitivanim uzorcima pogača i mešavina brašna.....	58
Tabela 12. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna svojstva (FRP, ABTS•+ i DPPH•) ekstrakata fino samlevene pogače semena dunje, šljive i višnje (srednja vrednost \pm SD)	59
Tabela 13. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna aktivnost (FRP, ABTS•+ i DPPH•) ekstrakata mešavina brašna (srednja vrednost \pm SD).....	61
Tabela 14. Glavne Ramanove trake detektovane u mešavinama sa dodatim pogačama i belom pšeničnom brašnu.....	63
Tabela 15. Izmerena funkcionalna svojstva pogača i mešavina brašna	74
Tabela 16. KMO i Bartlett-ov test.....	78
Tabela 17. Korelaciona matrica ispitivanih varijabli brašna.....	79
Tabela 18. Ukupno objašnjena varijansa.....	80
Tabela 19. Kriterijum za broj komponenti za ekstrakciju	80
Tabela 20. Matrica faktorskih opterećenja pre rotiranja	81
Tabela 21. Korelacija komponenti	82
Tabela 22. a) Matrica faktorskih opterećenja posle Varimax rotacije; b) Matrica transformacije komponenti.....	82
Tabela 23. Vrednost koeficijenata komunaliteta (h^2) posle Varimax rotacije.....	83
Tabela 24. Matrica faktorskih opterećenja posle oblimin rotacije	84
Tabela 25. Hemijski sastav uzoraka hlebova	85
Tabela 26. Sadržaj skroba i saharoze u belom hlebu i obogaćenim hlebovima.....	87
Tabela 27. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna svojstva (FRP, ABTS•+ i DPPH•) ekstrakata obogaćenih hlebova i kontrole (srednja vrednost \pm SD).....	88
Tabela 28. Glavne Ramanove trake detektovane u mešavinama sa dodatim pogačama i belom	91
Tabela 29. Tekstura obogaćenih hlebova i kontrole.....	103
Tabela 30. Fizičke karakteristike vekni kontrole i obogaćenih hlebova (srednja vrednost \pm SD).....	106
Tabela 31. Parametri boje sredine i kore uzoraka hleba	107
Tabela 32. KMO i Bartlett-ov test.....	113
Tabela 33. Ukupno objašnjena varijansa.....	113
Tabela 34. Kriterijum za broj komponenta za ekstrakciju.....	114
Tabela 35. Matrica faktorskih opterećenja pre rotiranja	115
Tabela 36. Korelacija komponenti	116
Tabela 37. Matrica faktorskih opterećenja nakon Varimax rotacije	117
Tabela 38. Vrednost koeficijenata komunaliteta (h^2) posle Varimax rotacije.....	118
Tabela 39. Matrica faktorskih opterećenja nakon Varimax rotiranja komponenti	118
Tabela 40. Matrica transformacije komponenti	119

1. UVOD

Poslednjih godina povećana je potražnja potrošača za hladno presovanim uljima kao alternativnim konvencionalnim proizvodima. Razlog tome je percepcija ovih ulja kao prirodnih, hranljivih i bezbednih prehrambenih proizvoda sa boljim hranljivim i zdravstvenim svojstvima. Pored toga, njihov postupak dobijanja je jednostavan, isključuje termičku obradu i primenu rastvarača (Durazzo i sar., 2021).

Na međunarodnom tržištu već postoje brojna hladno presovana ulja (npr. ulje semena grožđa, devičansko maslinovo ulje, ulje repice, sojino ulje, susamovo, ulje semena crnog kima, amaranta, narandže, semena limuna, nara, čia semena, suncokreta, šafranike, bundeve, lešnika, pistača, oraha, origana, šargarepe, korijandera, kikirikija, avokada, semena paradajza i argana). Međutim, zbog visokih cena, hladno presovana ulja izložena su falsifikovanju sa jeftinijim i nekvalitetnijim rafinisanim uljima biljnog porekla (Durazzo i sar., 2021).

Tradicionalno, otpad od hrane uglavnom se spaljuje ili odlaže na deponije, što posledično dovodi do zagađenja vazduha, vode i zemljišta. Da bi smanjila ove probleme, Evropska unija (EU) promovise smanjenje bacanja hrane i potragu za novim krajnjim upotrebama nusproizvoda hrane. Prateći ove preporuke, nusproizvodi iz nekoliko oblasti poljoprivredno-prehrambene industrije (povrće, voće, pića, šećer, meso, morski proizvodi itd.) mogu predstavljati jeftin izvor potencijalno funkcionalnih ili bioaktivnih jedinjenja. Nusproizvodi različitih prerađivačkih industrija mogu se koristiti za nove prehrambene i farmaceutske proizvode, ili se mogu transformisati u stočnu hranu. Istraživanjima je potvrđeno da su ovi nusproizvodi važan izvor vrednih jedinjenja, kao što su proteini, lipidi, mikronutrijenti, bioaktivna jedinjenja, skrob i dijetna vlakna. Ovi proizvodi se ne koriste samo za dobijanje stočne hrane i raznih đubriva, već i za razvoj funkcionalnih proizvoda (Smeu i sar., 2022).

Nusproizvodi prehrambene industrije razlikuju se u zavisnosti od industrije iz koje potiču i uključuju koru, seme, kominu, pulpu, listove, ljuske, mekinje i jezgra, koji se stvaraju u različitim segmentima lanca prerade. Nusproizvodi koji nastaju u industriji biljnih ulja, kao što su brašno, uljane pogače, smatraju se važnim ekonomskim resursima zbog niske cene i visokog sadržaja bioaktivnih jedinjenja koja su dostupna u velikim količinama. Ovi nusproizvodi pružaju niz mogućnosti u pogledu primene u prehrambenoj industriji. Njihove frakcije su bogate fitonutrijentima kojima se mogu obogatiti prehrambeni proizvodi. Sadašnji trend primene principa cirkularne ekonomije ima za cilj smanjenje stvaranja otpada i korišćenje prehrambenih resursa za dobijanje bioaktivnih jedinjenja koja su od interesa za industriju. Iako postoje očigledne koristi od ponovne upotrebe nusproizvoda, ponovno uključivanje takvih proizvoda u lanac ishrane zahteva temeljnu procenu najprikladnijih postupaka reciklaže i proizvodnje kako bi se obezbedio njihov kvalitet i bezbednost potrošača (Smeu i sar., 2022).

Uljane pogače predstavljaju biomasu koja ostaje posle ekstrakcije ulja. Pošto su povoljnog hemijskog i nutritivnog sastava, odnosno bogate proteinima, vitaminima, mineralima, vlaknima itd., koriste se kao dodatak hrani, kao đubrivo ili izvor energije. Alternativno, zbog visokog sadržaja proteina mogu se koristiti za proizvodnju proteinskih izolata i koncentrata. Druge upotrebe pogača od uljarica uključuju njihovu primenu kao supstrata u proizvodnji enzima, antibiotika, vitamina, pigmenta, aroma i kao izvora antioksidanata (Švarc-Gajić, 2022).

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Poreklo, gajenje i rasprostranjenost ispitivanog voća

Proizvodnja voća i proizvoda od voća može biti veoma isplativa u pogledu izvoza. U tom smislu, neophodno je uvođenje dodatnih mera u pogledu intenziviranja proizvodnje voća, kao i modernizacije i specijalizacije pogona za preradu (Milić i Radojević, 2003). Istovremeno, potrebno je postepeno menjati proizvodnu strukturu u korist deficitarnih vrsta, u koje se između ostalih ubraja i dunja (Milić i sar., 2010). Trenutno u svetu dominiraju tri različita sistema poljoprivredne proizvodnje: „konvencionalna“ (industrijska, velika) poljoprivredna proizvodnja, koja je nastala iz „Zelene revolucije“ Normana Borlauga, visoko je mehanizovana i organizovana, koristi sintetička đubriva, pesticide, a u poslednje vreme i genetski modifikovane organizme (GMO). Drugi tip predstavlja suprotan sistem, koji se nazva "Organska proizvodnja" (regulisan Uredbom Saveta (EZ) 834/2007), koji se oslanja na prirodne inpute, diverzifikaciju i veću radnu snagu, a dobija sve veću popularnost, zajedno sa biodinamikom kao podvarijantom. Poslednji sistem je „Integrirana“ (direktiva 2009/128/EZ), koja predstavlja najbolju praksu upravljanja i nalazi se između konvencionalne i organske proizvodnje (Durham i Mizik, 2021). Prioritet treba dati proizvodnji voća koja se zasniva na principima integralne proizvodnje, gde je zaštita protiv bolesti i štetočina svedena na najmanju moguću meru, ili na plodove iz organske proizvodnje, gde je obavezna upotreba samo prirodnih preparata kako pri đubrenju tako i pri zaštiti. Ovaj tip proizvodnje obezbeđuje voće visokog kvaliteta, a njen prioritet je ekološki aspekt proizvodnje u postupku postavljanja i eksploatacije voćnjaka (Milić i sar., 2010).

2.1.1. Dunja

Dunja, voćka koja se gaji preko 4000 godina, pripada porodici *Rosaceae*, potporodici *Maloideae* (*Pomoidae*) u koju spadaju i jabuka i kruška, i koja ima preko 1000 vrsta i 30 rodova u koje se ubraja rod *Cydonia* koji obuhvata isključivo vrstu *Cydonia oblonga* Mill., a koja obuhvata veliki broj varijeteta (Radović i sar., 2016). Plodovi dunje mogu imati žutu do zlatnožutu boju. U knjigama drevne medicine Rimljana i Persijanaca mogu se pronaći podaci o brojnim upotrebama različitih delova dunje u medicinske svrhe, kao i to da su isti bogati fenolnim komponentama (Abdollahi, 2019).

Plodovi dunje koriste se kao sveže voće i za industrijsku proizvodnju prerađevina kao što su džem, žele, marmelada, konzervisano voće itd. Dunja je ime dobila po grčkom gradu Kidonija (Cydonea) na ostrvu Krit u Grčkoj. Dunja je poreklom iz zapadne Azije, a smatra se da potiče iz oblasti Kavkaza, obuhvatajući Jermeniju, Azerbejdžan, Iran, jugozapadni deo Rusije. Njena proizvodnja je počela da se širi od centra njenog porekla, preko država koje se graniče sa Himalajima ka istoku, a potom i ka zapadnom delu Evrope (Kafkas i sar., 2018).

Smatra se da je 1930-tih poreklo dunje bio Bliski Istok, kao i da je u tom periodu područje Kavkaza bilo bogato divljim vrstama *Cydonia oblonga* (Abdollahi, 2019; Vavilov, 1949). U periodu 2006-2014 bio je zapažen trend širenja divljih genotipova dunje u zaštićenim područjima Turkmenistana i Severnog Irana (Abdollahi, 2019; Khoshbakht i Hammer 2006). Plodovi dunje u ovim područjima pretežno se koriste pri kuvanju i proizvodnji džemova (Abdollahi, 2019). Dunja se uspešno prirodno raširila od Mediterana, umerenih zona Azije, pa sve do južnih i centralnih delova Evrope. Dugim periodom naturalizacije, ova voćka našla je svoje mesto u mnogim delovima sveta. U današnje vreme, dunja se uspešno gaji širom brojnih evropskih zemalja, uključujući Škotsku i Norvešku. Postala je sastavni deo pejzaža i kulture mnogih delova Severne i Južne Afrike, i Amerike. Može se naći i na kontinentima Australije i Okeanije (Gironés-Vilaplana i sar., 2014). Dunja je postala neizostavan deo poljoprivrednih kultura u otprilike 50 zemalja širom sveta, a dve zemlje koje se ističu svojim doprinosom na globalnom nivou su Turska i Kina u kojima plantaže dunje čine značajan deo

ukupne svetske proizvodnje. Ne treba zanemariti doprinos i ostalih proizvođača koji ostvaruju značajne rezultate u proizvodnji dunje (Uzbekistan, Maroko, Iran, Argentina, Azerbejdžan, Španija i Srbija). Sa sve većom potražnjom za ovom voćkom, ulažu se veliki naponi proizvođača iz različitih zemalja koji zajedno doprinose svetskom snabdevanju dunjom. Njihova predanost ovom voćnoj vrsti ne samo da podstiče lokalne ekonomije već obogaćuje i ishranu ljudi na globalnom nivou (Gironés-Vilaplana i sar., 2014).

Najveći deo proizvodnje dunje (71%) koncentrisan je u centralnoj Srbiji, a manji procenat (29%) u severnoj Srbiji. Dunja se najviše gaji u dolini Zapadne i Velike Morave, u Podunavlju, kod Leskovca i Vranja (Radović i sar., 2016). Na teritoriji Srbije najviše se gaje dve sorte dunje: Leskovačka (dominantna) i Vranjska. Postoje pokušaji uvođenja novih sorti dunje koje daju visoke prinose po jedinici površine i plodove dobrog kvaliteta (visokog sadržaja hemijskih jedinjenja poput šećera, kiselina, rastvorljivih komponenti i visokog senzornog kvaliteta, tj. arome), međutim, oni su retki (Radović i sar., 2016).

Iako je dunja jedna od najstarijih voćnih vrsta, i pored skromnih zahteva za uspešno gajenje, otpornosti na brojne štetočine i vremenske nepogode, nedovoljno je zastupljena na teritoriji Srbije. Ima brojne prednosti što se tiče uslova gajenja u odnosu na druge vrste voćaka. Cveta pozno, početkom maja, čime izbegava opasnosti od poznih prolećnih mrazeva. Primenom adekvatnih agrotehničkih mera rod je zagarantovan. Plod je krupan, izražene žute boje i izrazito bogat bioaktivnim supstancama koje pogoduju ljudskom zdravlju (Milić i sar., 2010). Izrazito je bogat monosaharidima (pretežno glukozom i fruktozom), organskim kiselinama (limunska i jabučna), taninima, mineralima (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, J, B, Cu), vitaminima (naročito vitaminima B grupe i vitaminom C) (Radović i sar., 2015; Mratinić, 2010). Dunja ima antioksidativno, antimikrobno, hipoglikemijsko, antiinflamatorno, antikancerogeno i antialergijsko dejstvo (Rather i sar., 2023). Flavonoidi, kvercetin, rutin, kempferol odgovorni su za antioksidativne efekte. Plod dunje je izuzetno bogat pektinskim supstancama što ga čini pogodnim za primenu u prehrambenoj industriji (Al-Zughbi i Krayem, 2022). U narodnoj medicini se plod dunje kao izvor pektina koristio kao zaštita oštećenja kolona kod sindroma iritabilnog creva i peptičkog ulkusa. Seme dunje se tradicionalno koristilo za lečenje dijareje, kašlja, dizenterije, upale grla, zatvora i bronhitisa. Ekstrakt lista dunje se koristio protiv dijabetesa, raka i hemolize (Ashraf i sar., 2016).

U periodu 1999-2008, površina pod dunjom na svetskom nivou bila je 57.557 ha. Primećena je tendencija porasta površina pod dunjom na svetskom nivou, za oko 2,42%. Svetska proizvodnja dunje iznosila je 442.747 t i takođe je primećena tendencija porasta za 2,01%. U Srbiji površina pod dunjom bila je oko 1,81 ha za period 1999-2008 godine. Proizvodnja dunje u Srbiji za pomenuti period bila je 11.456 t, tj. zapažena je tendencija porasta za 1,13% (Milić i sar., 2010).

U svetu zasađeno je 75,532 ha dunje, a ukupan prinos 2022. godine iznosio je preko 702.000 t. Turska je najveći proizvođač dunje, sa oko 16% od ukupne svetske proizvodnje, a posle nje su Kina, Uzbekistan, Iran, Maroko, Argentina i Azerbejdžan (FAOStat, 2022). Što se Republike Srbije tiče, statistika kaže da je u 2022. godini proizvedeno preko 10,000 t ploda dunje na preko 2,000 ha (FAOStat, 2022).

2.1.2. Šljiva

Šljiva pripada rodu *Prunus* L., i porodici *Rosaceae* Juss.. Rasprostranjena je širom Azije, Evrope i Amerike, i smatra se da postoji više od 6.000 sorti. Šljive pružaju širok spektar boje pokožice, ukusa, arome, teksture, oblika i veličine - kvaliteta koji zadovoljavaju sva čula i čine ovo voće popularnijim u odnosu na drugo kontinentalno voće. Šljive imaju ključnu ulogu u genetskom spektru roda *Prunus*, zbog najvećeg diverziteta u odnosu na ostale podrodove. I pored velikog broja različitih sorti šljive, u komercijalnoj proizvodnji dominiraju dve vrste: heksaploidna evropska šljiva (*Prunus domestica* L.) i

diploidna japanska šljiva (*P. salicina* Lindl i njeni hibridi). Za proizvođače i oplemenjivače izazov predstavlja ukrštanje drugih sorti šljiva i srodnih vrsta iz roda *Prunus* u cilju dobijanja novih sorti boljeg kvaliteta i višeg prinosa. Diverzifikacija gajenja šljiva ima potencijal da donese brojne benefite kako za proizvođače tako i za potrošače, pružajući nove ukuse, arome i mogućnosti upotrebe za različite namene. Evropska i japanska šljiva, iako se nalaze u istom taksonomskom odeljku, predstavljaju različite vrste sa specifičnim karakteristikama u pogledu upotrebe, prilagođavanja, porekla i pripitomljavanja. Ove dve vrste uzgajaju se na različitim geografskim lokalitetima: evropske šljive preferiraju hladnije klimate, dok su japanske šljive prilagođene toplijim područjima (Topp i sar., 2012).

Evropska šljiva, koja je najznačajnija na evropskom kontinentu, ali uspeva i na drugim područjima, poreklom je sa Kavkaza, okolina Kaspijskog mora. U svetu, pod različitim vrstama šljive nalazi se 2.619.471 ha. Azija je najveći proizvođač šljive, a slede Evropa i Amerika (Gazdić i sar., 2024). Šljiva predstavlja 2% ukupne svetske proizvodnje voća. Iz grupe kontinentalnog voća, po popularnosti se nalazi na četvrtom mestu posle jabuke, kruške i breskve (Lukač Bulatović, 2020).

Na globalnom nivou među koštičavim voćkama, šljiva zauzima drugo mesto posle breskve. Prema podacima FAO-a iz 2019. godine, ukupna površina pod šljivama širom sveta, uključujući evropske i japanske šljive, kao i njihove hibride, iznosila je preko 2.700.000 hektara, dok ukupna proizvodnja dostiže oko 12.600.000 t. To predstavlja povećanje od 20% u poslednjih deset godina. Kina se ističe kao vodeća zemlja u proizvodnji šljiva sa udelom od 56% ukupne svetske proizvodnje. Slede je zemlje poput Rumunije, Srbije, Čilea, Irana, Sjedinjenih Američkih Država, Turske, Italije, Francuske, Ukrajine i Španije (Sottile i sar., 2022)

Najznačajnije sorte za svežu potrošnju su koje se gaje na teritoriji Srbije su Čačanska lepotica i Čačanska rana (Milatović i sar., 2018). Za svežu potrošnju koriste se i plodovi sorte Stenlej (Milatović i sar., 2011). Čačanska lepotica i Čačanska rodna su domaće sorte šljive, koje uz još 15 drugih (Boranka, Valerija, Timočanka, Čačanska najbolja, Nada, Zlatka, Jelica, Mildora, Krina, Valjevka, Čačanski šećer, Divna i Petra) razvijene su u Institutu za voćarstvo, Čačak, tokom sedamdeset godina rada na oplemenjivanju šljive (Tomić i sar., 2019). Dve autohtone sorte šljiva koje se najviše koriste u Srbiji za proizvodnju rakije su Crvena Ranka i Metlaš koje pripadaju *P. domestica* L. (Milošević i sar., 2023).

Smatra se da konzumacija šljiva može pozitivno uticati na kognitivne funkcije, zdravlje kostiju i faktore rizika za srčane bolesti (Igwe i Charlton, 2016). Plod šljive sadrži tri dominantna šećera, glukozu, fruktozu i saharozu, i šećerni alkohol sorbitol. U plodu se mogu naći i šećeri koji su prisutni u znatno nižim koncentracijama (galaktoza, galaktinol, rafinoza i trehaloza). Od organskih kiselina zastupljene su jabučna, limunska, šikimična, fumarna, hininska i oksalna (Fotirić Akšić i sar., 2023; Drkenda i sar., 2022). Šljive imaju brojna bioaktivna jedinjenja kao što su fenolne kiseline, antocijanini, karotenoidi, flavanoli i razna druga aromatična jedinjenja, zatim tanini, enzimi, minerali (K, P, Ca, Mg, Na, B, Se, Fe, Zn, Mn, Cu) i vitamini A, B, E, C, K. Od fenolnih jedinjenja zastupljena su hlorogenska kiselina, neohlorogenska kiselina, ferulinska kiselina, kofeinska kiselina, *p*-hidroksibenzoeva kiselina, galna kiselina, naringin, resveratrol, katehin, rutin, miricetin i kvercetin (Fotirić Akšić i sar., 2023; Usenik i sar., 2009). Zbog visokog sadržaja pomenutih bioaktivnih jedinjenja, plod šljive ispoljava snažna antioksidativna, antikancerogena, hipoglikemijska, antihipertenzivna, antimikrobna, antialergijska i laksativna svojstva (Fotirić Akšić i sar., 2023; Karasawa i sar., 2012). Globalno gledano, godišnja potrošnja šljiva po glavi stanovnika ostaje niža u poređenju sa potrošnjom breskve. Potrošnja značajno varira od zemlje do zemlje, pa tako na primer, Srbija je zemlja sa najvišom potrošnjom šljiva po glavi stanovnika, gde prosečan stanovnik konzumira 27 kilograma šljiva godišnje. Slede Bosna i Hercegovina, Crna Gora i Rumunija sa takođe visokim nivoima potrošnje šljiva (Sottile i sar., 2022). Evropske šljive imaju brojne načine upotrebe (zbog probavnih laksativnih efekata): kao sveže voće, sušeno voće (suve šljive) i sok od šljiva. Takođe, evropska šljiva se destiluje za proizvodnju rakije, pre svega u slovenskim krajevima centralne i istočne

Evrope. Voće se koristi i za proizvodnju džemova, želea, knedli i paste. Portugalci, na primer, imaju slatkiše poznate kao šljive u sirupu "Ameika d'Elvas," a šljive se koriste i kao sastojci raznih pudinga i konditorskih proizvoda. Japanske šljive se lako prilagođavaju različitim klimatskim uslovima, od umerenih do suptropskih regiona. One su dovoljno otporne na hladnoću da prežive u izuzetno hladnim regionima, kao što su severoistočne kineske provincije, u kojima temperature padaju na -40°C . Konzumiraju se ne samo kao sveže, već se i konzerviraju kako bi se zadržao ukus tokom cele godine. Pored toga, drvo japanske šljive koristi se i kao ukras, što doprinosi bogatoj tradiciji umetničkih dela koja slave lepotu njenih cvetova, posebno u Kini (Topp i sar., 2012). Šljiva nije obično voće, već čini deo bogate kulinarske i kulturne tradicije Evrope i drugih regiona sveta. Raznovrsna upotreba ovog voća doprinosi raznolikosti i bogatstvu naših kuhinja i tradicija (Topp i sar., 2012).

Stvarna proizvodnja šljive u Srbiji iznosila je oko 488.593 t u 2022. godini (FAOStat, 2022). Ukupna proizvodnja šljive u Srbiji ukazuje na trend pada u posmatranom periodu (sa prosečnom godišnjom stopom promene $-0,37\%$), pre svega zbog pada proizvodnje šljive u centralnoj Srbiji.

Sorte šljive između sebe pokazuju relativno ograničenu genetsku varijabilnost. Međutim, ova varijabilnost veća je u poređenju sa drugim komercijalnim vrstama roda *Prunus*. Utvrđeno je da uzgajane diploidne šljive imaju približan nivo raznolikosti kao badem. Zanimljivo je da šljive imaju veći nivo genetske raznolikosti u poređenju sa sortama breskve ili kajsije. Ove činjenice ukazuju na važnost očuvanja i unapređenja genetske raznolikosti u gajenju šljive. Očuvanje genetske raznolikosti može poboljšati otpornost na bolesti, prilagodljivost na različite agroekološke uslove i mogućnost razvoja novih sorti koje mogu zadovoljiti različite potrebe tržišta (Sottile i sar., 2022).

2.1.3. Višnja

Višnja (*Prunus cerasus L.*, porodica *Rosaceae*), često se naziva voćem Istočne Evrope jer se u ovom delu sveta zapravo i nalaze njeni najznačajniji proizvođači. Koristi se kao sveža, ali i za industrijsku preradu (sokovi, kompoti, konditori, namazi, sladoledi, peciva, sušene itd.) (Lukač Bulatović, 2020).

Visok prinos po stablu, lako odvajanje koštice od ploda, jednostavna mehanizovana berba i otpornost na bolesti i insekte važni su kriterijumi za potencijalno gajenje višnje (Yarilgac i sar., 2005). Kvalitet ploda i karakteristike prinosa su esencijalni faktori u programima oplemenjivanja višnje. Struktura stabla i plodova, karakteristike cveta i tolerancija na abiotički i biotički stres utiču na prinos (Yarilgac, 2001).

Višnja je voće koja izaziva mnogo interesovanja kada je reč o njenom poreklu i rasprostranjenosti. Postoje različita mišljenja o tome gde je tačno autohtona, ali je sigurno da ima bogatu istoriju i značajnu zastupljenost u Turskoj. Prema nekim istraživanjima, pretpostavlja se da je višnja autohtona u području između Kaspijskog mora i planina Severne Anadolije. Drugi smatraju da je njeno poreklo blizu Kaspijskog mora i Istanbula. Međutim, postoje i tvrdnje da se njeno poreklo prostire od Švajcarske do Jadranskog mora na jednoj strani i od Kaspijskog mora do severa Evrope na drugoj strani. Bez obzira na tačno poreklo, interesantno je da se višnja ne može naći u velikim količinama ni na jednom od područja njenog porekla (Yarilgac, 2001).

Svaka zemlja u kojoj je proizvodnja višnje zastupljena, najviše se gaji lokalna, autohtona, sorta. Tako se u Danskoj najviše gaji Stevnsbaer, u Mađarksoj Kereška, u Italiji Amarena, u Hrvatskoj Maraska, u Srbiji Oblačinska višnja, dok se u USA najviše gaji sorta Montmorency. Proces oplemenjivanja višnje počeo je u Rusiji i Evropi, u zemljama poput Nemačke, Mađarske i Rumunije. Kasnije, oplemenjivanje višanje se proširilo i u SAD. Programi očuvanja genetskog fonda su usredsređeni na prirodni biodiverzitet i lokalne sorte koje su karakteristične za određeni geografski region. Jedan od ključnih aspekata ovih programa je detaljna analiza nutritivnih svojstava autohtonih sorti, što ima ogroman značaj u postupku selekcije novih genotipova visokog senzornog kvaliteta.

Faktori poput boje, čvrstoće i ukusa su od suštinskog značaja, ali se ne zanemaruje i nutritivna vrednost. Posebna pažnja posvećena je antioksidativnom kapacitetu ovih sorti, što je od presudnog značaja za zdravlje ljudi. Programi gajenja usmereni su na razvoj novih sorti koje ne samo da zadovoljavaju visoke standarde kvaliteta i ukusa, već su i bogate hranljivim sastojcima i antioksidantima. Ovaj pristup omogućava očuvanje lokalnih tradicija i resursa, istovremeno pruža potrošačima zdraviju i ukusniju hranu (Blando i Oomah, 2019).

U Srbiji su bile priznate tri sorte višnje Čačanski Rubin i Šumadinka, obe iz Instituta za istraživanje voća, Čačak, i Lara, iz PKB Agroekonomik instituta, Beograd. U 2014. godini sorte Nevena, Iskra i Sofija (puštene su iz programa oplemenjivanja višnje u Institutu za voćarstvo u Čačku (Fotirić Akšić i sar., 2016). Višnja je dobar izvor kartenoida (β karoten), vitamina (A, B₁, B₂, C, E, K i niacina), minerala (Ca, Fe, K, Na, Mn, P), raznih šećera (fruktoza, glukoza, maltoza), antioksidanata (*p*-kumarinska kiselina) (Shetty i sar., 2020). Fenolna jedinjenja su glavne grupe fitohemikalija ploda višnje koje ispoljavaju širok spektar pozitivnog dejstva po ljudsko zdravlje (Shetty i sar., 2020; Khoo i sar., 2001). Antocijanini imaju širok spektar bioloških svojstava kao što su neuroprotektivni efekti, antioksidativno, antidijabetičko, hepatoprotektivno, diuretično, imunomodulatorno, antiinflamatorno, antimikrobno i antikancerogeno dejstvo. Flavonoidi imaju snažna antioksidativna dejstva u metaboličkim reakcijama zbog njihove sposobnosti da hvataju radikale kiseonika i druge reaktivne vrste (Shetty i sar., 2020; Yadav i sar., 2024). Tradicionalno, višnja se koristila za poboljšanje hroničnih oboljenja nastalih povećanjem oksidativnog stresa kao što je neuropatija (Yadav i sar., 2024).

Proizvodnja i potrošnja višanje značajno je povećana u poslednjih 16 godina zbog sve veće svesti potrošača o koristima koje ovo voće pruža za zdravlje i visokoj antioksidativnoj vrednosti. U tom periodu, svetska proizvodnja višanje je porasla je sa 1,9 na 2,32 miliona tona, od 2000. do 2016. godine. Glavni proizvođači su Turska, Sjedinjene Američke Države, Iran, Italija, Srbija i Španija, a zajedno čine preko 50% ukupne svetske proizvodnje višanja (FAOstat, 2017). Globalna proizvodnja je oko 1.100.000 t višnje. Na prvom mestu po proizvodnji višnje je Turska, a potom slede Poljska, Ukrajina, Iran, SAD, Srbija i Mađarska (Yarilgaç, 2001).

Ukupna proizvodnja višnje u Srbiji bila je 68.892 t u periodu 1960-2018. godine. Proizvodnja višnje u Srbiji ima rastući trend u periodu 2000-2018. godine (sa prosečnom godišnjom stopom promene od 3,61%), pre svega zbog povećane proizvodnje višnje u centralnoj Srbiji (sa prosečnom godišnjom stopom promene od 4,72%) (Lukač Bulatović, 2020).

Osim što se koristi za svežu konzumaciju, značajan deo višanja se prerađuje. Sokovi, džemovi i sirupi od višanja su najpopularni proizvodi. Takođe, neki od plodova se suše raznim tehnikama, te se konzumiraju i kao sušeno voće. Višnje se mogu koristiti i kao sastojak u pekarskoj industriji i u proizvodnji sladoleda. Sve oblasti upotrebe višnje značajno doprinose njenoj privlačnosti i prihvatljivosti kod potrošača. Bez obzira na tačno poreklo, višnja je voće sa bogatom istorijom i raznolikim primenama širom sveta (Yarilgaç, 2001).

2.2. Nusproizvodi industrijske prerade voća

Posle berbe, skladištenja, čuvanja, prerade, distribucije, prodaje i konzumiranja voća, zaostaju ogromne količine otpada koji se nepotrebno rasipaju. Ovi gubici posledica su nenamernih i namernih faktora. Nenamerni gubici odnose se na neadekvatne poljoprivredne tehnologije i nedostatke odgovarajućeg transporta. Namerni gubici rezultat su ljudskih navika u ishrani. Hrana se učestalo baca zbog neadekvatnog upravljanja zalihama. Otprilike 45% voća i povrća se baca širom sveta, što predstavlja jednu od kategorija sa najvećom stopom otpada (Sawicka, 2020). Evropa, Južna Amerika, Severna Amerika i Okeanija suočavaju se sa značajnim količinama otpada, čak 10% više nego u industrijalizovanoj Aziji (FAOstat, 2015). Velika količina otpada u poljoprivredi može dovesti do ekoloških i ekonomskih problema. Otprilike 1,3 milijarde tona bačene hrane izaziva emisiju oko 4,4

gigatona gasova staklene bašte (Lau i sar., 2021; FAOstat, 2015). Gasovi sa efektom staklene bašte uglavnom potiču od deponija hrane koja se razlaže, sa poljoprivrednih gazdinstava i farmi, i od električne i toplotne energije tokom proizvodnje. Na ovaj način stvaran efekat staklene bašte utiče na globalno zagrevanje i klimatske promene (Lau i sar., 2021).

Prema podacima Organizacije Ujedinjenih nacija za hranu i poljoprivredu iz 2017. godine, globalna proizvodnja voća premašila je milijardu tona. Samo Evropa generiše 100 miliona tona otpada i nusproizvoda, od čega je 26% povezano sa industrijom pića, a 14,8% sa kompanijama koje se bave preradom voća i povrća. Velike količine otpada, obogaćenog biološkim jedinjenjima, predstavljaju potencijalnu opasnost jer izazivaju fenomen fitotoksičnosti, ometanje rasta biljaka, kontaminaciju vodenih sredina, loš kvalitet vode za piće, inhibiciju klijanja semena i zdravstvene probleme kod životinja koje se hrane tim otpadom. Međutim, uz pravilno tretiranje, ova vrsta otpada može se iskoristiti kao jeftina sirovina bogata biokomponentama koje imaju vrednost za druge industrije. Primenom različitih tehnika ekstrakcije, prečišćavanja i analitičkih metoda moguće je povratiti važne bioaktivne komponente iz otpada dobijenog proizvodnjom i preradom voća i pretvoriti ih u obogaćene proizvode koji se mogu primeniti u drugim industrijama. Odlaganje i obrada biološkog otpada na odgovarajući način mogu doprineti zatvaranju bioekonomskih lanaca, i smanjenju štetnog uticaja na životnu sredinu (Fierascu i sar., 2020).

Na godišnjem nivou, smatra se da se hrana u vrednosti od 940 milijardi dolara gubi ili rasipa, a Svetska banka procenjuje da bi 40 miliona dolara ekonomske dobiti moglo da se postigne uz smanjenje gubitaka posle žetve za samo 1%. Ogromna količina otpada privukla je pažnju istraživača da pronađu alternativu za korišćenje nusproizvoda prerade voća i povrća. Korišćenje poljoprivrednih nusproizvoda ne samo da pomaže farmerima i ekonomiji kupaca, već može povećati održivost hrane i smanjiti kvantitativnu nestabilnost hrane, posebno u nerazvijenim zemljama (Lao i sar., 2021).

Ako se pođe od podatka da oko 820 miliona ljudi na globalnom nivou gladije, neophodno je naći alternativne izvore hrane visoke nutritivne vrednosti. Alternativni i inovativni izvori hrane bi ispunili potrebu za ishranom eksponencijalno rastuće ljudske populacije jer je potrebno 70% više hrane da bi se potkrepio nedostatak i nedostupnost hrane. Međutim, značajna količina nusproizvoda iz industrije prerade voća odbacuje se zbog neefikasnog upravljanja i sistema odlaganja. Otpad iz proizvodnje i prerade voća je dokazano bogat izvor hranljivih i bioaktivnih komponenti i ima značajan uticaj na ekonomiju i bezbednost životne sredine (Teshome i sar., 2023).

Brojna bioaktivna jedinjenja (vitamini, minerali, lipidi, proteini, ugljeni hidrati, polifenolna jedinjenja, antioksidanti) koja zaostaju u otpadu posle industrijste prerade voća mogu se koristiti u prehrambenoj, kozmetičkoj ili farmaceutskoj industriji. Da bi se to omogućilo, metode ekstrakcije moraju biti razrađene za svaki nusproizvod proizveden u poljoprivredno-prehrambenoj industriji. Tradicionalne metode pretežno se koriste i pored toga što uzrokuju veliku potrošnju energije, a ponekad i degradaciju termolabilnih jedinjenja. Održive metode se kontinuirano razvijaju unapređenjem i optimizacijom postojećih postupaka uz poštovanje principa zelene tehnologije. Delovi u kojima se mogu naći najveće koncentracije npr. polifenolnih komponenti, a koji se svrstavaju u nusproizvode industrije voća su kora, pulpa, seme ili komina. Polifenoli su termolabilni, što može uticati na smanjenje njihove koncentracije, te u njihovom slučaju treba izbegavati ekstrakciju koja podrazumeva primenu povišenih temperatura. Uglavnom se za ova jedinjenja koriste ekstrakcije koje uključuju pritisak, ultrazvuk i mikrotalase. Tehnike ekstrakcije obuhvataju postupke pre i posle tretmana. Postupci predtretmana primenjuju se za uklanjanje lignina, smanjenje kristalnosti celuloze i povećanje poroznosti ćelija. Polifenoli nekovalentno stupaju u interakciju sa polisaharidima i ne mogu se ekstrahovati polarnim rastvaračima (Fierascu i sar., 2020).

Sa nutritivne tačke gledišta otpad poput kore, lista i semena, bogatiji su u količini fitohemikalija u poređenju sa samim plodom. Pokožica ploda, kao otpad prilikom prerade voća je prirodni izvor rastvorljivih i nerastvorljivih dijetnih vlakana, pektina i fenolnih antioksidanata. Postoje indicije o

terapeutskim svojstvima ovih nusprodukata i njihovom pozitivnom efektu pri prevenciji bolesti kao što su dijabetes, kardiovaskularne bolesti, gojaznost i kanceri (Teshome i sar., 2023).

Nusproizvodi kao izvori biomolekula

Bioaktivna jedinjenja su prirodna ili sintetička jedinjenja koja mogu da ispolje biološku aktivnost u komponentama živog tkiva proizvodeći širok spektar efekata (antioksidativni, antimikrobni, antiinflamatorni, prebiotički). Klasifikuju se prema fizičko-hemijskim karakteristikama, rasprostranjenosti u prirodi, putu biosinteze ili na osnovu njihovih bioloških i farmakoloških efekata. Ova klasifikacija rezultira velikom heterogenošću hemijskih jedinjenja, koja se generalno javljaju u hrani. Obnavljanje bioaktivnih komponenti iz nusproizvoda može dodatno doprineti ekonomiji, ako se koriste kao nove sirovine u proizvodnim postupcima. U poslednje vreme, metode „zelene“ ekstrakcije bioaktivnih jedinjenja kao što su ultrazvučna, mikrotalasna, enzimaska i superkritična ekstrakcija su prevazišle konvencionalne metode (maceracija, infuzija, Sokhlet ekstrakcija), koje su skupe, dugo traju i zahtevaju veliku količinu organskih rastvarača. Bioaktivna jedinjenja iz nusproizvoda već se primenjuju u oblasti pakovanja, kao eko-aditivi (punila, plastifikatori, boje, antioksidanti), za poboljšanje funkcionalnih i strukturnih svojstava širokog spektra biomaterijala, a predstavljaju alternativu i interesantan metod za tehnološki napredak (Messinese i sar., 2023).

Bioaktivna jedinjenja definišu se kao esencijalna i neesencijalna jedinjenja (npr. vitamini i polifenoli) koja se javljaju u prirodi, a koja mogu imati blagotvorni efekat na zdravlje ljudi. Otpad u proizvodnji i preradi ponekad ima nutritivni ili funkcionalni sadržaj bolji od finalnog proizvoda. Razvoj hrane od nusproizvoda iz različitih agroindustrija odlična je alternativa za korišćenje sekundarnih prehrambenih proizvoda. Nusproizvodi poljoprivredne i prehrambene industrije mogli bi se revalorizovati zbog niske cene, dostupnih količina, i zbog toga što su izvori brojnih korisnih biomolekula i prekursora bioaktivnih komponenti (Ruiz Rodriguez i sar., 2021). Mogućnost iskorišćenja nusproizvoda za ljudsku ishranu i hranu za životinje varira od sektora do sektora u prehrambnoj industriji (Reis, Rai i Abu-Ghannam, 2012).

Nusproizvodi voća su odličan izvor bioaktivnih jedinjenja: fenolna jedinjenja (fenolne kiseline, karotenoidi, flavonoidi), bioaktivni proteini (izolati peptida, aminokiseline), masne kiseline, vlakna itd. Seme voćaka su dobar izvor esencijalnih ulja, fitohemikalija i fitosterola (Patra i sar., 2022; Mahato i sar., 2019). Pokožica se karakteriše visokim sadržajem pektina, vlakana i minerala (Patra i sar., 2022; Marić i sar., 2018; Mena-García i sar., 2019). Ova bioaktivna jedinjenja mogu se ekstrahovati različitim tehnologijama i dalje se koristiti za razvoj različitih obogaćenih proizvoda, poput funkcionalne hrane ili dijetetskih suplemenata. Na ovaj način se i odlaganje otpada u životnu sredinu značajno može redukovati (Patra i sar., 2022). Zbog visoke antioksidativne i antimikrobne aktivnosti, ova jedinjenja imaju odbrambeno dejstvo prema hroničnim bolestima, pa tako redukuju mogućnost pojave i razvoj kancera, katarakte, Alchajmerove bolesti, Parkinsonove bolesti i kardiovaskularnih bolesti (Patra i sar., 2022).

Nusproizvodi prerade dunje

Dunja je nedovoljno iskorišćena voćna vrstakoja ima pozitivne efekte na ljudsko zdravlje zbog nutritivnog sastava. Koristi se u svežem stanju, ali češće za proizvodnju džemova, kompot, želea, kolača, sokova i marmelada. Ima veliku ulogu u prehrambenoj industriji, za konzervisane proizvode zbog visokog sadržaja pektina. Njeni ekstrakti dodaju se jogurtima, sladoledima, čajevima, konditorskim proizvodima kako bi se poboljšao kvalitet i povećala nutritivna vrednost. Dunja i njeni ekstrakti imaju antikancerogeno, hipoglikemijsko, antiinflamatorno, antimikrobno, antialergijsko i antiulcerativno dejstvo (Rather i sar., 2023; Hanan i sar., 2023). Jedna od primena nusproizvoda dunje

je korišćenje sluzi semena u proizvodnji biorazgradive ambalaže. Ova sluz se pokazala dobro i u očuvanju sušenog voća sa aspekta usporavanja narušavanja spoljašnjeg izgleda, dodatnog sušenja tokom skladištenja, poboljšanja kvaliteta, smanjenja indeksa tamnjenja i antimikrobne aktivnosti (Rather i sar., 2023).

Plodovi i sok od dunja sadrže značajnu koncentraciju procijanidina, kojima se pripisuje blago opor i gorak ukus. Karakteristična aroma dunje pripisuje se i prisustvu flavanola, njihovom stepenu polimerizacije i rezidualnim sadržajima pektina. Što se nutritivnog sadržaja dunje tiče, 100 g svežeg voća obezbeđuje 176 kJ energije, 0,6 g proteina, 0,9 g kiselina, 9,1 g ugljenih hidrata, 86,9 g vode, 0,6 g pepela, 1,9 g vlakana, 0,10 g ukupnih lipida (Rather i sar., 2023; Kafkas i sar., 2018.). Od kiselina najzastupljenije su limunska, kininska, jabučna, šikiminska i fumarna. Ugljeni hidrati prisutni u plodu i semenu su celuloza, d-ksiloza i mala količina L-arabinoze. U plodu dunje zastupljena je 21 aminokiselina, što je najveća koncentracija aminokiselina u poređenju sa ostalim voćem (Sabir i sar., 2015).

Seme čini 5-9% svežeg voća. Sadrži oko 6,1-16,8% ulja na suhu masu semena (Górnaš i sar., 2014). Ovalnog je oblika i pljosnato. Dužina semena može varirati od 5 do 10 mm, širina 2 do 5 mm i debljina oko 2 mm. Semena su obložena suvom sluzi, koja se vidi u formi beličastih pahuljica na površini. Ova sluz se dobija iz ćelija epidermisa omotača semena. Seme je zašiljeno na jednom kraju, gde se hilum pojavljuje kao malo svetlija tačka, a na distalnom kraju je oblo. Ima ukus koji podseća na gorke bademe, ali slabijeg intenziteta. Aroma na gorke bademe objašnjava se prisustvom amigdalina u malim količinama (Mall, 2020).

Seme dunje bogato je fenolnim komponentama. Ukupni sadržaj fenola u semenu dunje je približno 0,1 g/kg, od kojih 63-66% čine C-glikozil flavoni. Sadržaj organskih kiselina se kreće između 0,5-0,8 g/kg. Kininska kiselina zajedno sa jabučnom kiselinom čini između 45-61% ukupne količine zastupljenih organskih kiselina. Limunska i askorbinska kiselina su u semenu dunje zastupljene u velikim količinama, oko 20% i 27%, redom, dok fumarne kiseline ima jako malo (< 1%). Od aminokiselina, najzastupljenije su glutaminska, asparaginska kiselina i asparagin koje čine 60-75% sadržaja ukupnih aminokiselina (Silva i sar., 2005).

Bogat sadržaj proteina je takođe karakterističan za seme dunje. Čak i posle ljuštenja i odmašćivanja semena, sadržaj proteina ostaje visok, i može iznositi i do 55%. Visoka koncentracija albumina i glutelina ukazuje na to da se proteini jednostavno mogu izdvojiti i koristiti za industrijske potrebe (Deng i sar., 2019).

Oko 15% semena dunje čine hidrofilni polisaharidi. Pored polisaharida, mogu se naći i pektinske supstance (1,4%) i hemiceluloza (22,9%). Hidrolizom se oslobađaju sledeći šećeri (molarni odnosi): glukoza (34,9), ksiloza (14,2), galaktoza (6,3), arabinoza (2,4), manoza (1,0) i galakturonska kiselina (u tragovima), što ukazuje da preovlađuje ksiloglukan (BeMiller i sar., 1993).

Seme dunje sadrži i veliki udeo ulja (oko 17 g/100g) koje je bogato tokoferolima, od kojih najveći biološki značaj ima α -tokoferol. Prema literaturnim podacima količina α -tokoferola u ulju semena dunje može biti 500-800 mg/kg, što je znatno više u odnosu na njegov sadržaj u „uobičajenim“ (komercijalnim) uljima (Wang i sar., 2017).

Od masnih kiselina dominantne su linolna, oleinska i palmitinska, koje čine 95,7% ukupnog sastava masnih kiselina ulja semena dunje. S obzirom na to da je seme dunje bogato fenolnim komponentama, tokom hladnog presovanja značajan deo fenolnih komponenti prelazi u ulja, a ostatak zaostaje u uljanoj pogaçi. Njihovo prisustvo ima pozitivan uticaj na oksidativnu stabilnost kako ulja, tako i gotovih proizvoda (Górnaš i sar., 2014).

Nusproizvodi prerade šljive

Proizvodnja i prerada šljive široko je rasprostranjena u Evropi. Prehrambena industrija proizvodi sušene i konzervisane šljive, sokove i džem od šljiva, a pored toga u nekoliko evropskih zemalja šljive se koriste i za proizvodnju alkoholnih pića. Prerodom se stvaraju velike količine otpada koji pretežno čini koštica šljive. Osim što se koristi kao sirovina za biodizel, jeftin izvor bioaktivnih peptida, aktivnog uglja ili ugljeničnih adsorbenata, seme šljive se može koristiti i kao izvor jestivog ulja čiji prinos može biti i preko 50% (Vladić i sar., 2020).

Posle industrijske prerade šljive u brojne prehrambene proizvode zaostaju tone nusproizvoda: koštica sa semenom šljive, pokožica, i trop, koji se mogu potencijalno koristiti kao izvor jestivog ulja i bioaktivnih supstanci poput fitosterola, skvalena i karotenoida. Seme šljive ima veliki potencijal kao nekonvencionalni izvor ulja. Takođe, ovaj nusproizvod prerade šljive može se koristiti kao sirovina za proizvodnju šećera, fenola i proteina. Fenolne kiseline, katehin i epikatehin su glavna fenolna jedinjenja u semenu šljive (Fotirić Akšić i sar., 2019).

Potražnja za relativno jeftinim izvorima proteina raste na globalnom nivou, a seme šljive sadrži značajnu količinu proteina čiji potencijal nije dovoljno iskorišćen. Proteini semena šljive sadrže šarenolik skup esencijalnih aminokiselina. Proteini semena šljive mogu se smatrati korisnim sredstvom za redukovanje degenerativnih bolesti, a identifikovano je više od dvadeset i jednog bioaktivnog peptida sa prirodnim antioksidativnim i antihipertenzivnim efektima (Muzaffar i sar., 2022).

Značajna količina ulja može se dobiti iz semena šljive, koje se koristi u kozmetici, farmaciji i u prehrambenoj industriji zbog prisustva brojnih bioaktivnih jedinjenja (kao što su vanilin, hlorogen, siringinske kiseline i rutin), koja su odgovorna za antioksidativni potencijal. Najveće koncentracije masnih kiselina u ulju semena šljive imaju linolna i oleinska kiselina, a od drugih jedinjenja zastupljeni su fitosteroli i tokoferoli čija koncentracija zavisi od sorte šljive (Muzaffar i sar., 2022).

Ulje dobijeno od semena šljive sadrži lipofilne antioksidante, fitosterole i nezasićene masne kiseline. Stabilno je i ima mali rizik od pojave užglosti zbog prisustva većeg udela nezasićenih masnih kiselina. Veće koncentracije oleinske i linolne kiseline u ulju semena šljive čine ga nutritivno vrednim jestivim uljem i bogatim sastojkom kozmetičkih preparata (Muzaffar i sar., 2022).

Posle hladnog presovanja pored ulja semena šljive, ostaje značajna količina uljane pogače sa izuzetno visokim sadržajem proteina. Uljana pogača semena šljive može se smatrati jeftinim i dostupnim izvorom proteina (čak i do 40%), čime se uobičajeni pekarski proizvodi za koje je karakterističan nizak sadržaj proteina mogu na jednostavan način obogatiti. U uljanoj pogači šljive mogu se naći i esencijalne aminokiseline, arginin i leucin, a od neesencijalnih dominira glutaminska kiselina. Jedino što može da ograniči konzumiranje uljane pogače semena šljive je visoka koncentracija amigdalina, cijanogenog glikozida koji sam po sebi nije toksičan, ali u prisustvu enzima se hidrolizuje na benzaldehid koji je toksičan, iz čega se zaključuje da se posebna pažnja mora pokloniti određivanju udela brašna semena šljive u proizvodnji pekarskih proizvoda (Čakarević i sar., 2019).

Efikasan i ekološki prihvatljiv pristup odlaganja koštica i semena šljive smanjio bi štetne uticaje na životnu sredinu. Seme šljive može se koristiti za proizvodnju funkcionalnih proizvoda jer sadrži i značajne količine lipida, proteina, vitamina, minerala i vlakana. Cijanogeni glikozid (amigdalina) ima pozitivan uticaj na zdravlje, ako se unosi u kontrolisanim količinama (Muzaffar i sar., 2022).

Nusproizvodi prerade višnje

Višnja se retko konzumira kao sveže voće, uglavnom se prerađuje u sokove, džemove, marmelade, prelive, alkoholna pića i ostale prerađevine (Dimić i sar., 2022). Godišnje se prerađuje oko 85% ploda višnje u sok, koncentrate ili smrznute višnje bez koštica što akumulira veliku količinu otpada (koštica sa semenom i trop). Najveći deo otpada ovog tipa koristi se kao stočna hrana ili se

odbacuje. Trop višnje je bogat izvor bioaktivnih jedinjenja (antocijanini, polifenoli, flavonoli, pigmenti) koja se mogu primeniti u prehrambenim i farmaceutskim proizvodima. Seme višnje je po količini drugi nusproizvod posle konzervisanja ili zamrzavanja. Seme višnje pokazalo se kao dobar izvor fenolnih i antioksidativnih jedinjenja, masti, proteina i dijetnih vlakana. Dominantna komponenta semena višnje je ulje, koje je bogato polinezasićenim i mononezasićenim masnim kiselinama. Lizin (esencijalna aminokiselina) i glutaminska kiselina (dominantna aminokiselina), minerali (kalcijum, kalijum), i grupa B vitamina (B₁, B₃, B₅ i B₆) mogu se takođe naći u značajnim količinama u semenu višnje (Yilmaz i Gökmen, 2013).

Koštica čini 7-15% celog ploda višnje. S obzirom na tako veliki udeo, koštica višnje povećava industrijski otpad i predstavlja problem što se tiče njenog odlaganja. Interesantno je da se upravo ona može koristiti kao odličan izvor proteina, dijetnih vlakana, lipida i polifenola. Već postoji oblast koja se bavi preradom koštice, ali se njeno iskorišćenje kao nusproizvoda uglavnom zasniva na ekstrahovanju ulja, ili u obliku apsorbenta šestovalentnog hroma u zagađenim vodama ili u proizvodnji goriva. Ukratko, koštica višnje se sastoji od dva dela: ljuske (75-80%) i jezgra (20-25%). Ljuska se koristi za proizvodnju goriva, dok se seme uglavnom koristi kao izvor ulja. Pretpostavlja se da seme višnje sadrži između 15-35% ulja, da je bogato mineralnim materijama, ugljenim hidratima i proteinima. Dominantna aminokiselina je glutaminska, dok je lizin kao esencijalna aminokiselina u semenu zastupljen sa čak 5%. Od minerala dominantni su kalijum i kalcijum, a obiluje i fenolnim jedinjenjima (antocijanidini, procijanidini, flavonoidi itd.), esencijalnim masnim kiselinama, karotenoidima, sterolima, skvalenima, tokoferolima itd. (Yilmaz i sar., 2018).

Seme višnje može se posmatrati kao nusproizvod koji može biti potencijalni izvor jestivog ulja i proteina. Profil masnih kiselina pokazuje visok sadržaj nezasićenih masnih kiselina: oleinske kiseline (42,9%) i linolne kiseline (38,2%). Seme višnje bogato je i ugljenim hidratima (46,9%), proteinima (29,3%) i uljem (17,0%). Dijetna vlakna čine najveći deo ugljenih hidrata (oko 30%), dok se šećeri nalaze u veoma malim količinama (oko 2,9%) u semenu. Od vitamina se u semenu višnje mogu naći u vodi rastvorljivi B₁, B₃, B₅ i B₆, dok vitamin B₁₂ i askorbinska kiselina nisu detektovani u jezgru koštice (Yilmaz i Gökmen, 2013). Seme višnje može biti odličan izvor ulja koje je bogato bioaktivnim jedinjenjima koja imaju antioksidativna, antimikrobna i antiinflamatorna dejstva. Ulje je bogato fenolnim jedinjenjima, sterolima, trigliceridima i digliceridima (Dimić i sar., 2022).

2.3. Postupak hladnog presovanja

Zbog brojnih nedostataka ekstrakcije rastvaračima, koji su toksični, skupi i veoma štetni po životnu sredinu, sve češće se primenjuju alternativne metode dobijanja ulja koje se zasnivaju na mehaničkim sistemima (Çakaloğlu i sar., 2018).

Presovanje je tehnološki postupak u toku kojeg se iz pripremljenog semena, mehaničkim putem, primenom pritiska, izdvaja (cedi) ulje. Za izdvajanje ulja iz sirovog semena uljarica najčešće se koriste pužne prese. Princip rada se zasniva na tome da pužni transporter, smešten u koš prese, potiskuje materijal iz većeg u manji zatvoreni prostor, što izaziva sabijanje materijala usled čega dolazi do porasta pritiska i izdvajanja ulja. Na izlazu iz prese se nalazi konus pomoću koga se reguliše debljina pogače koja izlazi iz prese, a posredno preko debljine pogače reguliše se radni pritisak u presi i količina zaostalog ulja u pogači (Dimić, 2005; Panpraneecharoen i Chumanee, 2022).

Pri proizvodnji hladno presovanih ulja visina temperature ulja koje napušta presu je izuzetno bitna. Prema literaturnim podacima temperatura izlaznog ulja pri presovanju semena uljarica, u cilju proizvodnje hladno presovanih ulja, ne bi smela da bude viša od 50 °C (Dimić, 2005).

Pored hladno presovanog ulja, koje ima izvorne senzorne karakteristike, jedna od prednosti hladnog presovanja je i dobijanje nutritivno bogatog nusproizvoda koji se naziva pogača (Çakaloğlu i sar., 2018).

Nedostatkom postupka presovanja se može smatrati to što prinos ulja može biti niži u poređenju sa ekstrakcijom rastvaračem, tako da u zavisnosti od sirovine i prese 15-20% ulja može da zaostane u pogači (Çakaloğlu i sar., 2018).

Univerzalna presa za sve vrste uljarica ne postoji i većina njih namenjena je za presovanje 6-8 vrsta uljarica (Dimić, 2005).

2.4. Bioaktivne komponente ulja

Masne kiseline

Masne kiseline su glavni gradivni elementi acilglicerola (mono-, di- i triacilglicerola) i drugih klasa lipida, kao što su: fosfolipidi, glikolipidi, voskovi i dr. Sastoje se od pravog (ravnog) lanca ugljenikovih atoma, najčešće sa parnim brojem C atoma, a molekul se završava karboksilnom grupom.

Masne kiseline se dele po nekoliko osnova: prema broju ugljenkovih atoma u lancu, prema odsustvu ili prisustvu nezasićenih veza, prema broju i položaju nezasićenih veza i prema prostornoj orijentaciji kiselinskih ostataka oko nezasićenih veza (*cis* i *trans* izomeri).

Na osnovu odsustva ili prisustva nezasićenih veza u lancu, masne kiseline se dele na:

- *zasićene* – u kojima su zastupljene samo zasićene veze, i
- *nezasićene* – sa nezasićenim dvostrukim vezama, najčešće od 1 do 6. Nezasićene masne kiseline mogu biti:
 - *mononezasićene* – sa jednom dvostrukom vezom, ili
 - *polinezasićene* – sa 2 do najviše 6 dvostrukih veza.

Zasićene masne kiseline su linearni ugljovodonični lanci sa parnim brojem C atoma u kome nema dvostrukih veza. Najzastupljenije zasićene masne kiseline u biljnim uljima su buterna (C_{4:0}), laurinska (C_{12:0}), miristinska (C_{14:0}), palmitinska (C_{16:0}) i stearinska (C_{18:0}).

Nezasićene masne kiseline karakteriše prisustvo jedne ili više nezasićenih dvostrukih veza, koje su u prirodnim uljima i mastima uglavnom u *cis* formi.

Mononezasićene masne kiseline (MUFA) imaju jednu dvostruku vezu. Identifikovano ih je preko 100, uglavnom sa *cis* konfiguracijom. U biljnim uljima najzastupljenija MUFA je oleinska masna kiselina (C_{18:1}).

Za polinezasićene masne kiseline (PUFA) karakteristično je prisustvo dve ili više dvostruko nezasićenih veza u *cis*-konfiguraciji. Veze su razdvojene jednom metilenskom (-CH₂-) grupom. U zavisnosti od položaja prve nezasićene veze, računajući od krajnje metil (-CH₃) grupe, polinezasićene masne kiseline su podeljene u familije. Dve najznačajnije familije su ω-3 i ω-6, bazirane na α-linolensku i linolnu masnu kiselinu, respektivno. Ove dve masne kiseline nazivaju se esencijalnim, jer se ne mogu se sintetisati u ljudskom organizmu i dobijaju se samo konzumiranjem hrane (Rabrenović i Vujasinović, 2021).

Većina biljnih ulja sadrži u određenom procentu linolnu i α-linolensku masnu kiselinu (Perry i sar., 2006). Upravo ove omega masne kiseline značajno utiču na povećanje HDL-holesterola (dobar holesterol) i snižavaju LDL-holesterol (loš holesterol). Oleinska kiselina snižava LDL-holesterol bez uticaja na nivo HDL-holesterola. Takođe, ove masne kiseline imaju odličan antioksidativni kapacitet i štite organizam od oštećenja slobodnim radikalima i deluju protiv kardiovaskularnih i degenerativnih bolesti. Zbog toga nezasićene masne kiseline jestivog ulja imaju ključnu ulogu u metabolizmu lipida (Ananth i sar., 2019).

Ulja semena dunje, šljive i višnje karakterišu uglavnom nezasićene masne kiseline. Dok su u ulju semena dunje dominantne PUFA, za ulje semena šljive i višnje karakterističan je visok sadržaj MUFA (Górnaš i sar., 2013; Yilmaz i sar., 2020). Sadržaj linolne masne kiseline (C_{18:2}) u ulju semena dunje je bio 52% (Mieriņa i sar., 2011) odnosno 52,36% (Górnaš i sar., 2013), a druga po sadržaju je

bila oleinska masna kiselina (C_{18:1}) sa 35% (Mieriņa i sar., 2011) odnosno 33,8% (Górnaš i sar., 2013). Ulje semena višnje je veoma specifično, jer je prema većini autora u ulju dominantna oleinska masna kiselina (C_{18:1}) sa sadržajem koji se kreće u rasponu 41,1 – 63,9% (Deineka i sar., 2002; Matthäus i Özcan, 2009), dok je linolna (C_{18:2}) zastupljena u rasponu 27 – 46,1% (Matthäus i Özcan, 2009; Górnaš i sar., 2016). Međutim, prema nekim istraživanjima sadržaj ove dve masne kiseline može biti skoro ujednačen, kao što navode Deineka i sar. (2002) i Yılmaz i Gökmen (2013).

Za ulje semena šljive karakterističan je visok udeo oleinske masne kiseline (C_{18:1}), koja procenutalno može biti zastupljena i do 78,5% (Matthäus i Özcan, 2009), dok se sadržaj linolne masne kiseline kreće do 29% (Deineka i sar. 2002). Prema sastavu masnih kiselina ulje semena šljive veoma podseća na maslinovo ulje.

Polazna sirovina, koja je okarakterisana kao otpad, predstavlja materijal sa velikim potencijalom za preradu u hladno presovana ulja, jer dobar i izbalansiran odnos masnih kiselina koji je karakterističan za ulje semena višnje, dunje i šljive, čini ih nutritivno veoma vrednim.

Tokoferoli

Tokoferoli su među najvažnijim antioksidansima fenolnog tipa koji se rastvaraju u lipidima. Po hemijskom sastavu su visokomolekularni ciklični alkoholi, metil derivati tokola, koji imaju i bočni lanac izoprenskog tipa. Tokoferoli i tokotrienoli postoje kao četiri homologa (α , β , γ i δ), koji se međusobno razlikuju po broju i lokaciji metil grupa u svojoj hemijskoj strukturi. Razlika između tokoferola i tokotrienola je u prisustvu tri dvostruke veze na pozicijama 3', 7' i 11' u bočnom lancu tokotrienola. Postojanje tri hiralna centra odgovorno je za postojanje osam stereoizomera za svaki tokoferol, dok svaki tokotrienol ima samo dva stereoizomera zbog nedostatka hiralnih centara u njihovim bočnim lancima (Shahidi i Camargo, 2016).

Svi izomeri tokoferola pokazuju E vitaminsku aktivnost, ali pojedini je najviše ispoljavaju u procesima *in vivo* (u živom organizmu) kao što je α -tokoferol, koji štiti lipide ćelijskih membrane od oksidacije, dok neki izomeri, kao što su γ i δ , *in vitro* imaju ulogu snažnog antioksidansa i inhibitora oksidacije u uljima i mastima i svim prehrambenim proizvodima koji sadrže lipide. Antioksidativna aktivnost homologa tokoferola opada po redosledu $\delta > \beta > \gamma > \alpha$ *in vitro*, dok se *in vivo* aktivnost vitamina E, smanjuje redosledom $\alpha > \beta > \gamma > \delta$. Iako ne postoji značajna razlika u apsorpciji tokoferola iz gastrointestinalnog trakta, najveća aktivnost α -tokoferola može se objasniti njegovim zadržavanjem i inkorporacijom u lipoproteine preko proteina za prenos α -tokoferola u jetri (Jukić Špika i sar., 2015)

Tokoferoli deluju kao antioksidanti tako što uklanjaju peroksi radikale polinezasićenih masnih kiselina ili reaguju sa singletnim kiseonikom i drugim reaktivnim vrstama kiseonika. Završetak lančane reakcije oksidacije polinezasićenih masnih kiselina postiže se doniranjem atoma vodonika iz hidroksilne grupe na hromanolnom prstenu tokoferola što dovodi do formiranja „tokoferil radikala“. Tokoferil radikal (TO.) ima manju sposobnost da propagira peroksidaciju u poređenju sa peroksi radikalom. Zapravo, tokoferil radikal reaguje sa drugim peroksi radikalom ili tokoferil radikalom formirajući stabilnije proizvode (Rabrenović i Vujašinović, 2021).

Tabela 1. Sadržaj tokoferola u nerafinisanim biljnim uljima (Pravilnik b)

mg/kg	Suncokretovo ulje	Susamovo ulje	Ulje semena grožđa	Ulje palminog semena
α -tokoferol	403-935	ND-3,3	16-38	ND-44
β -tokoferol	ND-45	ND	ND-89	ND-248
γ -tokoferol	ND-34	521-983	ND-73	ND-257
δ -tokoferol	ND-7,0	4-21	ND-4	ND

Sirova i jestiva nerafinisana tj. hladno presovana ulja sadrže veću količinu tokoferola u odnosu na rafinisana ulja, s obzirom na to da se u toku procesa rafinacije, posebno u fazi

deodorizacije/dezoneutralizacije, deo tokoferola neminovno gubi. Tokoferoli u hladno presovanim uljima potiču direktno iz semena u onim količinama koje diktira specifična tehnologija za hladno presovanje ili vrsta sirovine, a uz to prisutni su u onim koncentracijama koje približno odgovaraju optimumu njihove aktivnosti (Rabrenović i Vujašinović, 2021).

Prema literaturnim podacima, γ -tokoferol je izomer tokoferola koji je dominantan u ulju semena višnje i šljive, sa sadržajem koji se kreće u rasponu 57,99 – 197,2 mg/100g ulja (Uluata i Özdemir, 2017; Matthäus i Özcan, 2009) i 60,7 – 302,10 mg/100g ulja (Hassanein, 1999; Matthäus i Özcan, 2009), respektivno. U ulju semena dunje, prema Górnaš i sar. (2013), dominantan je α -tokoferol sa procentualnim udelom 93,7% u ukupnom sadržaju tokoferola. U literaturi su veoma oskudni podaci koji se odnose na sastav i sadržaj tokoferola u ulju semena dunje.

Fitosteroli

Fitosteroli su steroli biljnog porekla, a po sastavu su policiklični alkoholi u čijoj strukturalnoj osnovi je ciklopentanofenantren. Prema literaturi postoji više od 100 vrsta fitosterola i 4000 vrsta triterpena. β -sitosterol, kampesterol, stigmasterol, brasikasterol i $\Delta 5$ -avenasterol su najzastupljeniji fitosteroli u biljkama (Kumar i sar., 2016). U biljkama se nalaze u slobodnom obliku, kao sterol-estri (uglavnom sa masnim kiselinama), kao sterol-glikozidi i acilovani sterol-glikozidi, dok su u biljnim uljima uglavnom u slobodnom obliku ili esterifikovani masnim kiselinama. Poslednjih godina, fitosteroli privlače sve veće interesovanje zbog hipoholesterolemijskog kapaciteta i potencijalnog uticaja na smanjenje rizika od kardiovaskularnih bolesti. Rezultati nekih istraživanja su pokazala da fitosteroli mogu delovati tako što smanjuju apsorpciju holesterola različitim mehanizmima. Fitosteroli imaju i druga dejstva, kao što su antiinflamatorno, imunomodulatorno i antikancerogeno (Yang i sar., 2019).

Ove vredne fitohemikalije su prisutne u minornim količinama, tako da dnevna potrošnja hrane nije dovoljna da ispuni stvarne potrebe u ishrani. Stoga bi njihovo izolovanje iz uljarica u svrhu obogaćivanja namirnica bio najbolji način da se iskoriste njihovi benefiti. Na tržištu danas postoje masni namazi slični margarinu koji su obogaćeni biljnim stanolima i sterol-estrima u količini koja potrošačima obezbeđuje optimalnu količinu fitosterola (Kumar i sar., 2016). U tabeli 2. dat je sadržaj dominantnih fitosterola u pojedinim hladno presovanim uljima.

Tabela 2. Sadržaj sterola u hladno presovanim uljima (Pravilnik b)

%	Suncokretovo ulje	Susamovo ulje	Ulje semena grožđa	Ulje palminog semena
β -sitosterol	50-70	57,7-61,9	64,0-70,0	62,6-73,1
kampesterol	6,5-13,0	10,1-20,0	7,5-14,0	8,4-12,7
stigmasterol	6,0-13,0	3,4-12,0	7,5-12,0	12,0-16,6

Uljarice poput uljane repice, soje i suncokreta se smatraju bogatim izvorima fitosterola. Međutim, ova ulja se ne konzumiraju u sirovom obliku jer obično prolaze kroz procese rafinacije kao što su degumiranje, neutralizacija, beljenje i deodorizacija kako bi se uklonile nepoželjne supstance kao što su slobodne masne kiseline, soli metala, sluzaste materije i fosfolipidi koji narušavaju miris, boju i ukus. Kao rezultat procesa rafinacije, mnoga korisna jedinjenja, uključujući fitosterole, se gube (Kumar i sar., 2016).

Iz tog razloga prednost je upravo u hladno presovanim uljima kao izvoru ovih bioaktivnih komponenata. Dominantan fitosterol u uljima semena višnje, šljive i dunje je β -sitosterol sa procenutalnim udelom 77%–82%, 82,9%–84,9% i 82,9% od ukupnog sadržaja fitosterola, redom (Górnaš i sar., 2016; Anwar i sar., 2014; Górnaš i sar., 2013). Pored β -sitosterola u ulju semena višnje mogu se naći i značajne koncentracije kampesterola, $\Delta 5$ -avenasterola, $\Delta 7$ -stigmasterola i $\Delta 7$ -avenasterola, pri čemu na sadržaj pojedinih fitosterola u velikoj meri utiče sorta (Górnaš i sar., 2016).

Za ulje semena šljive, osim β -sitosterola, karakterističan je i 5-avenasterola, kampesterol i Δ^7 -avenasterol (Anwar i sar., 2014).

Fenolna jedinjenja

Fenolna jedinjenja su široko rasprostranjena u biljnom svetu i predstavljaju sekundarne proizvode metabolizma biljaka. Sastoje se od jednog ili više aromatičnih prstenova za koje su direktno vezane jedna ili više hidroksilnih grupa. Pokazuju izuzetnu raznolikost i do sada ih je prepoznato preko 8000 i podeljeno u klase kao što su fenolne kiseline, obojeni antocijani, prosti i složeni flavonoidi (Vuolo i sar., 2019). Antioksidativno dejstvo ispoljavaju kao redukujući i helatni agensi, prekidanjem lančane reakcije i vezivanjem za radikale lipida prevodeći ih u stabilnija jedinjenja i kao hvatači slobodnog kiseoničnog radikala (Pićurić-Jovanović i Milovanović, 2005).

Sadržaj fenolnih jedinjenja u biljnim uljima je od posebnog značaja jer zajedno sa tokoferolima imaju veoma važnu ulogu u nutritivnom kvalitetu i održivosti ulja tokom skladištenja i upotrebe. Međutim, zbog ograničenog prelaska fenolnih jedinjenja u ulje tokom ekstrakcije ili hladnog presovanja, njihov ukupan sadržaj u uljima je prilično nizak (Yılmaz i Gökmen, 2013).

Kada je u pitanju ulje semena dunje i ulje iz semena roda *Prunus*, kome pripadaju višnja i šljiva, podaci vezani za sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja u literaturi su veoma oskudni i uglavnom se odnose na direktnu vezu između njihovog ukupnog sadržaja i antioksidativnog potencijala (Natić i sar., 2015).

2.5. Reakcije kvarenja ulja

Biljna ulja su veoma podložna kvarenju koje je najčešće posledica hemijskih reakcija i enzimskih procesa. Hemijske reakcije koje se dešavaju tokom skladištenja sirovine i ulja i obrade istih mogu dovesti do formiranja jedinjenja koja uzrokuju neprijatan miris i ukus ulja, smanjuju kvalitet i nutritivna svojstva ulja (Dimić, 2005).

Hidrolitičko kvarenje

Hidrolitičko kvarenje nastaje kao posledica hidrolize triacilglicerola u prisustvu vode i lipolitičkih enzima, a kao proivodi reakcije nastaju slobodne masne kiseline i parcijalni gliceroli. Step en hidrolitičke razgradnje prati se preko sadržaja slobodnih masnih kiselina u ulju, a izražava putem kiselinskog broja, kiselinskog stepena ili procenta slobodnih masnih kiselina (Dimić i Turkulov, 2000).

Skladištenje semena, posebno u uslovima visokog sadržaja nečistoće i vlage, pojačava hidrolitičke procese, uzrokujući visok sadržaj slobodnih masnih kiselina u hladno presovanom ulju. Novonastale slobodne masne kiseline podložne su oksidaciji i prooksidativnom delovanju, što negativno utiče na održivost i oksidativnu stabilnost ulja (Dimić i sar., 2016). Uklanjanje nečistoća i ljuske semena pre presovanja doprinosi redukovanom sadržaju slobodnih masnih kiselina i vlage u proizvedenom ulju. Povećan sadržaj vlage u nerafinisanom ulju može izazvati hidrolitičke promene, što rezultuje gubitkom senzornog kvaliteta ulja (Dijkstra, 2016).

Oksidacija

Oksidativna stabilnost jedan je od najvažnijih parametara za procenu kvaliteta ulja, koji definiše otpornost ulja na oksidativne procese. Oksidacija se odvija na nezasićenim masnim kiselinama i može se javiti tokom proizvodnje i skladištenja ulja ili tokom njegove termičke obrade, što za posledicu ima

opadanje kvaliteta ulja. Ulja sa visokim sadržajem polinezasićenih masnih kiselina (linolna i linolenska) veoma su podložna oksidativnom kvarenju. Međutim, stabilnost ulja ne zavisi samo od sastava masnih kiselina, već i od sadržaja antioksidanasa, primarnih i sekundarnih oksidacionih proizvoda, teških metala i drugih kontaminanata koji mogu ubrzati ili inhibirati proces oksidacije. Oksidacija lipida je proces koji uzrokuje pogoršanje kvaliteta jestivog ulja formirajući neprijatan ukus i miris na užeglo. To je lančana reakcija slobodno-radikalskog tipa, koju karakterišu tri faze: inicijacija, propagacija i terminacija (Choe i Min, 2006).

Reakcija inicijacije je endotermna reakcija tokom koje se odvija homolitičko cepanje kovalentne veze C-H u ugljovodoničnom lancu molekula masne kiseline (RH) sa formiranjem slobodnog radikala vodonika (H•) i radikala masne kiseline (R•). Ova reakcija može biti katalizovana prisustvom kiseonika, toplote, metalnih jona, ultraljubičastog i vidljivog svetla (Choe i Min, 2006).

Reakcija propagacije odigrava se između kiseonika i visoko reaktivnog radikala masne kiseline (R•) koji formira primarna oksidativna jedinjenja koja su visoko reaktivna (peroksilni radikal (ROO•)). Nestabilni peroksilni radikal reaguje sa nezasićenim masnim kiselinama i formira hidroperoksid (ROOH) koji je marker za početak oksidacije i novoformirani reaktivni radikal masne kiseline koji bi mogao da pokrene dalju oksidaciju i slobodnoradikalnu lančanu reakciju. Formiranje peroksil radikala i hidroperoksida zavisi od prisustva kiseonika i toplote (Choe i Min, 2006).

U prisustvu metala (npr. gvožđa i bakra u nerafinisanim uljima) i/ili na visokim temperaturama, antioksidansi u uljima se troše, a nestabilni hidroperoksidi se razlažu do radikala (RO) koji potom formiraju neisparljive sekundarne produkte oksidacije kao što su aldehidi, ketoni, kiseline, estri, alkoholi i kratkolančani ugljovodoniči (Gupta, 2005).

U reakciji terminacije slobodni radikali interaguju jedni sa drugima i formiraju neradikalne relativno stabilne proizvode. Antioksidansi poput fenola (AH) mogu da promovišu proces terminacije i na taj način skraćuju sekvencu propagacije u mehanizmu autooksidacije (Choe i Min, 2006).

Ulja sa visokim udelom nezasićenih masnih kiselina, kao što su hladno presovana ulja semena šljive, višnje i dunje, podložna su oksidativnom kvarenju i zato je veoma važno da tokom proizvodnje, manipulacije, skladištenja i upotrebe budu u što manjem kontaktu sa kiseonikom, da budu ambalažirana u tamnu, staklenu ambalažu i da se ne izlažu visokoj temperaturi (Dimić, 2005).

2.6. Oksidativna stabilnost ulja

Oksidativna stabilnost jestivih ulja može se definisati kao vreme tokom kojeg se ulje može sačuvati od oksidacije (Dimić i Turkulov, 2000). Proizvodi oksidacije imaju negativan uticaj na kvalitet ulja, zbog čega je određivanje oksidativne stabilnosti primarni korak u proceni kvaliteta i bezbednosti jestivih ulja (Symoniuk i sar., 2018).

Za ispitivanje oksidativne stabilnosti biljnih ulja koriste se različite metode. Jedna od najpopularnijih je testiranje roka trajanja u realnim uslovima. Test roka trajanja uključuje stavljanje uzoraka ulja na police i procenu njegovih osnovnih karakteristika kvaliteta u redovnim vremenskim intervalima. Zbog dugog trajanja testa (nekoliko meseci), za određivanje oksidativne stabilnosti ulja uglavnom se koriste ubrzane metode koje su jednostavne i ne zahtevaju reagense (Symoniuk i sar., 2018).

Rancimat test je ubrzana metoda za procenu oksidativne stabilnosti koja omogućava brzo određivanje vremena stabilnosti izlaganjem uzorka ulja visokoj temperaturi i konstantnom protoku kiseonika. Oksidativna stabilnost u Rancimat testu označava se kao indukcioni period (IP) (h) ili indeks oksidativne stabilnosti. Što je IP duži, ulje ima bolju oksidativnu stabilnost i obrnuto. Vreme indukcije odgovara naglom porastu provodljivosti vode u mernoj posudi, koja zavisi od isparljivih jedinjenja nastalih razgradnjom nestabilnih peroksida tokom prve faze oksidacije (Symoniuk i sar., 2018).

Oksidativna stabilnost zavisi uglavnom od sastava masnih kiselina, ali i od sadržaja antioksidanasa i drugih komponenta koje se nalaze u ulju (Symoniuk i sar., 2018).

Hladno presovano ulje semena šljive zbog visokog udela MUFA odlikuje se dobrom oksidativnom stabilnošću. Prema podacima u literaturi IP (h) određen Rancimat testom na 100 oC kretao se između 33,6 – 44,4 h, u zavisnosti od porekla koštica dobijenih iz različitih faza prerade šljive tokom proizvodnje rakije šljivovice (Rabrenović i sar., 2021). Podaci o oksidativnoj stabilnosti hladno presovanog ulja semena višnje i dunje su veoma retki u literaturi. Symoniuk i sar. (2018) su primenom Rancimat testa ispitivali oksidativnu stabilnost ulja semena japanske dunje dobijenog superkritičnom ekstrakcijom i dobili IP od 3,24 h. Značajno kraći IP od svega 1,5 h imalo je ulje semena višnje dobijeno klasičnom ekstrakcijom (Uluata i Özdemir, 2017).

2.7. Uljane pogače

Uljane pogače su sporedni proizvod čvrstog agregatnog stanja koji se dobija posle hladnog presovanja ulja (Teh i Bekhit, 2015). Mogu se podeliti na dve kategorije: jestive i nejestive. Jestive uljane pogače potiču iz semena uljarica koje se koriste u ljudskoj ishrani ili kao hrana za životinje. Nejestive pogače sadrže toksične supstance ili druge nečistoće, zbog čega nisu pogodne za upotrebu u hrani za životinje ili ljude (Sunil i sar., 2016). Neke uljane pogače sadrže antinutritivna jedinjenja poput fitata, inhibitora tripsina i pepsina i drugih, koja mogu smanjiti biodostupnost nutrijenata u organizmu. Međutim, njihova koncentracija i aktivnost su niske i mogu se reduovati termičkom obradom, čime se poboljšavaju njihove senzorne karakteristike i bezbednost za ljudsku upotrebu (Sunil i sar., 2016). Sastav uljanih pogača zavisi od načina prerade i izdvajanja ulja iz semena (Kumar i sar., 2024), kao i od vrste ili sorte uljarice/semena (Bárta i sar., 2021).

Proteini i polisaharidi iz uljanih pogača mogu apsorbovati i zadržati vodu, što je značajno za poboljšanje vlage, teksture i roka trajanja proizvoda poput hleba i mesnih preradevina (Özbek i Ergönül, 2022). Uljane pogače su generalno bogate polinezasićenim masnim kiselinama (Gupta i sar., 2019), antioksidativnim jedinjenjima, pepelom, vlakanima, ugljenim hidratima, vitaminima i mineralima (Bárta i sar., 2021). Uljane pogače, kao i njihova brašna, predstavljaju izvore proteina koji su lako svarljivi i nutritivno izbalansirani (Bárta i sar., 2021).

Prvobitna primena uljanih pogača, usled bogatog sadržaja proteina i esencijalnih aminokiselina, bila je u proizvodnji hrane za životinje (Vichare i Morya, 2024; Kotecka-Majchrzak i sar., 2020). Takođe, primenu su našle i u proizvodnji organskih đubriva koja povećavaju produktivnost useva (Singh i sar., 2022). Međutim, danas se sve više koriste u cilju obogaćivanja hrane za ljudsku upotrebu, od kojih su najširu primenu našle uljane pogače soje, kikirikija, uljane repice, suncokreta, šafranike, kokosa i lana (Vichare i Morya, 2024). Pored svoje uloge u ishrani, uljane pogače mogu se koristiti u proizvodnji biogoriva, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji (Vichare i Morya, 2024). Pored nutritivnih karakteristika, uljane pogače imaju funkcije emulgovanja, vezivanja vode, stvaranja pene, zgušnjavanja i modifikacije teksture. Mogu obogatiti hranu funkcionalnim komponentama, poboljšati stabilnost i strukturu proizvoda, kao i apsorpciju vode i ulja (Vichare i Morya, 2024).

Primena i karakteristike određenih vrsta uljanih pogača

Uljana pogača semena **šljive** obiluje sadržajem proteina, dijetnih vlakana, ugljenih hidrata, minerala, polifenola, amigdalina i dr. Predstavlja jeftin i lako dostupan izvor proteina sa potencijalno lakom primenom u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Za kvalitet pogače šljive, od izuzetnog je značaja sadržaj vlage, jer se na osnovu njega procenjuju uslovi skladištenja pogače (ispod 10-12%). Pored sadržaja vlage, bitan faktor predstavljaju i dijetna vlakna koja su izvor mineralnih i vitaminskih komponenti koje imaju važnu ulogu u ljudskom organizmu. Blago kisela priroda pogače

semena šljive objašnjava se prisustvom organskih kiselina koje potiču iz samog semena šljive. Pogača semena šljive može se koristiti za poboljšanje zapremine hleba i stabilizaciju koloidnih sistema zbog mogućnosti stvaranja gela. Komercijalno dostupno brašno od semena šljive koristi se kao dodatak ishrani koji jelima daje aromu marcipana. Može se koristiti za proizvodnju hleba i peciva. Koristi se kao i ostala bezglutenska brašna, u količinama od maksimalno 40 g po receptu. Pogača šljive bi zbog svog nutritivnog sastava se mogla koristiti kao sirovina za razvoj održivih funkcionalnih proizvoda (Savić i Savić-Gajić, 2022).

Uljana pogača semena **višnje**, prema istraživanju Krulj i sar. (2021) imala je nizak sadržaj vlage i samim tim mogućnost skladištenja u trajanju od nekoliko meseci. Utvrđen je nizak sadržaj mineralnih materija, sirovih proteina, lipida, ali prilično visok sadržaj ukupnih dijetnih vlakana, što se moglo objasniti visokim udelom semenjače u brašnu pogače semena višnje. Prema svom nutritivnom sastavu, pogača semena višnje može naći primenu kao sirovina za proizvodnju funkcionalne hrane bogate vlaknima, ili za proizvodnju hrane za životinje (Krulj i sar., 2021).

Pregledom literature na temu sastava pogače semena **dunje** i njene upotrebe nisu pronađeni podaci. Deng i sar. (2020) su ispitivali proteinsku frakciju semena dunje posle odmašćivanja u Soxhletu. Oni su utvrdili da su albumin i glutelin glavne proteinske frakcije semena kineske dunje, dok su globulini i prolamini detektovani u znatno nižim koncentracijama. Glutaminska aminokiselina u ove dve proteinske frakcije je bila dominantna i njoj se pripisuje dobar antioksidativni kapacitet. Detektovane su bile i asparaginska kiselina i arginin. Glutelin je pokazao zadovoljavajući kapacitet zadržavanja vode (5,44 g/g) i kapacitet zadržavanja ulja (8,15 g/g). Na osnovu sastava i svojstava glutelin ima potencijal da se koristi kao aditivi u hrani, poput kobasica i hlebova (Deng i sar., 2020).

Mnogo više literaturnih podataka na temu sastava i primene pogača mogu se naći za neke standardne uljarice kao što su pogača kikirikija, semena susama, suncokreta i lana.

Uljana pogača **kikirikija** sadrži 45-60% proteina, 22-30% ugljenih hidrata, 3,8-7,5% dijetnih vlakana i 4-6% minerala. Ova pogača, ima potencijal za primenu u prehrambenim proizvodima, kao što su animalni proizvodi, fermentisani proizvodi, kompozitna brašna, proteinski dodaci za pekarske proizvode i dečija hrana, ali je još uvek nedovoljno zastupljena u formulacijama hrane (Ranjan i sar., 2018).

Uljana pogača semena **susama** sadrži lignane, koji imaju antioksidativnu ulogu i mogu pomoći u sprečavanju oksidacije lipida (Ali i sar., 2014). Nutritivna vrednost ove pogače pripisuje se visokom sadržaju kalcijuma, antioksidanata, vlakana, nezasićenih masnih kiselina i vitamina E zbog zaostalog ulja, kao i prisustvu proteina, od kojih većinu čine globulini. Može poslužiti kao funkcionalni sastojak u prehrambenim proizvodima, naročito pekarskim (Nouska i sar., 2024).

Uljana pogača semena **suncokreta** sadrži esencijalne aminokiseline (cistein, metionin, leucin, valin), vitamine i minerale (fosfor, tiamin, riboflavin, nikotinska i pantotenska kiselina) (Petraru i sar., 2021). Blicharz-Kania i sar. (2023) su u svom radu ispitali mogućnost primene uljane pogače semena suncokreta u proizvodnji bezglutenskog hleba, gde je sa povećanjem udela pogače sadržaj vlage, volumen hleba opadao, a sadržaja proteina, masti, vlakana i polifenola rastao.

Uljana pogača semena **lana** koristi se kao stočna hrana zbog visokog sadržaja proteina, ugljenih hidrata i minerala. Pogača lana zadržava antioksidativna svojstva celog semena. Osim nutritivnih vrednosti, laneno seme ima i funkcionalne prednosti, poput antifungalne aktivnosti i emulgatorskih sposobnosti (Bekhit i sar., 2018).

2.8. Brašno

Pšenično brašno je osnovni sastojak pekarskih proizvoda, a od kvaliteta brašna zavisi kvalitet gotovih pekarskih proizvoda. Brašno za proizvodnju hleba zahteva visoku moć apsorpcije vode, dobru jačinu glutena i visok stepen oštećenog skroba i arabinoksilana (Kweon i sar., 2011). Mogućnost

analize individualnog funkcionalnog doprinosa svake funkcionalne komponente brašna omogućuje proizvođačima da bolje predvide ukupnu funkcionalnost brašna i dobiju optimizovan kvalitet proizvoda. U ove svrhe koristi se SRC (sposobnost zadržavanja rastvarača) metoda (Kweon i sar., 2011).

Hemijski sastav brašna

Skrob je najzastupljenija komponenta pšeničnog brašna. Sadržaj skroba varira u zavisnosti od vrste brašna i pšenice i iznosi oko 70% izraženo na suhu materiju. Skrob se nalazi u endospermu semena u obliku mikroskopskih čestica ili granula. Konstitutivne jedinice granula skroba su amiloza i amilopektin. Skrob se u većini pekarskih proizvoda javlja u dve faze: rastvorni polimer i ostaci granula. Odnos rastvorljivih polimera i ostataka granula zavisi od sadržaja vode u sistemu. Takođe značajan je i dostupan nivo šećera. Visoki nivoi šećera povećavaju tačku topljenja skrobnih kristala, čime se kontroliše temperatura želatinizacije skroba. Posle hlađenja i skladištenja dolazi do reasocijacije lanaca skroba koja se naziva retrogradacija. Odnosi se na „vraćanje“ skroba na njegovu početnu kristalizaciju. Na retrogradaciju skroba utiče i prisustvo šećera, soli i lipida (Sievert i sar., 2007).

Oštećeni skrob nastaje kao rezultat mlevenja na mlinu sa valjcima kada su granule skroba podvrgnute silama smicanja. Sile smicanja mogu poremetiti kristale unutar granula skroba. Kao rezultat raspada kristala, granule skroba bubre u vodi na sobnoj temperaturi i lako se hidrolizuju α -amilazom. Što je pšenica tvrđa to su sile smicanja veće i samim tim se dobija više oštećenog skroba. U slučaju tvrde pšenice koja se melje u hlebno brašno oštećeni skrob je prednost zato što povećava apsorpciju vode i na taj način daje veći prinos testa. Više testa je direktno povezano sa većom količinom dobijenih gotovih proizvoda. Bubrenje i solubilizacija skroba zajedno sa interakcijama skrobnih granula iz glutena povećavaju jačinu testa. Što je veća jačina testa to je širenje testa gasovima koji nastaju tokom fermentacije teže. Razgradnjom oštećenog skroba smanjuje se jačina testa i omogućava se da se testo lakše širi tokom fermentacije i pečenja. Rezultat je povećana zapremina gotovog proizvoda (Sievert i sar., 2007).

Pšenični gluten sastoji se od dve klase proteina, prolamina koji se označavaju kao glijadini i glutelina koji se označavaju kao glutenini. Proteini glutena su odgovorni za viskoelastična svojstva testa koja omogućavaju zadržavanje gasa tokom fermentacije. Mešavina hidratisanog glijadina je viskozna, lepljiva i ima malo elastičnih svojstava, hidratisani glutenin ima jaka elastična svojstva. Glutenin postaje umrežen tokom pečenja i zajedno sa ugrađenim skrobom određuje reološka svojstva sredine hleba (Sievert i sar., 2007).

Pšenica, kao i ostala žita, ima nizak sadržaj lipida (oko 2,0%). Lipidi nisu ravnomerno raspoređeni po zrnu. Klica sadrži najveći nivo lipida (oko 28%), a endosperm najmanji (oko 1,5%). Od 1,5% lipida koji se nalaze u brašnu, jednu polovinu čine nepolarni lipidi (triacilgliceroli, masne kiseline, steroli i njihovi estri), a drugu polovinu jako polarni (fosfolipidi i glikolipidi). Polarni lipidi imaju izražena svojstva surfaktanta i igraju funkcionalnu ulogu u proizvodnji pekarskih proizvoda (Sievert i sar., 2007).

Sadržaj pepela (minerala) u pšenici uglavnom se kreće od 1,5 do 2,0%. Pepeo nije ravnomerno raspoređen u zrnu. Unutrašnji endosperm ima relativno nizak sadržaj pepela (0,3%), dok je u mekinjama više pepela i može da sadrži čak 6%. Sam pepeo ne utiče na reologiju brašna. Međutim, visok sadržaj pepela ukazuje na prisustvo mekinja u brašnu, a mekinje sadrže jedinjenja koja generalno imaju negativan uticaj na postupak pečenja hleba (Sievert i sar., 2007).

2.9. Hleb

Pšenični hleb čini osnovu ishrane u zemljama u razvoju (Aghalari i sar., 2022). Proizvodi od pšenice (pekarski proizvodi), jedan su od primarnih izvora dnevnog energetskog unosa (Mercado i sar., 2022). Druge vrste žita, leguminoze, pa čak i određena semena mogu da se samelju približno na granulaciju brašna i koriste u proizvodnji pekarskih proizvoda (Cauvain i Young, 2007).

Hlebovi od rafinisanog pšeničnog brašna su široko prihvaćeni od strane kupaca, iako su deficitarni vitaminima, mineralima, lizinom, dijetnim vlaknima i antioksidativnim komponentama, a imaju visok glikemijski indeks. Ovaj nedostatak bi se mogao redukovati upotrebom integralnog pšeničnog brašna ili drugim alternativnim izvorima za bolju ravnotežu ishrane (Mercado i sar., 2022).

Trend je korišćenje alternativnih izvora proteina u rafinisanom pšeničnom hlebu kako bi se poboljšao sadržaj proteina, vlakana i balans aminokiselina. Ove komponente bi mogle povećati antioksidativni potencijal i smanjiti glikemijski indeks hleba. Parametri kao što su reološka svojstva testa, tekstura i druge senzorne karakteristike (izgled, ukus i miris), kod novih proizvoda sa dodacima, su modifikovani u poređenju sa tradicionalnim hlebom. Nutritivni kvalitet proteina razlikuje se prema postupku dobijanja, sastavu esencijalnih amino kiselina, njegovoj svarljivosti, bioraspoloživosti i prisustvu antinutritivnih faktora (Mercado i sar., 2022).

Porast interesovanja za funkcionalnom hranom može se povezati sa rastućom svesti o zdravom životu, povećanim troškovima zdravstvene zaštite, skupljim svakodnevnim životom, produženjem životnog veka i željom starijih da unaprede i očuvaju svoje zdravlje. Hleb kao svakodnevna namirnica, je idealan proizvod kao praktičan način za unos fenolnih antioksidanata i vlakana u većim količinama (Zain i sar., 2022).

Prilikom formiranja recepture za proizvodnju funkcionalno obogaćenog hleba mora se voditi računa o boji, teksturi i ukusu hleba, potencijalanom uticaju po zdravlje, potencijalnom redukovanju kalorija, redukovanju ugljenih hidrata, interakciji sa drugim sastojcima, vremenu proizvodnje, dobrom volumenu i specifičnoj zapremini, kao i vremenu pečenja. Pekarska industrija unapređuju nutritivni sastav svojih proizvoda smanjujući kalorije, ugljene hidrate i masnoće, dok povećava sadržaj vlakana i proteina. Da bi produžili trajanje proizvoda i sprečili rast plesni, koriste prirodne inhibitore plesni (Ibrahim i sar., 2015).

Za funkcionalno obogaćivanje hleba najčešće su u upotrebi sojino brašno, brašno od slatkog krompira i laneno seme, cela zrna (heljda, amarant, kinoa i raž), ekstrakt zelenog čaja, lekovito i začinsko bilje, voće i nusproizvodi prerade voća, uključujući uljane pogače različitih semena (Ibrahim i sar., 2015).

Polazne sirovine

Voda i brašno su najvažniji sastojci za pravljenje hleba, jer najviše utiču na svojstva teksture. Brašno čini osnovu i svi ostali sastojci se izražavaju procentualnim učešćem u odnosu na brašno. U recepturi osim brašna ostali sastojci najčešće učestvuju sa sledećim udelima: voda 50%, kvasac 2%, šećer 4%, so 2% i šortening 3%. Hleb je kvasni proizvod dobijen fermentacijom šećera koji se oslobađa iz skroba delovanjem prirodnih enzima brašna. Fermentaciju izaziva pekarski kvasac *Saccharomyces cerevisiae*. Usled fermentacije šećer se razgrađuje na H₂O i CO₂. Za pokretanje fermentacije dodaje se šećer. So se dodaje da ojača gluten i da se kontroliše aktivnost kvasca (Mondal i Datta, 2008).

Zames

Zames je jedan od ključnih koraka koji određuju mehanička svojstva testa koja direktno utiču na kvalitet gotovog proizvoda. Mešenjem se komponente koje ulaze u sastav hleba homogenizuju,

obežbeđuje se hidratacija komponenti, unosi neophodna mehanička energija za razvoj glutena i ugrađuju se mehurići vazduha u testo. Svako testo mora se mesiti optimalno vreme, a u ovoj fazi testo pruža maksimalnu otpornost na ekstenziju. Usled nedovoljnog mešenja mogu se izdvojiti nehomogenizovani i nedovoljno hidratizani delovi koji negativno utiču na proces fermentacije. Usled prekomernog mešenja, svojstva testa menjaju se od dobrih (glatko i elastično) do loših (opušteno i lepljivo), a primetno je smanjenje konzistencije, tj. slabljenje glutena. Testo za hleb treba da bude rastegljivo i dovoljno elastično za širenje i zadržavanje oslobođenih gasova (Rosell, 2011).

Kada se pšenično brašno i voda pomešaju u različitim proporcijama, formira se žitko testo na početku kada je voda u velikom višku (60% vode na količinu brašna), do suve ali kohezivne mase kada je brašno u velikom višku (< 35% vode). Kada se takav sistem neprekidno mesi, postaje manje vlažan i lepljiv i formira se testo sa kohezivnim i viskoelastičnim svojstvima (Sievert i sar., 2007).

Kada testo ispolji svoj maksimalan otpor na istezanje, smatra se da je razvijeno. Sve čestice brašna su tada hidratizovane. Na kinetiku razvoja testa utiče sadržaj proteina brašna. Brašno sa niskim sadržajem proteina (< 12%) zahteva duže vreme mešenja. Sadržaj proteina u brašnu iznad 12% ne utiče na vreme mešenja (Sievert i sar., 2007). Unošenje vazduha tokom mešenja testa neophodno je kako bi se dobio gotov pekarski proizvod dobre zapremine, strukture i teksture. Vazdušni mehurići koji se stvaraju u testu tokom mešenja su mesta nukleacije u koja tokom fermentacije prodire CO₂ koji proizvodi kvasac. Ukoliko ne bi došlo do zadržavanja vazdušnih mehurića u testu i ulaska CO₂ u njih, sredina gotovog proizvoda bi bila gruba (Sievert i sar., 2007).

Brašno sa višim sadržajem proteina daje jače testo sa većom elastičnošću i većom otpornošću na mešenje. Mehanizam kojim određene podjedinice visoke molekulske mase daju svojstvo elastičnosti testa u toku postupka proizvodnje hleba povezan je sa njihovom strukturnom konformacijom. Ponavljajući domeni podjedinica visoke molekulske mase imaju β -heliks konformaciju koja može biti elastična i stoga je od značaja za postizanje elastičnosti glutena. U određenim podjedinicama postoji mogućnost formiranja intralančanih disulfidnih veza. Položaj i orijentacija cisteinskih ostataka unutar podjedinica visoke molekulske mase, koje su sposobne da formiraju intramolekularne disulfidne veze utiču na stvaranje polimerne strukture glutenina. Ova struktura je ključni faktor koji određuje jačinu i elastičnost testa (Sievert i sar., 2007).

Smanjenje konzistencije testa usled prekomernog mešenja, odnosno slabljenje testa, praćeno je razgradnjom makropolimerne strukture glutenina usled kidanja disulfidnih veza i gubitka podjedinica glutenina visoke molekulske mase. (Sievert i sar., 2007).

Fermentacija

Kvasac je živi organizam koji je neaktivan tokom skladištenja. Kada se kvasac ugradi u testo, obezbeđeni su optimalni uslovi da postane aktivan. Kvasac je organizam koji može da fermentiše u aerobnim ili anaerobnim uslovima. Fermentacija hleba smatra se anaerobnim procesom. Kvasac i bakterije brzo troše kiseonik iz testa na početku fermentacije. Posle toga, fermentacija je anaerobna osim ako se u sistem ne doda kiseonik (npr. ponovnim mešenjem). Proces anaerobne fermentacije ugljenih hidrata pomoću kvasca rezultuje produkcijom etanola i ugljen-dioksida (Sievert i sar., 2007).

Kvasac koristi saharozu koju razlaže na glukozu i fruktozu pomoću enzima invertaze. Ugljen-dioksid se zadržava u testu za hleb u dve faze: kao gas u gasnim ćelijama i rastvoren u vodenoj fazi. Kako se oslobađa ugljen-dioksid, on reaguje sa vodom pri čemu nastaje ugljena kiselina usled čega se pH vrednost testa smanjuje. Daljim oslobađanjem ugljen-dioksida dolazi do zasićenja vodene faze (Sievert i sar., 2007).

Tokom fermentacije testa, metabolizmom kvasca pored oslobađanja ugljen-dioksida, dolazi i do rasta mehurića vazduha koji su prethodno bili unešeni mešenjem, koji dovodi do širenja testa, tj. narastanja. Povećanje mehurića gasa tokom fermentacije i pečenja utiče na strukturu hleba, a time i na

volumen i teksturu gotovog proizvoda. Ugljen-dioksid koji nastaje aktivnošću kvasca izaziva dizanje testa (fermentacija), a proizvedeni alkohol uglavnom isparava iz testa tokom postupka pečenja (Rosell, 2011).

Premes

Posle prve fermentacije uglavnom se testo premesi. Gasne ćelije u testu postaju sve veće i veće kako se proizvodi više gasa. Premesivanjem se gasne ćelije dele i dobija se više manjih ćelija. Još jedna prednost premesivanja je ravnomerno raspoređivanje sastojaka testa. Ćelije kvasca nisu mobilne u testu i njihova aktivnost zavisi od dostupnosti (difuzije) šećera. Kako se fermentacija odvija, koncentracija šećera se smanjuje, a samim tim i brzina fermentacije. Premesivanjem se povećava dostupnost šećera kvascu. Osim što proizvodi gas, kvasac utiče i na reologiju testa (Sievert i sar., 2007).

Oblikovanje i finalna fermentacija

Posle glavne fermentacije, testo se deli na pojedinačne komade u veličini vekne i ostavi na finalnu fermentaciju. Cilj ove fermentacije je da se testo relaksira. Posle toga, prelazi se na oblikovanje testa. Postupak oblikovanja podrazumeva primenu kalupa uz uvijanje, valjanje i primenu pritiska. Posle oblikovanja sledi postupak pečenja (Sievert i sar., 2007).

Pečenje

Veličina, distribucija, rast i nedostatak mehurića gasa koji se oslobađaju tokom fermentacije i pečenja imaju veliki uticaj na ukupan kvalitet hleba u pogledu izgleda (teksture) i volumena. Kako visoka toplota peći prodire u testo, gasovi unutar testa se šire, uz istovremeno povećanje zapremine testa. Kako temperatura raste, brzina fermentacije i produkcije gasova se povećavaju, a ovaj proces se nastavlja sve dok se ne dostigne temperatura inaktivacije kvasca (oko 45 °C). Kada se proteini denaturišu, lanci glutena koji okružuju pojedinačne mehuriće gasa se transformišu u polurigidnu strukturu koja će formirati sredinu hleba. Endogeni enzimi prisutni u testu se inaktiviraju na različitim temperaturama tokom pečenja. Šećeri i proizvodi razgradnje proteina koji se oslobađaju enzimskom aktivnošću su dostupni i učestvuju u Majardovim ili neenzimskim reakcijama tamnjenja, koje su odgovorne za smeđu boju kore (Rosell, 2011). Vizuelna transformacija testa u hleb dešava se na 65 °C, dok na 95 °C hleb prelazi u čvrsto stanje (Sievert i sar., 2007).

Reakcije unutar vekne (sredina) i na površini (kora) se razlikuju usled razlika u sadržaju vlage i temperaturi. Promene koje nastaju u testu pod uticajem toplote tokom pečenja su želatinizacija skroba i vezivanje glutenskih polipeptida. U testu za hleb skrob počinje da želatinizuje na oko 65 °C. Želatinizacija se potom odvija u širem temperaturnom opsegu u zavisnosti od količine i dostupnosti vode, sastojaka, temperature i vremena pečenja. Male količine amiloze i amilopektina oslobađaju se iz granula skroba u međugranularni prostor. Amiloza može da formira inkluzivne helikse sa polarnim lipidima kao što su slobodne masne kiseline i monoacil-gliceroli. Amiloza u obliku jednostrukog heliks-lipidnog kompleksa ne učestvuje u formiranju dvostruke spirale i ne doprinosi jačini sredine pekarskog proizvoda. Tokom pečenja pod uticajem temperature dolazi do stvaranja disulfidnih poprečnih veza. Ovaj proces toplotnog vezivanja proteina glutena utiče na finalnu strukturu i teksturu hleba (Sievert i sar., 2007).

2.9.1. Kvalitet hleba

Kvalitet hleba je subjektivan pojam koji zavisi od individualne percepcije konzumenata, a na koju utiču društveni, demografski i ekološki faktori. Globalni koncept kvaliteta hleba mogao bi se integrisati instrumentalnim svojstvima, onima koji se mogu objektivno izmeriti, senzornim karakteristikama obuhvatajući deskriptivna svojstva koja se odnose na percepciju kvaliteta od strane potrošača i nutritivni aspekti koji se odnose na zdravlje i funkcionalnost pekarskih proizvoda (Rosell, 2011).

Pod instrumentalnim kvalitetom hleba podrazumevaju se sledeće karakteristike: specifična zapremina, boja kore, tekstura sredine, tvrdoća, kohezivnost, gumoznost, žvakljivost, lepljivost, debljina kore, aktivnost vode, sadržaj vlage, poprečni presek sredine itd. Međutim, pored ovih izdvojenih, opšte prihvaćenih karakteristika, s obzirom na veliku raznovrsnost hleba koji se pravi, različite postupke proizvodnje hleba, veliki broj različitih receptura i dalje je veoma teško izdvojiti univerzalne kriterijume kvaliteta. Sve pomenute instrumentalne karakteristike kvaliteta su u širokoj upotrebi za ispitivanje uticaja različitih brašna, sastojaka, pomoćnih sredstava i postupaka izrade pekarskih proizvoda. Percipirani kvalitet hleba je skup složenih procesa koji se odnose na senzorne senzacije dobijene na osnovu izgleda proizvoda, ukusa, mirisa, taktilne i oralne teksture. Generalno, percipirani kvalitet hleba je usko povezan sa percepcijom svežine (Rosell, 2011).

Tekstura

U slučaju pekarskih proizvoda, senzorne karakteristike su osnovni faktor od kog zavisi prihvatanje potrošača, a tekstura je posebno značajna za sve vrste pekarskih proizvoda. Tekstura je značajna i sa tehnološke i ekonomske tačke gledišta (Guiné, 2022).

Tekstura se može analizirati instrumentalnim metodama, senzornom evaluacijom ili kombinovanjem ova dva pristupa. Instrumentalne metode se sastoje od merenja fizičkih svojstava pomoću sofisticirane opreme. Koriste se za kvantifikaciju širokog spektra teksturnih karakteristika hrane. Senzorne testove sprovodi veliki broj panelista, sa ili bez obuke, u standardnoj sobi za degustaciju opremljenoj pojedinačnim kabinama. Dok instrumentalni testovi daju brže i preciznije rezultate, senzorni testovi daju potpunije informacije prilagođene percepciji potrošača (Guiné, 2022).

Svojstva teksture imaju ključnu ulogu u percepciji ukusa i arome tokom oralne obrade hrane, koja priprema hranu za dalju probavu. Osnovne karakteristike hleba su izgled, miris, ukus i tekstura, kao i žvakljivost i svežina. Struktura sredine i kore hleba može uticati na žvakljivost (Moretton i sar., 2023).

Mehanički parametri (tvrdoća, adhezivnost itd.) mogu se izraziti na osnovu analize profila teksture (TPA) iz dijagrama zavisnosti napon - vreme ili napon - deformacija. Parametri TPA zavise od geometrije izabrane sonde i od brzine deformacije (Momchilova i Zsivanovits, 2016).

U slučaju senzornog ocenjivanja, posle prvog zagrižaja, procenjuju se tvrdoća i elastičnost sredine; prilikom žvakanja obraća se pažnja na tvrdoću, čvrstinu, krhkost i formiranje žvakane mase (vlažnost, lepljivost, prisustvo grudvica); prilikom gutanja procenjuje se reološko ponašanje viskozno-plastične mase (plastičnost, a zatim i elastični efekat pri gutanju (Chernykh i Baluyan, 2023).

Izgled

Svojstva izgleda odnose se na svojstva koja opaža ljudsko čulo vida, kao što su boja sredine, boja kore i struktura sredine. Boja sredine zavisi od sastojaka korišćenih za pravljenje proizvoda. Upotreba dodatnog brašna sa pšeničnim, utiče na boju sredine pekarskog proizvoda. Boja kore zavisi od Majardovih reakcija koje se odvijaju tokom pečenja hleba. Struktura sredine određuje se pomoću

svojstava kao što su broj ćelija sredine, veličina ćelije sredine, homogenost distribucije ćelija i poroznost. Veličina ili struktura ćelija sredine zavise od sadržaja glutena u brašnu i uslova fermentacije. One imaju veliki uticaj na teksturna svojstva i određuju percepciju sredine na dodir ili u ustima: ćelije finih, tankih zidova, ujednačene veličine daju mekšu i elastičniju teksturu. Struktura sredine hleba čini oko 20% procene kvaliteta hleba. Vizuelno-taktilna percepcija teksture hleba je značajan kriterijum prihvatljivosti potrošača (Callejo, 2011).

Aroma

Karakteristična aroma hleba je nesumnjivo jedan od najvažnijih parametara koji utiče na njegovo prihvatanje od strane potrošača. Miris hleba potiče od aromatičnih jedinjenja koja se percipiraju ortonazalnim putem. Aroma hleba odnosi se istovremeno na miris i ukus. Kvantitativno, najvažnija hemijska jedinjenja koja su odgovorna za aromu su aldehidi, alkoholi, ketoni, estri, kiseline, pirazini i pirolini, ugljovodonici, furani i laktoni. Ova aromatična jedinjenja se formiraju na više načina: enzimskom aktivnošću tokom postupka mešenja; fermentacijom testa aktivnošću kvasca i mlečnih bakterija; i reakcijama oksidacije lipida i reakcijama koje se odvijaju tokom pečenja, (Majardove i reakcije karamelizacije) (Callejo, 2011).

Ukus pekarskih proizvoda je zajedno sa teksturom, ključni senzorni parametar kvaliteta od kojeg zavisi prihvatanje nekog pekarskog proizvoda od strane potrošača. Reakcije koje su odgovorne za stvaranje boje i ukusa su neenzimatske Majardove reakcije. Osnova ovih reakcija je redukcija šećera sa amino grupama tokom pečenja. Faktori kao što su vreme fermentacije ili vrsta mikroorganizama prisutnih u testu, receptura i uslovi skladištenja utiču na aromu finalnog proizvoda. Isparljiva hemijska jedinjenja koja daju miris gotovim proizvodima se karakterišu notama na: pečeno-slično krekeru, slad, karamelu, kiselo, slatko, kvasno ili slično biskvitima. Jedinjenje koje je odgovorno za miris koji je karakterističan za hleb je 2-acetil-1-pirolin. Najistaknutiji prekursor arome hleba je ornitin (Sievert i sar., 2007).

So i mlečna kiselina su primarna jedinjenja koja utiču na ukus hleba. Tokom oralne faze, hranljive i aromatične supstance u hlebu se oslobađaju tokom žvakanja, koje vare enzimi α -amilaza, lipoksigenaza, karboanhidraza i proteaza. Percepcija ukusa generiše se kao povratna informacija iz mozga posle obrade neuronske signalizacije (Pu i sar., 2021).

2.10. Instrumentalne tehnike za određivanje kvaliteta brašna, pogača i hleba

2.10.1. Određivanje funkcionalnih karakteristika brašna

Funkcionalna svojstva su fizičko-hemijska svojstva hrane koja odražavaju složene interakcije između strukture, molekularne konformacije, sastava i fizičko-hemijskih svojstava komponenti hrane sa uslovima u kojima se ona određuju i povezuju. Funkcionalne karakteristike su značajne u predviđanju kako bi se proteini, masti, ugljeni hidrati i vlakna, koja se pomoću različitih dodataka unose u osnovni matriks, mogli ponašati u specifičnim sistemima hrane, kao i to da li se mogu koristiti za stimulaciju ili zamenu konvencionalnih izvora pomenutih jedinjenja (Awuchi i sar., 2019).

Sposobnost brašna da upija vodu definiše kvalitet i sposobnost da formira viskoelastično testo. Pšenični skrob u granulama može da apsorbuje između 39% i 87% vode u odnosu na težinu, oštećen skrob između 200% i 430%, pentozani između 500% i 1500%, a proteini između 114% i 215% (Berton i sar., 2002). Svaka komponenta koja se koristi u hrani ima određenu funkciju. Skrob u brašnu se uglavnom koristi za zgušnjavanje mešavina hrane, šećeri dodaju ukus i pomažu pri formiranju boje hrane, masti i ulja imaju ulogu u aeraciji hrane, emulzijama, itd. Skrob je odgovoran za želatinizaciju, tamnjenje, dekstrinizaciju, želiranje, itd. Proteini su odgovorni za formiranje nijansi smeđe boje,

emulzifikaciju, koagulaciju, denaturaciju, itd. Masti su odgovorne za emulgovanje, aeraciju. Iako dve ili više komponente mogu imati isti uticaj, jedna od komponenti obično ima manji ili veći uticaj na određeno funkcionalno svojstvo (Awuchi i sar., 2019).

Funkcionalna svojstva opisuju ponašanje komponenti tokom postupka proizvodnje, i način na koji utiču na kvalitet gotovih prehrambenih proizvoda u smislu izgleda, mirisa i ukusa. U funkcionalna svojstva se ubrajaju kapacitet bubrenja, kapacitet zadržavanja vode, kapacitet zadržavanja ulja, aktivnost emulzije, stabilnost emulzije, sposobnost stvaranja pene, stabilnost pene, želatinizacija, nasipna gustina, dekstrinizacija, denaturacija, koagulacija, formiranje glutena, želiranje, plastičnost, aeracija, senzorni atributi (Awuchi i sar., 2019).

SRC test za ispitivanje funkcionalnih svojstava brašna

Širok spektar pekarskih proizvoda rezultat je korišćenja različitih sastojaka i/ili različitih uslova obrade i prerade. Nije svaka vrsta brašna podjednako pogodna za proizvodnju određenog pekarskog proizvoda. Zbog toga je određivanje kvaliteta brašna od velikog značaja jer se odnosi na željeni krajnji proizvod i postupak njegove proizvodnje (Duyvejonck i sar., 2012).

Kapacitet zadržavanja rastvarača (SRC) testovi su dostupni i jednostavni. SRC vode povezuje se sa ukupnim kapacitetom zadržavanja vode različitih komponenti brašna, SRC natrijum-karbonata povezuje se sa nivoom oštećenog skroba u brašnu, SRC saharoze je indikativan za arabinoksilan i SRC mlečne kiseline povezan je sa formiranjem gluteninske mreže i jačinom glutena (Duyvejonck i sar., 2012).

Mali molekuli rastvaraju se u višku rastvarača, ali veći molekuli mogu se privlačiti i povezivati sa molekulima rastvarača i na taj način umrežavati umesto da se rastvore. Umreženi polimerni materijal će nabubriti u različitom stepenu, a stepen bubrenja solvatne polimerne mase može se izmeriti promenama dužine, težine ili zapremine. SRC se zasniva na energetici (u vezi sa termodinamičkom kompatibilnošću polimera i rastvarača). SRC može se definisati kao solvatacioni test za brašna koji koristi veliki višak rastvarača i zasniva se na promeni bubrenja polimernih mreža u dijagnostičkim rastvaračima. Rezultati SRC-a daju informacije o stepenu razvoja glutenske mreže i kompatibilnosti sa rastvaračima, koje se koriste za predviđanje funkcionalnog doprinosa svake polimerne komponente brašna (Kweon i sar., 2011).

Pojedinačni dijagnostički rastvarači se koriste za identifikaciju koja funkcionalna komponenta brašna je odgovorna za datu varijaciju u bubrenju brašna. U SRC metodi, pomenuta četiri rastvarača koriste se u petostrukom višku kako bi se izbegli kinetički efekti na rastvaranje brašna i bubrenje. Zbog toga se rezultati SRC-a ne mogu porediti sa rezultatima reoloških metoda (koje se rutinski primenjuju na koncentrovane sisteme brašno-voda) (Kweon i sar., 2011).

Vrednost SRC vode povezana je sa kapacitetom zadržavanja vode kojem doprinose funkcionalne komponente brašna, uključujući gluten, oštećeni skrob i pentozane. Kapacitet zadržavanja vode brašna (obično izražen kao gram vode/gram suve komponente) koji je približno ekvivalentan SRC vrednosti vode u brašnu važna je funkcionalna karakteristika koja se odnosi na preradu i kvalitet gotovih pekarskih proizvoda (Kweon i sar., 2011).

Svaki od preostala tri dijagnostička SRC rastvarača je bolji, kompatibilniji rastvarač (u smislu parametra rastvorljivosti za svoj specifični pojedinačni polimer brašna: vodeni rastvor mlečne kiseline za glutenine, vodeni rastvor Na₂CO₃ za amilopektin iz oštećenog skroba i vodeni rastvor saharoze za pentozane (Kweon i sar., 2011).

Kapacitet zadržavanja vode

Kapacitet zadržavanja vode (KZV) je količina vode koju hrana/brašno apsorbuje kako bi se postigla željena konzistencija i stvorio kvalitetan prehrambeni proizvod. To je optimalna količina vode koju je potrebno dodati testu pre nego što ono postane preterano lepljivo za obradu (Avuchi i sar., 2019).

Faktori koji utiču na KZV brašna su:

- 1) skrob: oko 46% ukupne apsorbirane vode povezano je sa skrobom u brašnu,
- 2) pentozani: oko 23% ukupne apsorbirane vode povezano je sa pentozanima u brašnu,
- 3) proteini: oko 31% ukupne apsorbirane vode povezano je sa proteinima,
- 4) vitalni pšenični gluten: povećava apsorpciju vode i utiče na veću stabilnost testa,
- 5) prisustvo drugih sastojaka koji vezuju vodu: vlakna, jaja, itd. (Avuchi i sar., 2019).

Vrednosti KZV su jedinstveni za svaku vrstu prehrambenog proizvoda i postizanje željene konzistencije testa, karakteristika gotovog proizvoda i drugih svojstava kvaliteta. Kod gotovog proizvoda kod niskih vrednosti KZV javlja se čvrsta i gusta struktura sredine, mala zapremina, starenje hleba je znatno brže. Previsoke vrednosti KZV dovode do lepljivog testa, narušene tolerancije na mehaničko manipulisanje, prekomerne fermentacije, dok se kod gotovih proizvoda može formirati sredina sa velikim otvorima, narušena simetrija, velika zapremina proizvoda i podložnost plesnima (Avuchi i sar., 2019).

Visoka vrednost KZV može se pripisati hidrofilnim komponentama kao što su ugljeni hidrati (posebno polisaharidi), proteini, ostaci polarnih aminokiselina, koji imaju visok afinitet za molekule vode i drugi. Variranja vrednosti KZV brašna mogu biti posledica različitih koncentracija proteina, njihovih konformacionih karakteristika i stepena interakcije sa vodom. Slaba povezanost amilopektina i amiloze u granulama skroba i slabe asocijativne sile koje održavaju granularnu strukturu mogu uticati na KZV (Avuchi i sar., 2019).

Kapacitet zadržavanja ulja

Kapacitet zadržavanja ulja (KZU) odnosi se na vezivanje masti nepolarnim bočnim lancem proteina. KZU je funkcionalno svojstvo koje doprinosi poboljšanju teksture i ukusa prehrambenih proizvoda. Brzina apsorpcije ulja je velika u hrani sa visokim sadržajem proteina i zavisi od unutrašnjih faktora kao što su konformacija proteina, sastava aminokiselina i površinskog polariteta ili hidrofobnosti. Sposobnost brašna da se veže sa uljem je neophodna kod prehrambenih proizvoda gde je poželjna optimalna apsorpcija ulja, kao što su npr. peciva (Avuchi i sar., 2019).

Visoke vrednosti KZU brašna su posledica prisustva nepolarnog bočnog lanca, koji može da veže bočne lance ulja ugljovodonika u brašnu. Brašno sa visokim KZU je poželjno za poboljšanje ukusa, produženje roka trajanja i zadržavanje ukusa, posebno u pekarskim proizvodima (Avuchi i sar., 2019).

Kapacitet bubrenja

Kapacitet bubrenja (KB) je zapremina u mililitrima koja je potrebna za bubrenje jednog grama prehrambenog proizvoda pod određenim uslovima. Kapacitet bubrenja je mera sposobnosti skroba da apsorbuje vodu i bubre, a odražava i stepen asocijativnih sila u granulama skroba. Kapacitet bubrenja se smatra merom kvaliteta nekih prehrambenih proizvoda kao što su pekarski proizvodi. To je pokazatelj prisustva ili jačine nekovalentne veze između molekula granula skroba i jedan je od faktora odnosa α -

amiloze i amilopektina. Na KB brašna utiču veličina čestica, sorta, vrsta i način obrade (Avuchi i sar., 2019).

Visok sadržaj skroba povećava KB brašna, posebno skrob sa većom količinom razgranatog amilopektina. Količina i udeo amiloze i amilopektina koji se nalaze u skrobu variraju u zavisnosti od biljnog izvora. Ovo objašnjava zašto različita brašna od različitih izvora i vrsta imaju različite kapacitete bubrenja (Avuchi i sar., 2019).

2.10.2. Ramanova spektroskopija

Ramanovo rasejanje ili neelastično rasejanje fotona, podrazumeva da se mali deo rasejane svetlosti reda veličine 10^7 rasejava ekscitacijom fotona koji imaju različitu frekvenciju od upadnih fotona. Energetski nivoi karakteristični su za svaki molekul, a frekvencija ekscitovanih fotona iz molekula zavisi od strukturnih karakteristika hemijskih veza. Ramanov spektar je hemijski specifičan. Ramanova spektroskopija našla je primenu u širokom spektru oblasti: fizika, hemija, medicina, tehnologija hrane itd. (Zhang i sar., 2010).

Kada se uzorak ozrači laserskim snopom, mali deo fotona sa poznatom frekvencijom i polarizacijom rasipa se iz uzorka. Tom prilikom dolazi do neelastičnog sudara između upadnog fotona i molekula uzorka. Kao rezultat toga, vibraciona ili rotaciona energija molekula se menja, a rasejano zračenje pomera se na drugu talasnu dužinu. Ako molekul dobije energiju, rasejani fotoni pomeraju se ka dužim talasnim dužinama, što dovodi do pojave Stoksovih linija u Ramanovom spektru; ili mogu da se pomeraju na kraće talasne dužine, što dovodi do pojave anti-Stoksovih linija u Ramanovom spektru. Frekvencijski pomaci rasejanog zračenja mogu se analizirati i predstaviti u obliku spektra. Spektralne trake predstavljaju vibracione karakteristike hemijskih veza i funkcionalnih grupa komponenti koje se nalaze u ispitivanim uzorcima. Ramanova spektroskopija može se koristiti i za kvantitativno određivanje, jer je intenzitet trake analita linearno proporcionalan koncentraciji analita (Yang i Ying, 2011).

Ramanovu spektroskopiju karakteriše visoka specifičnost. Ramanovi spektri vode su slabi, što omogućava dobru analizu komponentata u vodenim rastvorima. Ne zahteva posebnu pripremu uzorka jer se tehnika zasniva samo na osvetljavanju uzorka laserom i prikupljanju rasejanih fotona. Ramanova spektroskopija može da traje nekoliko sekundi, što je čini pogodnom za praćenje industrijskih postupaka u realnom vremenu (Yang i Ying, 2011).

Nedostaci metode su: trenutno prenosivi ili ručni Raman spektrometri nisu tako moćni kao stoni Raman sistemi (prenosivi sistemi nemaju idealan spektralni opseg detekcije ili spektralnu rezoluciju, što otežava analizu nekih tipova uzoraka na licu mesta) (Jin i sar., 2016). Količina vibracija, masa i geometrijski raspored atoma u molekulu, kao i jačina hemijskih veza između atoma, formiraju vibracioni spektar ili otisak prsta svakog molekula. Termin otisak prsta odnosi se na to da ne postoje dva uzorka ili jedinjenja istog spektra u smislu frekvencije i intenziteta pikova (Rohman i Che Man, 2012).

2.10.3. *In vitro* gastrointestinalna digestija

Postoji nekoliko načina proučavanja *in vitro* gastrointestinalnog varenja koji su klasifikovani u statičke, dinamičke i poludinamičke metode. Prednost ovih tehnika u odnosu na *in vivo* istraživanja odnose se na standardizaciju, nedostatak inter- i intra-individualnih varijacija, manji troškovi i manje vremena (Dávila León i sar., 2024). Metode simulacije varenja uključuju oralnu, gastričnu i intestinalnu fazu, a ponekad i fermentaciju u debelom crevu. Ove metode oponašaju fiziološke uslove *in vivo*, uzimajući u obzir prisustvo digestivnih enzima i njihove koncentracije, pH, vreme varenja i koncentracije soli (Minekus i sar., 2014).

Termin bioraspoloživost može se definisati kao frakcija progutane komponente koja je na mestu delovanja dostupna za korišćenje u normalnim fiziološkim funkcijama, a određuje se putem *in vivo* testova. Bioraspoloživost je rezultat tri procesa: svarljivost i rastvorljivost elementa u gastrointestinalnom traktu; apsorpcija elementa od strane crevnih ćelija i transport u cirkulaciju; i inkorporacija u funkcionalni entitet. Bioraspoloživost obuhvata dva pojma: biodostupnost i bioaktivnost. Biodostupnost se definiše kao frakcija jedinjenja koja se oslobađa iz matriksa hrane unutar gastrointestinalnog trakta i tako postaje dostupna za crevnu apsorpciju. Bioaktivnost se odnosi na procese povezane sa načinom na koji se hranljivi sastojak ili bioaktivno jedinjenje transportuje i stiže do ciljnog tkiva, kako stupa u interakciju sa biomolekulima, metabolizmom ili biotransformacijom u koju može da stupi (Alegría i sar., 2015).

Statičke metode uključuju dve ili tri faze varenja (oralnu, želudačnu i intestinalnu) čiji proizvodi ostaju uglavnom nepokretni u jednom statičkom bioreaktoru. Ove metode simuliraju ograničen broj parametara fiziološkog varenja. U prvom koraku, simulirana gastrointestinalna digestija primenjuje se na homogenizovanu hranu ili izolovana jedinjenja u zatvorenom sistemu, posle čega sledi određivanje količine rastvorljivog jedinjenja prisutnog u supernatantu dobijenom centrifugiranjem ili filtracijom. Količina rastvorene komponente može se koristiti kao mera biodostupnosti hranljive ili bioaktivne komponente (Alegría i sar., 2015).

Ceo proces u ustima traje od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, a pošto je pH vrednost pljuvačke blizu neutralne, u ovoj fazi se ne očekuje značajno rastvaranje jedinjenja iz uzoraka hrane (Alegría i sar., 2015). Komponente hrane u oralnoj fazi mogu da pretrpe sledeće promene: pH, temperatura, delovanje različitih digestivnih enzima (lipaze, amilaze, proteaze); interakcije u pljuvački (mucin); interakcije sa senzornim receptorima jezika i usta; i smanjenje veličine čestica u bolusu žvakanjem. Najčešće *in vitro* metode započinju korišćenjem α -amilaze pri pH 7. Obično se faza oralnog varenja preporučuje samo za hranu bogatu ugljenim hidratima, zbog kratke interakcije oralnih enzima sa hranom (Wojtunik-Kulesza, i sar., 2020).

Želudačni sok sadrži hlorovodoničnu kiselinu, pepsinogene, lipazu, sluz, elektrolite i vodu. Brzina lučenja želudačnog soka varira od približno 1 do 4 mL/min u uslovima gladovanja do između 1 i 10 mL/min posle konzumiranja hrane. Hlorovodonična kiselina denaturiše proteine i aktivira pepsin. Peristaltičko pomeranje koji potiče iz želuca učestvuje u smanjenju veličine čvrste hrane do prečnika od 1 do 2 mm. Pražnjenje želuca je kritičan korak u procesu varenja. Trajanje ovog procesa zavisi od fizičkih karakteristika i iznosi 3 do 4 h. Unos obroka povećava pH na preko 4,5 u zavisnosti od puferskog kapaciteta hrane. Većina lipida iz ishrane prisutna je u obliku emulgovanih kapljica, sa prečnikom u rasponu od 20 do 40 μ m, i lipoliza želuca može da poveća emulzifikaciju u želudcu, čime bi se povećala lipofilna fitohemijska biodostupnost. Gastrična lipoliza podstiče naknadno delovanje pankreasne lipaze na supstrate lipida koji se mogu loše variti samo lipazom pankreasa (Wojtunik-Kulesza, i sar., 2020).

Intestinalnom varenju je potrebna naknadna neutralizacija (obično sa NaOH ili NaHCO₃) i inkubacija sa enzimima pankreasa (lipaza, amilaza, ribonukleaza i proteaza) sa ili bez žučnih soli kao emulgatora. Lipofilna jedinjenja (karotenoidi, biljni steroli, itd.) dele se na liposome i micelarne faze tokom varenja u crevima. Humana lipaza pankreasa i drugi specifični enzimi (holesterol esteraza, fosfolipaza, ko-lipaza itd.) dodaju se da bi se ispunilo više fizioloških uslova (Alegría i sar., 2015).

Na biodostupnost polifenola utiču mnogi faktori, kao što su hemijska struktura jedinjenja, matriks hrane, interakcije sa drugim komponentama i prisustvo supresora ili kofaktora itd. Samo supstance koje se oslobađaju iz matriksa hrane vare se u tankom i debelom crevu. Fenolna jedinjenja se javljaju u hrani obično u obliku estara, glikozida i polimera koji se ne mogu apsorbovati u ovim prirodnim oblicima. Zahtevaju hidrolizu enzimima digestivnog sistema ili crevne mikroflore. Smatra se da se 48% svih polifenola vari u tankom crevu, a 42% u debelom crevu. Samo 10% ostaje nesvareno u matriksu hrane (Wojtunik-Kulesza, i sar., 2020).

Oslobođeni broj fenolnih jedinjenja iz matriksa hrane zavisi od sastava hrane, načina obrade i interakcija fenolnih jedinjenja sa drugim komponentama hrane. Termička obrada može poboljšati biodostupnost polifenola zbog narušavanja biljnog tkiva i denaturacije polifenol-polisaharidnih kompleksa. Termička obrada može izazvati i termičku degradaciju fenolnih jedinjenja. Interakcija fenolnih jedinjenja sa drugim komponentama hrane može da promeni njihovu biodostupnost (Wojtunik-Kulesza, i sar., 2020).

Modeli *in vitro* su ponovljivi, jer omogućavaju bolju kontrolu eksperimentalnih varijabli. U pitanju su brze i jednostavne metode, jer su im potrebni samo materijali koji su rutinski dostupni u laboratoriji, pa su stoga relativno jeftini i isplativi. Štaviše, *in vitro* modeli dozvoljavaju smanjenje veličine uzorka kada je to ograničavajući faktor (Alegría i sar., 2015).

2.10.4. Analiza teksture

Uloga računara predstavlja značajan napredak u oblasti istraživanja kvantitativne i kvalitativne analize hrane. Analiza profila teksture (TPA) jedna je od instrumentalnih metoda koja je osnovna i jednostavna, i koristi se za procenu teksture hrane na osnovu mehaničkih svojstava prehrambenog proizvoda. Metoda profila teksture testira uzorak hrane dva puta pod pritiskom, posle čega snima krive deformacije sile. Metoda teksturnog profila klasifikovala je svojstva teksture na početna, prilikom žvakanja i rezidualna. Analizator teksture testira ova svojstva primenom kontrolisane sile na prehrambene proizvode i beleži njihove reakcije u smislu sile, deformacije i vremena. Ova metoda ima određene nedostatke jer se ne može koristiti za analizu teksture heterogene hrane. Takođe, ne oponaša *in vivo* uslove u ustima, odnosno ne uzima u obzir uticaj pljuvačke i temperature u ustima. TPA ne obuhvata psihološke, fiziološke i ekološke faktore prilikom određivanja teksture hrane i daje informacije o teksturi hrane pre njenog konzumiranja. Instrumentalne metode ne uzimaju u obzir realne uslove žvakanja hrane. Složeni mehanizam brzine deformacije hrane u ustima ne može se proceniti jednom mehaničkom instrumentalnom metodom. Instrumentalna analiza teksture funkcioniše pri niskoj stopi deformacije u poređenju sa silom koja je prisutna u ljudskim ustima (Rustagi, 2020).

2.10.5. Senzorna analiza

Varijacije u senzornoj percepciji mogu biti posledica razlike u genetskoj strukturi pojedinca za senzorne receptore, čulnog iskustva za razlikovanje stimulusa, načina koji se koristi za opisivanje ili definisanje različitih parametara senzornih senzacija. Ova metoda ima određene nedostatke kao što je dugotrajna procedura, potrebni su obučeni panelisti, rezultati mogu biti pristrasni, i ovaj metod daje informacije o teksturi nakon konzumiranja hrane. Da bi se izbegle ove varijacije koriste se brojne tehnike kao što su obuka panelista, upotreba standardizovane metodologije za ispitivanje senzornih parametara i testiranje specifičnim senzornim testom. Senzorna evaluacija i testiranje potrošača je jedna od pouzdanih metodologija koja se koristi za ispitivanje teksture hrane (Rustagi, 2020).

Senzorna evaluacija je naučna disciplina koja se koristi za merenje, analizu i tumačenje reakcija na karakteristike komponenti hrane na način kako ih opažaju čula vida, mirisa, ukusa, dodira i sluha. Senzorni atributi kvaliteta hrane mere se da bi se odredilo prihvatanje/sklonost potrošača kako bi se proizveo prihvatljiv proizvod uz maksimalnu ekonomičnost proizvodnje. Senzorni atributi uključuju izgled (boja, veličina, oblik i konzistencija tečnih i polučvrstih proizvoda), kinestetiku (tekstura, konzistencija i viskoznost) i aromu (ukus i miris). Za potpunu senzornu procenu hrane izvode se dve vrste testova – analitički senzorni testovi i afektivni testovi (sviđa mi se - ne sviđa mi se) (Jain i Gupta, 2005).

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Naučni cilj ovog istraživanja bio je ispitivanje hemijskih, funkcionalnih i nutritivnih karakteristika mlevenih uljanih pogača semena različitih vrsta voćaka (dunja, šljiva i višnja) kao sredstva za obogaćivanje pekarskih proizvoda. Ispitane su fizičke (masa 1000 semena, dužina, širina i debljina semena) i hemijske (sadržaj vlage, pepela, lipida i proteina) karakteristike semena kao polazne sirovine. Utvrđen je bio i antioksidativni potencijal mlevenih uljanih pogača semena dunje, šljive i višnje, dobijenih hladno presovanih ulja i gotovih pekarskih proizvoda. Pored osnovnog hemijskog sastava tj. nutritivne vrednosti, cilj je bio i ispitivanje nutritivnih, teksturnih i senzornih karakteristika dobijenih pekarskih proizvoda sa različitim udelima uljanih pogača uz procenu biološke dostupnosti aktivnih komponenata tokom *in vitro* digestije. S obzirom na to da su se uljane pogače dobile posle hladnog presovanja ulja semena pomenutih vrsta voća, u okviru istraživanja bilo je obuhvaćeno i ispitivanje osnovnog hemijskog sastava, održivost dobijenih ulja i nutritivna karakterizacija (sastav i sadržaj masnih kiselina, tokoferola i sterola).

4. MATERIJAL I METODE

4.1. Materijal

Seme dunje, šljive i višnje je sakupljano kao nusproizvod u različitim fazama prerade voća. Seme dunje (sorta Leskovačka) sakupljeno je od lokalnog domaćinstava (gazdinstvo Ćirković iz Lajkovca) posle proizvodnje domaćih sokova, seme šljive (sorta Stenlej) posle sušenja (gazdinstvo Ćirković iz Lajkovca), dok je seme višnje (sorta Oblačinska) sakupljeno od lokalnog proizvođača smrznutog voća (suzr Jablanik, Valjevo). Seme dunje je ručno odvajano iz semenih kućica, a semena šljive i višnje su ručno odvajana posle mehaničkog razbijanja koštice (endokarpa). Sva semena su sušena na sobnoj temperaturi 24 sata, a zatim su u polietilenskim kesama od 1 kg čuvana u frižideru za dalje analize.

Postupkom hladnog presovanja iz semena izdvojeno je ulje koje je analizirano, a ostatak u vidu obezmašćenih pogača ispitan je i upotrebljen kao zamena dela belog pšeničnog brašna u izradi hleba. Belo pšenično brašno T 500 ("Sentella") nabavljeno je iz mlina Žitopromet Senta (Senta, Srbija). Pekarski kvasac (Alfa, Lesaffre) i so (Solana, Tuzla) kupljeni su u lokalnom supermarketu. Tigris green i Propisan korišćeni su kao komercijalni poboljšivači svežine i volumena finalnog pekarskog proizvoda u količini od 1,2% i 1%, redom, koje proizvodi Puratos Inovacioni Centar (Srbija). Za formiranje testa korišćena je gradska voda sa česme.

Belo pšenično brašno supstituisano je sa udelom od 10, 20 i 30% određene vrste uljanih pogača. Ovako pripremljene mešavina brašna upotrebljene su za izradu hleba. U cilju poređenja rezultata, kao kontrola pripremljen je hleb od čistog pšeničnog brašna u identičnim uslovima na identičan način.

4.2. Metode ispitivanja fizičkih i hemijskih karakteristika semena

Određivanje fizičkih karakteristika semena

Masa 1000 semena određena je po metodi datoj u Pravilniku a) (član 30, 1988). Nasumičnim odabirom izbrojano je 1000 semena, posle čega im je izmerena masa. Rezultati su izraženi u gramima (g).

Dužina, širina i debljina semena određena je pomoću manuelnog mikrometra, nasumičnim odabirom semena ispitivanih uzoraka. Dobijene vrednosti izražene su u milimetrima (mm).



Slika 1. Određivanje debljine semena šljive manuelnim mikrometrom

Određivanje osnovnog hemijskog sastava

Sadržaj vlage, ukupnog pepela, sirovih proteina i ulja u semenima određeni su po standardnim metodama SRPS EN ISO 665:2020, SRPS ISO 749:2014, SRPS ISO 1871:2013 i SRPS EN ISO 659:2011, redom. Ulja su zatim filtrirana 24 časa kroz kvantitativni filter papir (Ahlstrom-Munksjo Munktell 3.104.070).

4.3. Postupak hladnog presovanja semena

Hladno presovanje ispitivanih uzoraka semena izvedeno je pomoću laboratorijske pužne prese (OP650V, Gorenje, Slovenija). Prilikom presovanja najviša temperatura izlaznog ulja bila je 47 °C, što je u skladu sa preporukom da se hladno presovanje vrši na temperaturi ispod 50 °C kako bi se sačuvale bioaktivne komponente (Dimić, 2000). Posle 24 časa taloženja, ulja su filtrirana kroz filter papir, preneti u plastične epruvete od po 10 mL i čuvana u frižideru za dalje analize. Sve analize rađene su u laboratorijama Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu.



Slika 2. Hladno presovanje semena šljive pužnom presom (Gorenje, Slovenija)

Pored dobijenog hladno presovanog ulja, dobijena je i obezmaščena pogača. Pogače su samlevene električnim mlinom (TSM6A011W, Bosch), u trajanju od 30 sekundi do fine granulacije. Granulacija je određena pomoću tresilice sa setom sita različitih promera: GG No32, GG No42, GG No52 i B No9. Posle 2 minuta prosejavanja, veličina čestica dobijenih uzoraka pogača određena je po metodi Zlatanović i sar. (2019). Količina od 100 g samlevene pogače prosejana je kroz set sita sa veličinom pora od 0,600, zatim, 0,450, potom 0,335 i 0,110 mm. Masa koja je zaostajala na površini svakog sita je izmerena i korišćena za izračunavanje raspodele veličine čestica. Frakcije su pojedinačno izmerene u cilju određivanja veličine čestica pogača koje će se koristiti u proizvodnji obogaćenih hlebova.

Sve dobijene frakcije posle prosejavanja su pomešane i korišćene za potrebe ovog istraživanja. Usitnjene uljane pogače su potom čuvane u polietilenskim kesama od 1 kg u zamrzivaču do daljih analiza.



Slika 3. Tresilica sa setom sita za određivanje frakcija pogača posle mlevenja

4.4. Metode za određivanje kvaliteta hladno presovanog ulja

Peroksidni broj (Pbr) i kiselinski broj (Kbr) određeni su prema standardnim metodama SRPS EN ISO 660:2015 i SRPS EN ISO 3960:2017, redom.

4.5. Metode za određivanje nutritivne vrednosti ulja

4.5.1. Sastav i sadržaj masnih kiselina

Sastav i sadržaj masnih kiselina ulja određen je postupkom gasne hromatografije, a prema standardnoj metodi (SRPS EN ISO12966-2: 2017) na uređaju GC 6890 (Agilent Technologies, SAD) sa split-splitless injektorom i plameno jonizujućim detektorom (FID). Metil estri masnih kiselina pripremljeni su prema standardnoj metodi (SRPS EN ISO 12966-1: 2015), a za njihovo razdvajanje korišćena je kapilarna kolona Supelco SP -2560 čije su dimenzije bile: dužina 100 m x unutrašnji prečnik 0,25 mm x debljina filma 0,20 μm (Supelco, Bellefonte, SAD), sa brzinom protoka od 5 mL/min i pomoću helijuma kao mobilne faze. Temperatura injektora bila je 250 °C, a detektora 260 °C. Zapremina ubrizgavanja bila je 1 μL, a odnos distribucije injektora bio je podešen na 20:1. Temperatura kolone programirana je od početnih 50 °C (u trajanju od 5 min) do 240 °C (u trajanju od 20 min), sa linearnom promenom temperature od 4 °C/min. Identifikacija hromatografskih pikova u uzorcima izvršena je poređenjem relativnih vremena zadržavanja metil estara masnih kiselina iz uzoraka tretiranih standardom Supelco 37, mešavinom metil estara (Supelco, Bellefonte, SAD).

4.5.2. Izračunavanje nutritivnih indeksa

Na osnovu udela pojedinih masnih kiselina određeni su nutritivni indeksi, indeks aterogenosti (IA) i indeks trombogenosti (IT), prema empirijski dobijenim formulama (Ulbricht i Southgate, 1991):

$$IA = \frac{C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0}{\Sigma MUFA + \Sigma PUFA n-6 + \Sigma PUFA n-3}$$
$$IT = \frac{C14:0 + C16:0 + C18:0}{0.5\Sigma MUFA + 0.5\Sigma PUFA n-6 + 3\Sigma PUFA n-3}$$

4.5.3. Određivanje sadržaja i sastava tokoferola

Sastav i sadržaj tokoferola određeni su primenom tečne hromatografije visokih performansi (HPLC) (Waters M600E, SAD) na koloni Nucleosil 50-5 C18 na reverznoj fazi (Macheri-Nagel, Nemačka) sa fluorescentnim detektorom. Postupak određivanja zasnivao se na postupku Carpentera (1979) uz određene modifikacije.

U smešu rastvarača, 20 mL 96% v/v etanola, 0,12 g pirogalola i 3 mL rastvora kalijum-hidroksid (KOH) (8,9 mol/L) dodato je 0,5 mL uzorka ulja kako bi se izvršila saponifikacija. Smeša je zatim zagrevana na 60 °C tokom 30 minuta uz refluks i mešanje. Sadržaj je ohlađen i prebačen u normalan sud od 50 mL i dopunjen do merne crte 96% etanolom. Alikvotu od 5 mL koji je prebačen u epruvetu sa šlifovanim zatvaračem dodato je 5 mL hladne dejonizovane vode i 5 mL heksana. Smeša je promešana na vorteksu u trajanju od 3 min. Izdvojeno je 4 mL heksanskog rastvora i osušeno do suva u atmosferi azota. Suvi ostatak je rastvoren u 4 mL metanola (CH₃OH) posle čega je ovako pripremljen uzorak filtriran kroz membranski špic-filter (0,45 μm) i 10 μL injektovano je u HPLC sistem. Mobilnu fazu činio je 95% v/v CH₃OH sa brzinom protoka od 1,2 mL/min. Detekcija je izvršena pomoću fluorescentnog detektora RF 535 (Shimadzu RF-535, Japan) na talasnim dužinama za ekscitaciju λ=290 nm i emisiju λ=330 nm.

Relativno vreme zadržavanja i maksimalne vrednosti apsorbance u svakom relativnom retencionom vremenu korišćene su za identifikaciju tokoferola u uzorcima ulja. Komercijalni standardi tokoferola razblaženi su na odgovarajući način i korišćeni za validaciju metode (serija rastvora od 0,001 do 0,5 μg/mL) i kvantifikaciju (serija rastvora od 0,05 do 10,0 μg/mL). Ukupno vreme hromatografske analize bilo je 20 min. Signal je obrađen pomoću softvera "Clarify".

4.5.4. Metoda za određivanje sadržaja fitosterola

Za određivanje sadržaja fitosterola korišćena je metoda koju je opisao Verleyen (2002). Izmerene su mase 964,7 mg, 954,6 mg i 839,2 mg za DU, ŠU i VU, redom. Za pripremu standardnog rastvora holesterola, 500 μ L standarda holesterola rastvoreno je u metilen-hloridu (CH_2Cl_2) do postizanja koncentracije rastvora od 10 mg/mL. U rastvor je posle toga dodato 10 mL 50% KOH, 28,5 mL etanola i 1,5 mL dietil-etra (C_2H_5)₂O. Smeša je refluksovana 1 sat na temperaturi 90 °C. Posle refluksa, izvršena je tečno-tečna ekstrakcija pomoću 45 mL heksana (C_6H_{14}) i 45 mL (C_2H_5)₂O. Frakcije C_6H_{14} i (C_2H_5)₂O pomešane su i dva puta isprane sa po 20 mL 0,5 M KOH i dva puta po 20 mL 5% NaOH. Posle ispiranja, smeša je osušena anhidrovanim natrijum-sulfatom (Na_2SO_4) u trajanju od 15 min, filtrirana, i rastvarači su konačno upareni.

Postupak derivatizacije održavan je pomoću 10 mg prethodno pripremljene smeše rastvorene u 1 mL metilenhlorida. U kivetu je prebačeno 500 μ L ovog rastvora, kome je dodato 50 μ L BSTFA (N,Obis(trimetilsilil)trifluoroacetamida sa trimetilhlorosilanom). Derivatizacija je sprovedena na temperaturi od 60 °C u trajanju 45 min. Posle završene derivatizacije, uzorci su analizirani na gasnom hromatografu sa masenim detektorom.

GC i GC/MS analize odrađene su korišćenjem Agilent 7890A GC opremljenog 5975C (inertni KSL EI /CI) MSD i FID detektorima povezanih dvosmernim razdelnikom primenom tehnologije kapilarnog protoka. Korišćena je HP-5MS kapilarna kolona sa dimenzijama 30 mm x 0.25 mm x 0.25 mm. Temperatura GC peći programirana je da se poveća sa 60 na 300 °C brzinom od 3 °C/min i održavana je 10 minuta. Kao gas nosač korišćen je helijum sa brzinom protoka od 1,5 mL/min u režimu konstantnog pritiska na 60 °C. Uzorak je analiziran u režimu splitless sa zapreminom injektovanja od 1 mL. Temperatura GC detektora bila je podešena na 300 °C. MS podaci dobijeni su u EI režimu sa opsegom skeniranja od 30-550 m/z; početna temperatura bila je 230 °C, a četverostruka temperatura bila je 150 °C. Kašnjenje rastvarača bilo je 3 min. Identifikacija je izvršena korišćenjem metode zaključavanja retencionog vremena (RTL) i baze podataka RTL Adams.

4.6. Metode za određivanje oksidativne stabilnosti ulja

Oksidativna stabilnost ulja Rancimat testom

Oksidativna stabilnost ulja određena je Rancimat testom koji je podrazumevao određivanje indukcionog perioda u časovima. Rancimat test urađen je po standardizovanoj metodi AOCS Standard Method Cd 12b:1992.

Izmereno je po 2,5 g ulja u kivetama za testiranje. Uzorak je potom zagrevan na 105 °C u Rancimat uređaju (model 743, Methrom, Herisau, Switzerland) uz protok vazduha kroz uzorke 20 L/h u trajanju od 10 min.

4.7. Metode za karakterizaciju pogača, brašna, mešavina brašna i hleba

4.7.1. Postupak pripreme hleba

Uzorci hleba bili su pripremani standardnim postupkom. Mešavinama brašna (pšenično brašno uz određeni udeo odgovarajuće pogače) najpre su dodate praškaste komponente (Tigris green i Propisan) kao poboljšivači svežine i volumena finalnog pekarskog proizvoda. Temperatura brašna bila je 23 °C. Svež pekarski kvasac dodat je u količini od 3% u odnosu na brašno za sve vrste hleba, a so je dodata u količini od 2% u odnosu na brašno.



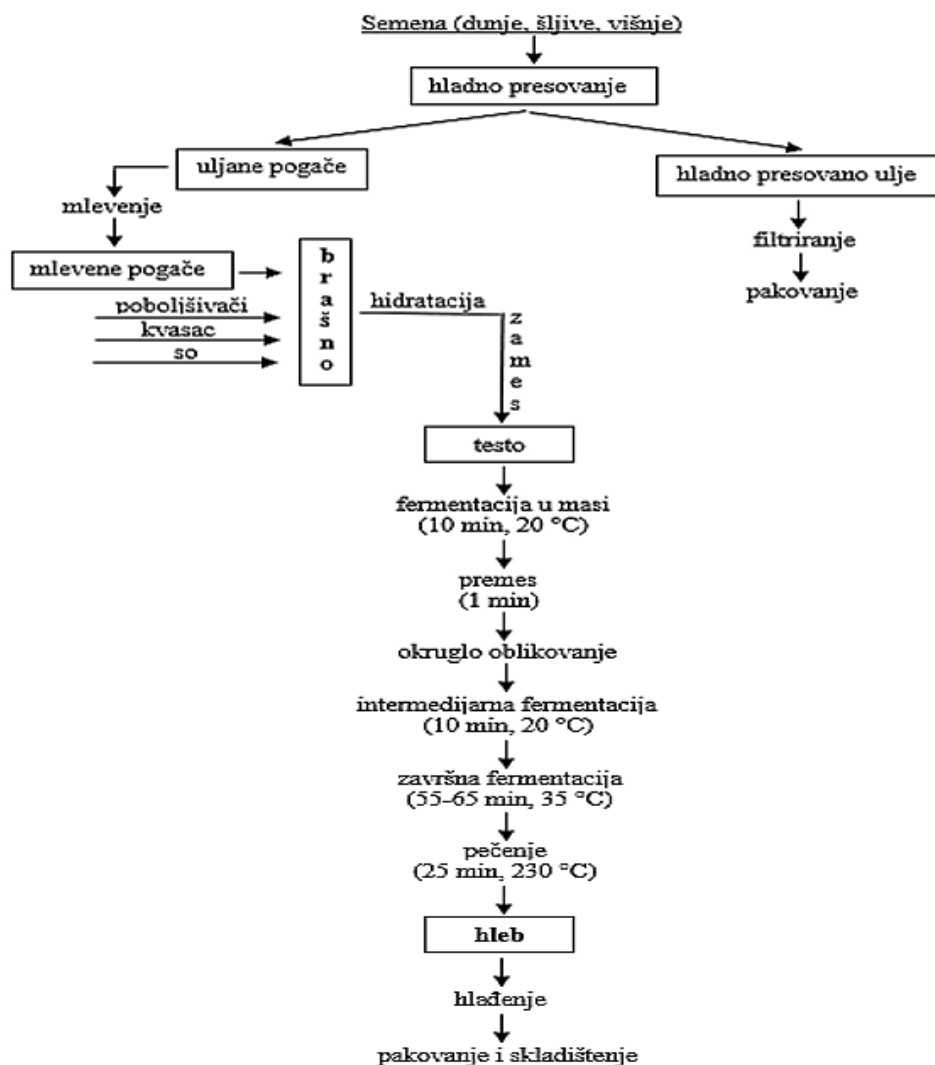
Slika 4. Postupak zamesa testa

Brašno i praškasti sastojci prebačeni su u spiralni mikser (Bongard, Francuska). Količina dodate vode varirala je u zavisnosti od udela i vrste upotrebene pogače. Temperatura vode za zames bila je 27 °C. Količina vode dodata testu za proizvodnju hleba prikazana je u Tabeli 3.

Tabela 3. Udeo dodate vode potrebne za zames testa u proizvodnji obogaćenih hlebova

	K	Dh10	Dh20	Dh30	Šh10	Šh20	Šh30	Vh10	Vh20	Vh30
% vode	60,00	64,00	67,00	73,00	64,00	65,00	80,00	62,00	62,00	62,00

Zames je odrađen u dva koraka: sporohodni u trajanju 5 min, i brzohodni u trajanju 7 min. Posle zamesa, temperatura testa bila je 25 °C. Usledila je fermentacija u masi (10 min) na sobnoj temperaturi. Potom je testo premešeno (1 min) i oblikovano u loptastu formu. Posle premesivanja usledila je intermedijarna fermentacija koja je trajala 10 min. Testo je zatim podeljeno na manje komade (~350 g), koji su premešeni, oblikovani i ubačeni u kalupe. Kalupi su stavljeni u komoru za fermentaciju (Bongard, Francuska) na 35 °C, 80% relativne vlažnosti, tokom 55-65 minuta do postizanja optimalne zapremine testa. Vreme fermentacije variralo je i zavisilo od vrste i količine dodate pogače. Posle završne fermentacije, kalupi sa testom su stavljeni u peć za pečenje (Bongard, Francuska) na temperaturu od 230 °C u trajanju od 25 min. Šema tehnološkog postupka proizvodnje hleba prikazana je na Slici 5.



Slika 5. Tehnološki postupak proizvodnje hleba

Posle pečenja, hleb je bio još 5 min u kalupima, a zatim je vađen iz istih i ostavljen na sobnoj temperaturi 4-5 h da se ohladi. Ohlađene vekne hleba izrezane su na kriške na mašini za rezanje (Bongard, Francuska) i pakovane u polipropilenske kese. Određeni broj tako upakovanih uzoraka hleba ostavljen je da stoji 7 dana na sobnoj temperaturi kako bi se ispitala svežina gotovih proizvoda, a preostali uzorci čuvani su u zamrzivaču za dalje analize. Ukupno je dobijeno 5 vekni hleba od svakog uzorka.



Slika 6. Upakovane vekne svih vrsta proizvedenih hlebova

4.7.2. Određivanje osnovnog hemijskog sastava

Sadržaj vlage u uzorcima pogača i mešavinama brašna određen je gravimetrijski po standardnoj metodi SRPS EN ISO 712:2012. Sadržaj vlage u uzorcima gotovih pekarskih proizvoda određen je po metodi iz Pravilnika a) (član 30, 1988). Količina uzorka hleba od 300 g izrezana je na kriške koje su nožem za hleb isečene na kocke veličine do 1,5 cm. Kocke hleba ostavljene su da se suše na vazduhu na sobnoj temperaturi u trajanju 48 sati uz povremeno mešanje kako bi se postiglo ravnomerno sušenje. Posle sušenja, izmerena je masa ispitivanih uzoraka kako bi se na osnovu razlike u masi odredio sadržaj grube vlage u prethodno osušenim uzorcima. Na ovaj način pripremljeni uzorci hleba potom su usitnjeni do fine granulacije, tako da čestice mogu da prođu kroz sito otvora 1 mm. Od fino sprasanih uzoraka hleba, poznatog sadržaja grube vlage, izmereno je (~5 g) u vegeglase osušene do konstantne mase. Vegeglasi poznate mase sa uzorcima hleba postavljeni su u sušnicu na 103 °C u trajanju 3 sata. Posle sušenja izmerene su mase vegeglasa sa uzorcima, a zatim je na osnovu razlike u masi izračunat sadržaj fine vlage. Sadržaj ukupne vlage u uzorcima hleba izračunat je sabiranjem grube i fine vlage i izražen je u procentima.

Sadržaj ukupnog pepela u uzorcima pogača, mešavinama brašna i hlebova određen je po metodi iz Pravilnika a) (član 30, 1988). Uzorci hleba pripremljeni su na identičan način kao za određivanje sadržaja vlage. U proračunu za ukupan sadržaj pepela u hlebu korišćena je prethodno određena ukupna vlaga. Rezultati su izraženi u procentima.



Slika 7. Spaljivanje uzoraka hleba pre žarenja

Određivanje sadržaja azota i izračunavanje sadržaja sirovih proteina u uzorcima pogača, mešavina brašna i hlebova urađeno je metodom po Kjeldalu prema standardu SRPS ISO 1871:2013.

Sadržaj ulja u uzorcima pogača, mešavinama brašna i hlebu određen je po metodi iz Pravilnika a) (član 30, 1988).

Sadržaj ukupnih ugljenih hidrata dobijen je računski, tako što je od 100% oduzet zbir sadržaja vlage, pepela, proteina i ulja izražen u procentima, na suhu materiju (FAO, 2003).

Sadržaj saharoze u uzorcima hleba određen je Luff-Schoorl metodom (Egan i sar., 1981). U metodi se jodometrijski određuju Cu^{2+} joni koji se ne redukuju. Procenat saharoze izračunat je kao razlika između ukupnog invertera i prirodnog invertera.

Sadržaj skroba u uzorcima mešavina brašna i obogaćenih hlebova određen je polarimetrijskom metodom po standardu ISO 10520:1997.

Energetska vrednost hlebova određena je pomoću kalorijskih koeficijenata koji odgovaraju sadržaju proteina, masti i dostupnih ugljenih hidrata (Dhen i sar., 2018), prema formuli datoj u Coelho i Salas-Mellado (2015):

$$\text{Energetska vrednost (kcal/100 g)} = (\text{g proteina} \times 4) + (\text{g masti} \times 9) + (\text{g ugljenih hidrata} \times 4),$$

pri čemu je konverzioni faktor kcal u kJ: 1 kcal = 4,184 kJ.

4.7.3. Određivanje sadržaja dijetnih vlakana

Za određivanje sadržaja dijetnih vlakana uzorci pogača, brašna, mešavina brašna i hleba najpre su sušeni na 105 °C u laboratorijskoj sušnici tokom 12 sati, tj. do postizanja konstantne mase, kako bi se odredio ukupan sadržaj suve materije. Modifikovanom metodom Van Soest (1980) za određivanje vlakana deterdženta po Mertens-u (1992) određen je sadržaj hemiceluloze, celuloze, vlakana neutralnog deterdženta (NDF), vlakana kiselog deterdženta (ADF) i lignina (ADL) pomoću Fibertec sistema FOSS 2010 Hot Extractor (FOSS Tecator, Hoeganaes, Švedska). Princip metode zasniva se na promeni rastvorljivosti pojedinačnih lignoceluloznih vlakana u neutralnim, kiselim i alkalnim rastvorima. Vlakna neutralnog deterdženta su ukupna nerastvorljiva u vodi vlakna, kisela deterdžentska vlakna obuhvataju celulozu i lignin, a kiseli deteržentni lignin je čist lignin. Sadržaj hemiceluloze dobijen je empirijski i predstavlja razliku sadržaja NDF i ADF. Sadržaj celuloze izračunat je kao razlika između sadržaja ADF i lignina. Rezultati su izraženi u procentima na suhu materiju (Nikolić i sar., 2023; Nikolić i sar., 2022).

4.8. Metode za određivanje antioksidativne aktivnosti pogača, brašna, mešavina brašna, hleba i ulja

Princip testova koji se koriste za određivanje antioksidativne aktivnosti zasniva se na odgovarajućem standardnom merenju spektrofotometra. Antioksidativnu sposobnost ne treba testirati samo jednom metodom; najmanje tri različite *in vitro* antioksidativne metode moraju se sprovesti zajedno da bi se odredila antioksidativna aktivnost (Gulcin i Alwasel, 2023). Najčešće primenjivane metode testovi su 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), FRP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), 2,2'-azino-bis-3- etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina (ABTS) (Akar i sar., 2017).

Priprema ekstrakta

Pogače i osušeni uzorci hleba samleveni su u električnom mlinu (TSM6A011W, Bosch). Izmereno je po 1 g fino sprasjenih uzoraka pogača, brašna, mešavina brašna i hleba. Uzorak je ekstrahovan sa 80% etanolom (1:10 v/v). Posle 2 h mešanja na mehaničkoj mešalici (Thys 2, MLW Labortechnik GmbH, Seelbach, Nemačka), uzorci su centrifugirani (DLAB DM0412) na 4000 o/min, 10 min. Supernatant je odliven i korišćen u daljim analizama. Ulje nije bilo izloženo ovoj vrsti predtretmana.

4.8.1. Određivanje ukupnog sadržaja polifenola (TPC) i antioksidativna aktivnost (FRP, ABTS⁺ i DPPH[•])

Folin-Ciocalteu test (F-C) je reakcija zasnovana na prenosu elektrona koja meri redukcionu kapacitet antioksidanta. Ukupan sadržaj polifenola (TPC) ulja određen je metodom koju su opisali Kostić i sar. (2021) i Stikić i sar. (2020). Tako je 140 µL razblaženih uzoraka ulja pomešano sa 600 µL Folin-Ciocalteu reagensa. Posle 5 min, uzorcima je dodato 460 µL 7,5% Na₂CO₃. Pripremljeni uzorci ostavljeni su na tamnom mestu da stoje 1,5 h. Pre očitavanja apsorbance, uzorci ulja su centrifugirani na 17000 g tokom 5 minuta. Posle centrifugiranja, donji vodeni sloj odvojen je za očitavanje. Ekstrakti uzoraka pogača, brašna, mešavina brašna i hleba pripremljeni su na identičan način. Posle stajanja 1,5 h na tamnom mestu odmah je očitavana apsorbance, bez centrifugiranja. Apsorbance je određena spektrofotometrijski (Shimadzu spektrofotometr, UV-1800, Shimadzu USA Manufacturing Inc, UR, USA) na talasnoj dužini od 765 nm. Sadržaj ukupnih polifenola u uzorcima izražen je kao mg galne kiseline koji odgovara 100 g uzorka FW (sveže mase).

Antioksidativna aktivnost uzoraka određena je sledećim testovima: redukciona sposobnost Fe^{3+} jona (FRP), sposobnost sakupljanja $\text{ABTS}^{•+}$ radikala ($\text{ABTS}^{•+}$), sposobnost uklanjanja DPPH^{\bullet} radikala (DPPH^{\bullet}) prema Kostić i sar. (2021) i Stikić i sar. (2020).

Princip FRP testa zasniva se na redukciji blede žute boje triazinskog kompleksa feri- (Fe^{3+}) u njegov fero- (Fe^{2+}) oblik kao signal, ili „indikator“ reakcije ove direktne metode za merenje „ukupnog“ redukcionog antioksidativnog dejstva. Na uzorcima ulja sposobnost redukovanja Fe^{3+} jona, određena je tako što je izmereno 250 μL uzoraka koji su pomešani sa 250 μL kalijum-fosfatnog pufera pH 6,6 i 250 μL 1% kalijum-fericijanida ($\text{C}_6\text{N}_6\text{FeK}_3$). Smeša je temperirana na 50 °C 20 min. Smeši je dodato 250 μL 10% trihlorsirćetne kiseline (TCA). Smeša je centrifugirana i 500 μL supernatanta pomešano je sa 500 μL vode i 100 μL 0,1% FeCl_3 . Apsorbanca je očitavana posle 10 min na 700 nm. FRP uzoraka izražen je kao mg askorbinske kiseline što je ekvivalentno 100 g uzorka FW. Sposobnost redukovanja gvožđa uzoraka pogača, brašna, mešavina brašna i hlebova određena je na identičan način pod identičnim uslovima kao kod uzoraka ulja uz izostavljanje centrifugiranja.

Osnova $\text{ABTS}^{•+}$ testa je interakcija između antioksidanta i prethodno generisanog $\text{ABTS}^{•+}$ katjona radikala. $\text{ABTS}^{•+}$ test meri samo antioksidativni kapacitet, ne procenjuje antioksidativnu reaktivnost. Aktivnost uklanjanja $\text{ABTS}^{•+}$ radikala u uzorcima ulja određena je tako što je 100 μL uzorka pomešano sa 1 mL radnog rastvora $\text{ABTS}^{•+}$, koji je čuvan na tamnom mestu 7 minuta. Apsorbanca je izmerena na 734 nm posle centrifugiranja uzorka i uklanjanja donjeg sloja radi očitavanja. $\text{ABTS}^{•+}$ aktivnost uzoraka izražena je kao mg Trolox što je ekvivalentno 100 g uzorka FW. Aktivnost uklanjanja $\text{ABTS}^{•+}$ radikala u uzorcima pogača, brašna, mešavina brašna i hlebova određena je na identičan način pod identičnim uslovima kao kod uzoraka ulja uz izostavljanje centrifugiranja.

DPPH^{\bullet} test zasnovan je na spektrofotometrijskim merenjima kapaciteta antioksidanata da uklone DPPH^{\bullet} radikale. Za određivanje aktivnosti uklanjanja DPPH^{\bullet} radikala ulja izmereno je 105 μL uzorka. Uzorcima je dodato 840 μL prethodno pripremljenog radnog rastvora DPPH^{\bullet} . Smeša je ostavljena da stoji na tamnom mestu 30 min pre centrifugiranja i uklanjanja donjeg sloja radi očitavanja. Apsorbanca je merena na 517 nm. DPPH^{\bullet} aktivnost uzoraka izražena je kao mg Trolox što odgovara 100 g uzorka FW. Određivanje aktivnosti uklanjanja DPPH^{\bullet} radikala u uzorcima pogača, brašna, mešavina brašna i hlebova sprovedeno je na identičan način pod identičnim uslovima kao kod uzoraka ulja uz izostavljanje centrifugiranja.

4.9. Raman spektroskopija

Snimanje spektara uzoraka belog pšeničnog brašna, pogača, mešavina brašna sa udelom 10, 20 i 30% odgovarajuće pogače i hlebova napravljenih od istih mešavina brašna i belog hleba kao kontrolnog uzorka vršeno je u opsegu od 200-1800 cm^{-1} , Ramanovim spektrometrom XploRA (Horiba Jobin Yvon, Francuska), povezanim sa mikroskopom Olympus BX41m. Pobuđivanje Ramanovog rasejanja postignuto je laserom talasne dužine 785 nm, maksimalne izlazne snage 20–25 mW, sa disperzionom rešetkom od 600 linija/mm. Integraciono vreme pri svakom individualnom merenju bilo je 25 sekundi, bez korekcije filtera. Karakteristični pik silicijuma na 520,47 cm^{-1} korišćen je za kalibraciju, a spektralna rezolucija svih merenja je oko 3 cm^{-1} . Analiza Ramanovih spektara izvršena je pomoću softvera LabSpec 6 (Horiba Jobin Yvon). Zbog kompleksnosti bioloških sistema, pre hemometrijskih analiza, izvršeno je predprocesovanje podataka, koje je podrazumevalo korekciju bazne linije i normalizaciju intenziteta svih spektara na osnovu pika najvišeg intenziteta pomoću softvera Spectragryph, verzija 1.2.14.

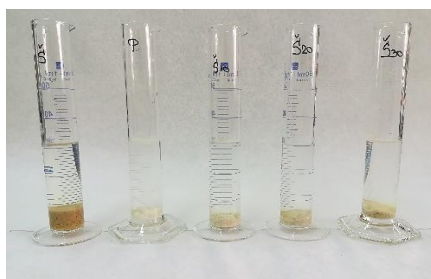
4.10. Određivanje funkcionalnih svojstava pogača, brašna i mešavina brašna

Funkcionalna svojstva kao što su kapacitet zadržavanja vode (KZV), kapacitet zadržavanja ulja (KZU) i kapacitet bubrenja (KB) određeni su na uzorcima pogača, pšeničnog brašna i mešavina brašna kako bi se utvrdio njihov potencijal primene u proizvodnji pekarskih proizvoda.

Kapacitet zadržavanja vode određen je merenjem 1 g uzorka samlevenih pogača (finih i krupnih čestica) i rastvarenjem u 30 mL destilovane vode. Suspenzija je ostavljena da stoji na sobnoj temperaturi 24 sata bez mešanja. Sadržaj je zatim centrifugiran na 3600 o/min tokom 20 minuta. Dobijeni supernatant uklonjen je i preostali ostatak je izmeren. KZV se izražava kao težina vezane vode po gramu uzorka pogača i mešavina brašna (g/g).

Kapacitet zadržavanja ulja određen je mešanjem 1,0 g uzorka sa 10,0 mL suncokretovog ulja. Suspenzija je ostavljena da stoji na sobnoj temperaturi 24 sata bez mešanja. Usledilo je centrifugiranje na 3600 o/min tokom 25 minuta, posle čega je supernatant uklonjen i izmerena je težina ostatka. Rezultati su izraženi kao količina vezanog ulja po gramu uzorka brašna (g/g).

Kapacitet bubrenja određen je merenjem 1,0 g uzorka pogača i mešavina brašna u graduisani sud i dodavanjem 30,0 mL destilovane vode. Sud sa suspenzijom ostavljen je da stoji 18 časova bez mešanja. Zatim je izmerena zapremina sloja brašna. Rezultati su predstavljeni kao zapremina koju zauzima pogača ili mešavina brašna (u mL) po jedinici težine brašna (mL/g).



Slika 8. Određivanje kapaciteta bubrenja u pogači semena šljive, mešavinama brašna sa pogačem semena šljive i pšeničnom brašnu

4.11. Kapaciteti zadržavanja rastvarača

Kapacitet zadržavanja rastvarača (SRC) određen je po metodi koja je opisana u Zlatanović i sar. (2019). Uzorci samlevenih pogača i mešavina brašna pojedinačno ($5,0 \pm 0,05$ g), određenog sadržaja vlage, izmereni su u staklene kivete zapremine 50 mL poznate mase. Četiri SRC rastvarača nezavisno su pripremljena sa destilovanom vodom. Upotrebljena je destilovana voda, 5% rastvor mlečne kiseline, 5% rastvor Na_2CO_3 i 50% rastvor saharoze. Izmerenim uzorcima dodato je $25,0 \pm 0,05$ g odgovarajućeg rastvarača. Kivete su zatvarane i snažno mućkane kako bi se čestice fino dispergovale u rastvaraču. Uzorak je ostavljen da hidratiše 20 min, tokom kojih je na svakih 5 min intenzivno mućkan. Posle hidratacije uzorak je postavljen na centrifugu na 3000 o/min u trajanju od 15 min.



Slika 9. Određivanje sposobnosti zadržavanja rastvarača (mlečna kiselina)

Supernatant je dekantovan, a kiveta sa hidratisanim brašnom kao talogom okrenuta je naopako da odstoji 10 min na papirnom ubrusu kako bi se uklonio zaostali rastvarač. Masa kivete sa hidratisanim brašnom je izmerena. SRC je izračunat po sledećoj formuli (Laličić-Petronijević, 2018):

$$SRC (\%) = \left[\frac{\text{težina zaostalog brašna}}{\text{polazna težina brašna}} \cdot \left(\frac{86}{100 - \% \text{ vlage brašna}} \right) - 1 \right] \cdot 100$$

4.12. Određivanje teksturnih svojstava gotovih hlebova

Teksturna svojstva hlebova određena su pomoću dva analizatora teksture, TA1 (Ametek Test & Calibration Instruments, Texture Analyzer Machine TA1 Series, LLOYD TA 500) i TA.XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Velika Britanija). Ovim uređajima dobijena su različita teksturna svojstva koja su zbirno dala detaljan teksturni profil hlebova.

Vekne uzoraka hlebova izrezane su na mehaničkoj rezalici na kriške debljine 15 mm (Graef, Bradford Velika Britanija, ABS 07). Na taj način cela vekna hleba bila je izrezana na ukupno 10 kriški. Za određivanje teksturnih svojstava uzoraka hlebova korišćen je TA1 analizator teksture (Slika 10). U sklopu analizatora korišćen je cilindar prečnika 25 mm i sonda od 50 N.

Teksturna svojstva gotovih proizvoda ispitana su posle prvog, trećeg i sedmog dana čuvanja na sobnoj temperaturi. Kako bi se dobili realni i reprezentativni podaci o svežini gotovih proizvoda, uzete su kriške sa sredine i krajeva vekni hleba. Na svakom uzorku hleba, tekstura je ispitivana na drugoj, četvrtoj, petoj i osmoj kriški.



Slika 10. Analizator teksture TA1

Analizator teksture bio je povezan sa računarom preko odgovarajućeg USB kabla i radio prema NEXYGENPlus™ programu. Posle pokretanja sistema pojavljuje se odgovarajuća sila koja označava pritisak na određenu površinu. Rezultati se izražavaju kao sila pritiska izražena u njutnima (N) koja je potrebna da se izazove deformacija uzorka za 25%. Više vrednosti značile su veću silu potrebnu za deformisanje uzoraka, što je ukazivalo na to da tvrđa kriška hleba ima manju svežinu.

Teksturna svojstva uzoraka hlebova određena su i analizatorom teksture TA-XT^{Plus} Texture Analyzer TA.XT2 (Slika 11). Analiza teksturnih svojstava određena je na sobnoj temperaturi na drugoj,

četvrtoj, petoj i osmoj kriški hleba, tako da dobijeni rezultati budu najpribližniji realnim teksturnim svojstvima cele vekne hleba. Ispitano je šest teksturnih svojstava: tvrdoća, elastičnost, kohezivnost, gumoznost, žvackljivost i otpornost.



Slika 11. Analizator teksture TA.XT2

Merenje je izvršeno po modifikovanoj metodi (Škrobot, 2016) tako što je cilindrična sonda, glava 30, centrirana na sredinu kriški hleba, kako bi se izbegao region blizu kore. Kriške hleba, bile su debljine oko 15 mm. Princip rada instrumenta zasnivao se na neposrednom kontaktu cilindrične sonde gde se na osnovu veličine otpora uzorka prema sili pritiska odgovarajuće sonde dobijaju informacije o traženim teksturnim svojstvima hleba. Rezultati su izraženi kao sila u funkciji vremena.

Postupak je sproveden prema uputstvu odgovarajućeg proizvođača, sa usklađivanjem softvera Exponent Stable Micro Systems, verzija 6.0, vrsti uzorka i zadatim teksturnim svojstvima određivanja.

4.13. Metoda za određivanje biodigestije *in vitro* obogaćenih hlebova

Gastrointestinalna digestija *in vitro* urađena je po modifikovanom postupku datom u Aura i sar. (1993). Odmereno je 1,5 g uzorka usitnjenog hleba. Uzorku su dodati destilovana voda (dH₂O), 0,85% NaCl i rastvor pljuvačne α -amilaze (sa aktivnošću od 50 IU) u fosfatnom puferu kako bi se simulirali uslovi varenja hrane u ustima. Ovaj rastvor sa pH vrednošću 6,9 mešan je u trajanju od 5 min. Kada je završena oralna digestija, uzorcima je dodata 0,15 M HCl, sa ciljem inaktiviranja α -amilaze, posle čega je dodat pepsin (Sigma P- 7012, 0,6-2,0 mg) rastvoren u 20 mM HCl (2 mg/mL). Na ovaj način izvršena je simulacija uslova *in vitro* digestije u želudcu, koja je trajala ukupno 2 h sa pH vrednošću od 2,5 uz neprekidno mešanje. Po završetku digestije uzoraka u želudcu usledila je simulacija digestije u tankom crevu. Uzorcima su dodate žučne kiseline (Sigma B-8381, 0,4-0,6 g) rastvorene u 0,15 M NaHCO₃ (150 mg/mL), pankreatin (Sigma P-1750, 10-75 mg, 163,5 U/mg) rastvoren u 0,15 M NaHCO₃ (18,75 g/mL) i 1 mL mucina (Sigma M-2378, 75 mg) rastvorenog u vodi (75 mg/mL). Uporedo sa uzorcima rađena je i kontrola. U kontrolnom uzorku umesto 1,5 g uzoraka hleba, upotrebljeno je 1,5 mL destilovane vode. Sve ostalo je odrađeno pod identičnim uslovima na identičan način kao kod uzoraka.

U toku analize, odvajan je uzorak digesta i kontrole za dalje analize. Usledilo je centrifugiranje digesta na 4000 o/min u trajanju 20 min. Odvojen supernatant označavan je kao rastvorna frakcija digesta. Talog posle centrifugiranja kvantitativno je prenešen u petri kutije, posle čega je zaleđen i liofilisan (INOFD-10S, Amtast, USA). Na ovaj način tretiran talog označavan je kao nerastvorna frakcija digesta.

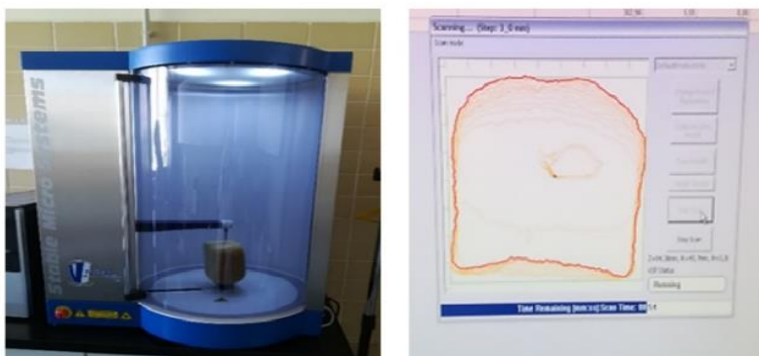
Rastvorna frakcija predstavljala je kontrolni uzorak na osnovu kojeg se moglo zaključiti kako digestivni koktel i uslovi digestije utiču na oslobađanje ciljanih jedinjenja iz matriksa hleba. Nerastvorna frakcija posmatrana je kao kontrola digestije na osnovu koje se moglo zaključiti kako digestivni enzimi i uslovi digestije utiču na zadržavanje ciljanih jedinjenja u matriksu ispitivanih uzoraka hlebova.

4.13.1. Priprema uzoraka za ispitivanje antioksidativnih svojstava digesta

Za potrebe ispitivanja antioksidativnih svojstava digesta korišćene su rastvorna i nerastvorna frakcija. Rastvorna frakcija ispitivana je u dobijenom obliku, dok se za ispitivanje antioksidativnih svojstava nerastvorne frakcije koristio njen etanolni ekstrakt. Etanolni ekstrakt nerastvorne frakcije dobijen je ekstrahovanjem digesta u 80% etanolu (1:10) tokom 1 sata uz neprekidno mešanje. Dobijena suspenzija posle ekstrakcije centrifugirana je na 17000 g u trajanju od 5 min. Za ispitivanje antioksidativnog kapaciteta nerastvorne frakcije korišćen je supernatant.

4.14. Određivanje zapremine

Zapremina hleba određena je pomoću VolScan Profiler 600 (Stable Micro Systems, Engleska) po upustvima datim od strane proizvođača. Rad uređaja zasniva se na laserskom skeniranju celog gotovog proizvoda, pri čemu je korak lasera bio 1 mm, a brzina rotacije 1 o/s. Za svaku skeniranu veknu automatski su izračunata i prikazana sledeća svojstva: zapremina, težina, specifična zapremina, dužina, visina i širina vekne hleba. Odgovarajući softver (Exponent Connect and XT Connect firmware) imao je mogućnost brze 3-D digitalizacije proizvoda koja se mogla arhivirati i matematički obraditi. Specifična zapremina definisana je kao odnos zapremine i mase (mL/g).



Slika 12. Određivanje zapremine hleba pomoću VolScan Profiler

4.15. Određivanje boje hleba

Boja hleba određena je pomoću Chroma Meter CR-400 prikazanom na Slici 13 (Konica Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan). Uređaj je bio opremljen staklenom zaštitnom cevi CR-A33f, nastavkom dizajniranim za merenje mekih uzoraka. Boja kore i boja sredine uzoraka hleba merene su na pet tačaka prema Belović i sar. (2019).



Slika 13. Uređaj Chroma Meter 400 za određivanje boje uzoraka (www.konicaminolta.eu)

Rezultati su izraženi u CIE $L^*a^*b^*$ koordinatama boja, gde CIE L^* predstavlja svetloću ($L^* = 0$ označava najveći stepen tamnoće, kada je $L^* = 100$ označava najveći stepen svetloće), CIE a^*

predstavlja crveno-zelene tonove (pozitivna vrednost a^* predstavlja crvene tonove, a negativna vrednost parametra a^* predstavlja zelene tonove), CIE b^* predstavlja žuto-plave tonove (pozitivna vrednost b^* ukazuje na žute tonove, a negativne vrednosti b^* ukazuju na plave tonove). Vrednosti su očitane korišćenjem izvora svetlosti D65 i ugla posmatranja od 2° . Indeks beline sredine i indeks zapečenosti kore uzoraka hleba određeni su empirijski formulama datim u Đorđević i sar. (2019):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

$$BI = \frac{100 \cdot (x - 0.31)}{0.172}$$

gde je:

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.01b^*}$$

4.16. Određivanje senzornih karakteristika gotovih pekarskih proizvoda

Senzorne karakteristike proizvedenih hlebova obogaćenih različitim udelom odgovarajućih uljanih pogača bile su određene 1., 3. i 7. dana posle pečenja, pomoću panela od 10 ocenjivača - eksperata korišćenjem odgovarajućih ISO standarda (1993). Postupak ocenjivanja izvršen je prema upustvima datim u Stikić i sar. (2012).

Ocenjivana su sledeća svojstva: izgled (boja, oblik, površina), struktura (tekstura, presek, mrvljivost, elastičnost), žvkljivost, miris i ukus. Svakom svojstvu dodeljen je koeficijent važnosti prema njegovom uticaju na senzorni kvalitet proizvoda, i to za izgled 2 boda, strukturu 3 boda, žvkljivost 4 boda, miris 4 boda i ukus 7 bodova. Svaka karakteristika ocenjena je u rang od 1 do 5 i pomnožena odgovarajućim koeficijentom važnosti. Na taj način dobijen je „% od maksimalnog kvaliteta“. Maksimalan kvalitet hleba može da bude 100. Deljenjem ove vrednosti sa zbirom koeficijenata važnosti dobija se srednja vrednost ocene (od 1 do 5) koja reprezentuje kvalitet svakog pojedinačnog uzorka hleba.

4.17. Statistička obrada rezultata

Rezultati u disertaciji prikazani su kao srednja vrednost \pm standardna devijacija. Sve analize odrađene su u triplikatu. Na rezultatima izvršena je jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA) i Tuckey HSD test na osnovu kojeg su određene statistički značajne razlike srednjih vrednosti na nivou značajnosti $p < 0,05$. Statistička analiza izvršena je korišćenjem softverskog paketa STATISTICA 12. U disertaciji je većina rezultata obrađena analizom glavnih komponenti (PCA) u statističkom paketu IBM SPSS Statistics, verzija 20.

Analiza glavnih komponenti (PCA) predstavlja statističku analizu redukcije dimenzionalnosti skupa podataka na način da bude obuhvaćena što veća količina varijanse podataka. Primenjuje se kad je veliki broj promenljivih u skupu redundantan odnosno kada se više promenljivih odnosi na istu dimenziju, a da ne pružaju neke dodatne informacije koje nisu već sadržane u nekoj drugoj promenljivoj. Umesto velikog broja promenljivih p u daljoj analizi korišćen je manji broj glavnih komponenti m koje su u najvećoj mogućoj meri obuhvatile varijansu polaznog skupa podataka. Bilo je vrlo važno odrediti broj glavnih komponenti bez velikog gubitka informacija.

Originalne promenljive bile su transformisane u nove promenljive odnosno linearne kombinacije, koje su bile označene kao glavne komponente (eng. principal component). Prva glavna komponenta konstruisana je tako da je obuhvatala najveći deo varijanse originalnog skupa podataka, a naredne komponente obuhvatale su onaj deo varijanse koji nije bio obuhvaćen prethodno izdvojenim komponentama.

Za proveru prikladnosti određenog skupa podataka za PCA analizu, najpre je razmatrana jačina korelacione veze između ulaznih promenljivih. Poželjno je bilo da svaka varijabla ima bar jedan koeficijent korelacije sa apsolutnom vrednošću većom od 0,3, što je minimalna vrednost koju su Kinner i Gray (1994) predložili kao kriterijum za uključivanje varijable u analizu. Definisana korelaciona matrica ispitivanih varijabli, za oba seta podataka (za brašno i hleb) potvrdila je prikladnost i opravdanost podataka za sprovođenje postupaka PCA analize.

Zatim je izračunata Kaiser-Meyer-Olkinova (KMO) mera, koja je kao kriterijum ispitala prikladnost podataka za primenu faktorske analize uzorka (Kaiser, 1974). Vrednost Kaiser-Meyer-Olkinove mere (K) izračunata je uz pomoć formule datoj u Bartlett (1954):

$$K = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{k=1, k \neq i}^p r_{ijk}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{k=1, k \neq i}^p r_{ik}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{k=1, k \neq i}^p q_{ik}^2}$$

gde je r_{ik}^2 , ($i \neq k$) kvadrat izvan dijagonalnog elementa korelacione matrice (kvadrat koeficijenta korelacije između i -te i k -te varijable), a q_{ik}^2 , ($i \neq k$) kvadrat izvan dijagonalnog elementa antiimidž korelacione matrice (kvadrat koeficijenta parcijalne korelacije između i -te i k -te varijable). KMO pokazatelj uzimao je vrednosti između 0 i 1, gde je vrednost 0,6 bila preporučena kao najmanji iznos prihvatljiv za dobru PCA analizu (Tabachnick and Fidell, 2007). Na kraju bio je primenjen i drugi test za proveru opravdanosti primene PCA analize, tzv. Bartlett-ov test sferičnosti (Bartlett, 1954.). Ovaj test trebalo je da pokaže statističku značajnost ($p < 0,05$) kako bi primena PCA analize bila opravdana.

Da bi se poboljšalo inicijalno nerotirano rešenje i poboljšala interpretacija glavnih komponenti izvršena je rotacija Varimax metodom. Tako se dobija jednostavnija struktura, koja se lakše tumači, a da se pri tom ne menja ukupna varijansa.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Fizičke i hemijske karakteristike semena

Fizičke karakteristike semena

Na početku ispitivanja potencijalne primene nusproizvoda iz prerade voća () određene su najpre fizičke karakteristike semena dunje, šljive i višnje. Rezultati su prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4. Fizičke karakteristike ispitivanog semena (srednja vrednost \pm SD)

Parametri	Seme dunje	Seme šljive	Seme višnje
Masa 1000 semena (g)	36,00 \pm 0,47 ^{*c}	251,23 \pm 10,46 ^a	58,38 \pm 1,49 ^b
Dužina (mm)	7,02 \pm 0,61 ^b	16,58 \pm 0,54 ^a	6,32 \pm 0,22 ^c
Širina (mm)	4,02 \pm 0,44 ^c	8,24 \pm 0,25 ^a	5,01 \pm 0,14 ^b
Debljina (mm)	2,31 \pm 0,12 ^b	4,22 \pm 0,63 ^a	4,18 \pm 0,32 ^a

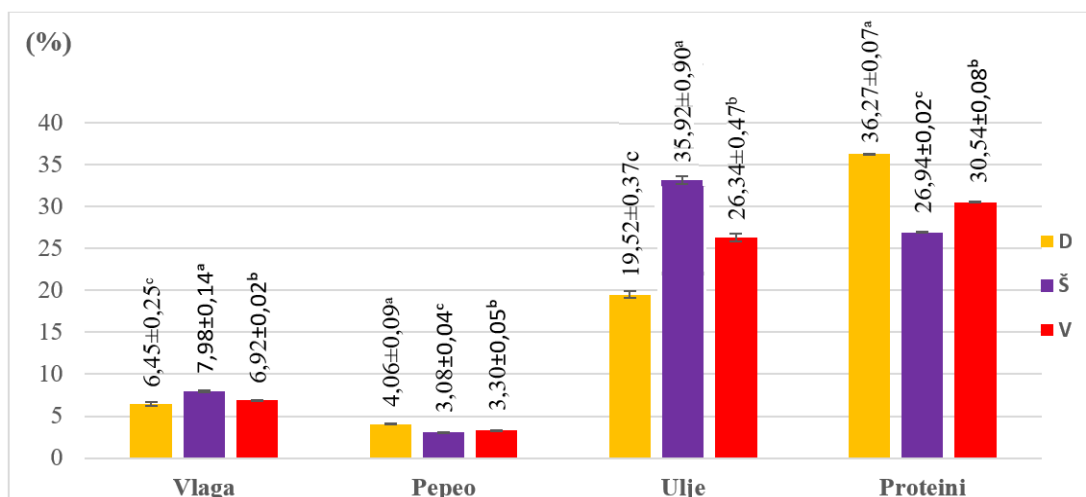
*Različita mala slova u svakom redu označavaju značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$).

Masa 1000 semena značajno se razlikovala između uzoraka što se i vizuelno moglo zaključiti na osnovu razlike u veličini semena. Seme šljive imalo je najveću masu, 251,23 \pm 10,46 g, sledi seme višnje sa 58,38 \pm 1,49 g i seme dunje sa najmanjom masom od 36,00 \pm 0,47 g.

Seme dunje bilo je braon boje, ovalnog oblika. Prosečna dužina i širina semena dunje bile su oko 7,02 \pm 0,61 mm i 4,02 \pm 0,44 mm, redom, što je u skladu sa literaturnim podacima u kojima se može naći da je dužina semena dunje bila 7 mm, a širina istog 5 mm (Yousuf i Maktedar, 2022). Debljina semena dunje u ovom istraživanju iznosila je 2,31 \pm 0,12 mm. Seme šljive imalo je najveću dužinu, širinu, debljinu: 16,58 \pm 0,54 mm, 8,24 \pm 0,25 mm, 4,22 \pm 0,63 mm, redom. Esehaghbeygi i sar. (2013) su objavili vrednosti od 28,05 do 36,52 mm, 26,78 do 35,46 mm i 25,85 do 34,01 mm za dužinu, širinu i debljinu, redom, za semena različitih sorti šljive. Dužina semena razlikovala se od literaturnih podataka što se moglo objasniti različitim sortom šljive i različitim hemijskim sastavom semena. Yarılgaç (2001) je u svom istraživanju objavio da se dužina semena različitih genotipova višnje kretala 0,70-0,96 cm, a debljina semena 0,70-0,89 cm. Yılmaz i sar. (2020) su objavili širinu semena višnje u svom radu od 8,53 mm. Seme višnje bilo je skoro okruglog oblika, dužina, širina i debljina semena bile su 6,32 \pm 0,22 mm, 5,01 \pm 0,14 mm i 4,18 \pm 0,32 mm.

Hemijski sastav semena

Posle izdvajanja semena iz koštica šljive (Š), višnje (V) i seme dunje iz semenih kućica (D), urađena je hemijska karakterizacija sve tri vrste semena koja je prikazana na Slici 14, gde su rezultati izraženi kao procenat u odnosu na suhu materiju. Ispitivanje hemijskog sastava semena važno je zbog određivanja nutritivne vrednosti, kvaliteta ulja i pogača dobijenih posle hladnog presovanja, potencijalnih zdravstvenih benefita i upotrebe u prehrambenoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj i drugim industrijama (Kurt i Atalar 2018).



Slika 14. Grafički prikaz hemijskog sastava uzoraka semena.

Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost \pm SD ($n=3$). Različita mala slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p<0,05$). Skraćenice: D-seme dunje; Š-seme šljive; V-seme višnje.

Sadržaj vlage u ispitivanim uzorcima bio je $6,45 \pm 0,25\%$ (D), $6,92 \pm 0,02\%$ (V) i $7,98 \pm 0,14\%$ (Š). Dobijeni rezultati za vlagu su od velikog značaja za izvođenje postupka hladnog presovanja jer sadržaj vlage je jedan od glavnih parametara koji utiču na efikasnost samog postupka, prinos ulja, kvalitet ulja i uljane pogače kao i njenu mikrobiološku stabilnost. Visok sadržaj vlage može uticati negativno na kvalitet ulja, uzrokujući hidrolitičke promene i pojavu zamucenja (Dimić i Turkulov, 2000). Najviši sadržaj ulja imalo je seme Š sa sadržajem od $35,92 \pm 0,90\%$, dok je minimalni prinos ulja bio kod semena D $19,52 \pm 0,37\%$. Iako je sadržaj ulja dobijen od semena Š i V Soxhlet ekstrakcijom bio niži od prinosa koje su dobili Uluata i Ozdemir (2017) istim tipom ekstrakcije (ulje semena šljive 38,0% i ulje semena višnje 32,1%), ova semena mogu se smatrati ekonomski i tehnološki održivim izvorima ulja.

Uzorci semena su pokazali visok sadržaj proteina: $26,94 \pm 0,02\%$ (Š), $30,54 \pm 0,08\%$ (V) i $36,27 \pm 0,07\%$ (D). Sadržaj pepela bio je $3,08 \pm 0,04\%$ (Š), $3,30 \pm 0,05\%$ (V) i $4,06 \pm 0,09\%$ (D). Vrednosti ovih parametara za seme D su bile veoma slične onima kod Kurta i Atalara (2018) i iznosile su 35,55%, 23,56% i 3,63% za proteine, ulje i pepeo, redom. Parametri semena Š bili su u opsegu vrednosti koje su prijavili Muzaffar i sar. (2022) za sadržaj proteina, ulja i pepela: od 27,57 do 35,91%, od 36,52 do 50% i od 2,2 do 5,18%, redom. Yilmaz i sar. (2018) utvrdili su da ispitivano seme višnje sadrži 29,3% proteina, od 17 do 36% ulja i 4,4% pepela, što je u skladu sa rezultatima ovog ispitivanja.

Kako bi se dobilo kvalitetno jestivo hladno presovano ulje i uljana pogača, neophodno je da polazna sirovina, u ovom slučaju semena različitih voćaka, bude optimalnog kvaliteta. Ispitivani uzorci semena su na osnovu hemijskog sastava pokazali optimalan sadržaj ulja, proteina, vlage i pepela, što je ukazalo na dobar kvalitet semena za dobijanje hladno presovanog ulja i uljanih pogača sa dobrim potencijalom za primenu u prehrambenoj industriji. Varijacije u rezultatima ovog ispitivanja i literaturnih podataka mogli su se objasniti različitim sortama Š i V, geografskim poreklom, različitim uslovima gajenja u Srbiji i Turskoj i uslovima i dužinom skladištenja.

5.2. Prinos ulja

U ovom radu određen je bio i prinos ulja ispitivanih semena postupkom hladnog presovanja (HP) koji je bio upoređen sa prinosom ulja Soxhlet ekstrakcijom. Rezultati su prikazani u Tabeli 5.

Tabela 5. Prinos ulja dobijen postupkom hladnog presovanja (HP) i Soxhlet ekstrakcijom (srednja vrednost \pm SD)

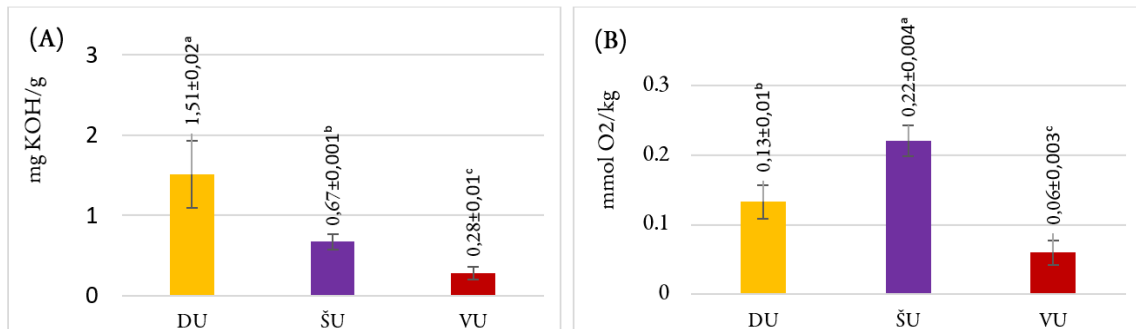
Uzorci	Hladno presovanje (%)	Soxhlet ekstrakcija (%)
D	6,54 \pm 0,57 ^b	19,52 \pm 0,40 ^c
Š	26,21 \pm 0,45 ^a	35,92 \pm 0,90 ^a
V	26,45 \pm 0,53 ^a	26,34 \pm 0,50 ^b

*Različita mala slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: **D**-seme dunje; **Š**-seme šljive; **V**-seme višnje.

Na osnovu prikazanih rezultata u Tabeli 5 vidi se da je postupak izdvajanja ulja statistički značajno uticao na prinos ulja. Prinos ulja postupkom HP kod semena D bio je 6,54 \pm 0,57%, što je ulazilo u opseg objavljenih rezultata Urbanavičić i sar. (2019), 4,9-7,1% za hladno presovano ulje semena dunje, dobijeno posle različitih postupaka prerade. U poređenju sa prinosom ulja Soxhlet ekstrakcijom za seme dunje (19,52 \pm 0,40%) prinos ulja postupkom HP bio je skoro duplo niži. Razlika u dobijenim rezultatima bila je statistički značajna. Seme Š je postupkom hladnog presovanja imalo visok prinos ulja od 26,21 \pm 0,45% što je bilo niže od rezultata koje su objavili Vladić i sar. (2020), 30,85%. Ova razlika bila je statistički značajna u odnosu na seme dunje. Prinos ulja semena V postupkom HP iznosio je 26,45 \pm 0,53% što je bilo niže od rezultata koje su prikazali Kazempour-Samak i sar. (2021) gde je prinos ulja hladnim presovanjem iznosio 31,89%. Prinos ulja posle HP kod semena D i V bio je sličan, seme V imalo je za 0,24% više ulja u odnosu na seme Š, čija se razlika mogla zanemariti. Razlike u vrednostima mogle su se objasniti različitim sortama, uslovima gajenja, geografskim poreklom, uslovima skladištenja, uslovima HP, i sl. S druge strane, prinos ulja kod semena V je bio skoro identičan postupkom HP i Soxhlet ekstrakcijom (26,45 \pm 0,53% i 26,34 \pm 0,50%, redom), te razlika u prinosu ulja nije bila statistički značajna.

5.3. Parametri kvaliteta hladno presovanog ulja

Postupkom hladnog presovanja ispitivanih semena dobijena su hladno presovana ulja i uljane pogače. Kao osnovni parametri kvaliteta dobijenih hladno presovanih ulja određene su vrednosti kiselinskog (Kbr) i peroksidnog broja (Pbr). Rezultati su prikazani na Slici 15.



Slika 15. Grafički prikaz Kbr (A) i Pbr (B) ispitivanih uzoraka svežeg ulja.

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost \pm SD ($n=3$). Različita mala slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: **DU**-hladno presovano ulje semena dunje; **ŠU**-hladno presovano ulje semena šljive; **VU**- hladno presovano ulje semena višnje; Kbr-kiselinski broj; Pbr-peroksidni broj.

Vrednost kiselinskog broja izražena u mgKOH/g ulja ukazuje na sadržaj slobodnih masnih kiselina u ulju i pokazatelj je kvaliteta polazne sirovine (Dimić i sar., 2003). Kbr ispitivanih uzoraka ulja semena šljive (ŠU), višnje (VU) i dunje (DU) bio je 0,67 \pm 0,001, 0,28 \pm 0,01, i 1,51 \pm 0,02 mgKOH/g, redom. Najniži Kbr određen je kod VU što se moglo objasniti razlikama u poreklu semena,

tj. njihovom skladištenju i postupku prerade voća posle kog su semena uzeta kao polazna sirovina u ovom istraživanju. S obzirom da je maksimalno dozvoljena vrednost Kbr za hladno presovana ulja prema Pravilniku b) (43/2013) 4 mgKOH/g ulja, dobijene vrednosti ukazuju da su polazna semena bila dobrog kvaliteta bez obzira na prethodnu obradu plodova. U literaturi se navode vrednosti Kbr za DU 0,88 mgKOH/g (Górnaš i sar., 2013), za ŠU 0,2 do 3,7 mgKOH/g (Rabrenović i sar., 2021) i VU 1,36 mgKOH/g (Kazempour-Samak i sar., 2021).

Peroksidni broj je parametar kvaliteta koji ukazuje na stepen oksidacije lipida i sadržaj primarnih produkata oksidacije u ulju (Dimić i sar., 2003). Ispitivani uzorci ulja imali su niske vrednosti peroksidnog broja, i to $0,13 \pm 0,01$ (DU), $0,22 \pm 0,004$ (ŠU) i $0,06 \pm 0,003$ mmolO₂/kg (VU), dok je maksimalno dozvoljena vrednost prema Pravilniku b) (43/2013) 7,5 mmolO₂/kg za ovu kategoriju ulja, što ukazuje na dobar kvalitet polazne sirovine i dobar kvalitet dobijenih ulja. U drugim istraživanjima prikazane vrednosti za Pbr bile su 0,60 mEqO₂/kg za DU (Gornas i sar., 2013), 0 do 4,3 mmolO₂/kg za ŠU (Rabrenović i sar., 2021) i 0,99 mEqO₂/kg za VU (Kazempour-Samak i sar., 2021).

5.4. Nutritivna vrednost ulja

5.4.1. Sadržaj i sastav masnih kiselina i nutritivni indeksi

Sadržaj i sastav masnih kiselina utiče na fizičko-hemijske karakteristike biljnih ulja kao i na nutritivnu vrednost i oksidativnu stabilnost. Neadekvatan unos masnih kiselina može biti faktor rizika za brojne zdravstvene probleme. Visok sadržaj zasićenih masnih kiselina (SFA) može dovesti do povećanja nivoa holesterola u organizmu, dok visok sadržaj polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) u ulju je poželjan sa aspekta kardiovaskularnih obolenja. Ravnoteža između ove dve grupe masnih kiselina je faktor koji može doprineti dobrom zdravlju. Esencijalne masne kiseline, linolna i linolenska, moraju se unositi hranom, jer ih ljudski organizam ne može sintetisati (Chowdhuri i sar., 2007). Sastav i sadržaj masnih kiselina u ispitivanim uzorcima ulja prikazani su u Tabeli 6.

Tabela 6. Sastav i sadržaj (%) masnih kiselina u ispitivanim uzorcima ulja (srednja vrednost \pm SD)

Masne kiseline (%)		Ulje semena dunje	Ulje semena šljive	Ulje semena višnje
Oznaka	Naziv			
C14:0	miristinska	0,04 \pm 0,01 ^a	0,03 \pm 0,01 ^a	0,05 \pm 0,03 ^a
C16:0	Palmitinska	5,77 \pm 1,32 ^a	4,81 \pm 0,41 ^a	5,64 \pm 0,41 ^a
C16:1	Palmitoleinska	0,03 \pm 0,02 ^c	0,37 \pm 0,06 ^a	0,14 \pm 0,04 ^b
C17:0	Heptadekanska	-	0,13 \pm 0,05	-
C17:1	Heptadekenska	0,04 \pm 0,02 ^a	0,05 \pm 0,02 ^a	0,07 \pm 0,03 ^a
C18:0	Stearinska	1,20 \pm 0,60 ^a	0,74 \pm 0,06 ^a	0,97 \pm 0,14 ^a
C18:1	oleinska	37,08 \pm 0,63 ^b	72,92 \pm 3,40 ^a	40,90 \pm 1,41 ^b
C18:2	linolna	54,86 \pm 0,52 ^a	20,76 \pm 2,14 ^c	51,18 \pm 1,10 ^b
γ -C18:3	γ -linoleinska	0,03 \pm 0,002 ^a	-	0,03 \pm 0,01 ^a
C18:3	α -linoleinska	0,17 \pm 0,03 ^a	0,03 \pm 0,02 ^b	0,10 \pm 0,03 ^b
C20:0	Arahinska	0,35 \pm 0,04 ^b	0,06 \pm 0,02 ^c	0,49 \pm 0,07 ^a
C20:1	11-eikosenska	0,14 \pm 0,03 ^a	0,03 \pm 0,01 ^b	0,16 \pm 0,04 ^a
C22:0	Behenska	0,05 \pm 0,03 ^a	-	0,03 \pm 0,02 ^a
C24:0	Lignocerinska	0,06 \pm 0,03 ^a	-	0,04 \pm 0,02 ^a
C24:1	Nervonska	-	-	0,06 \pm 0,01
SFA	zasićene masne kiseline	7,47	5,77	7,22
MUFA	mononezasićene masne kiseline	37,26	73,37	41,33
PUFA	polinezasićene masne kiseline	55,06	20,79	51,31
PUFA/SFA		7,37	3,60	7,11
MUFA/PUFA		0,68	3,53	0,80
AI – indeks aterogenosti		0,01	0,01	0,01
TI – indeks trombogenosti		0,03	0,02	0,02

*Različita slova u koloni ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$).

Masne kiseline koje su se izdvojile svojim sadržajem u ispitivanim uzorcima ulja bile su oleinska i linolna kiselina. Linolna kiselina bila je najzastupljenija masna kiselina kod uzoraka DU i VU sa sadržajem od $54,86 \pm 0,52\%$ i $51,18 \pm 1,10\%$, redom, dok je sadržaj oleinske kiseline kod istih uzoraka bio $37,08 \pm 0,63\%$ i $40,90 \pm 1,41\%$, redom. Oleinska kiselina bila je dominantna kod uzorka ŠU sa sadržajem od $72,92 \pm 3,40\%$, dok je linolna kiselina bila zastupljena sa $20,76 \pm 2,14\%$.

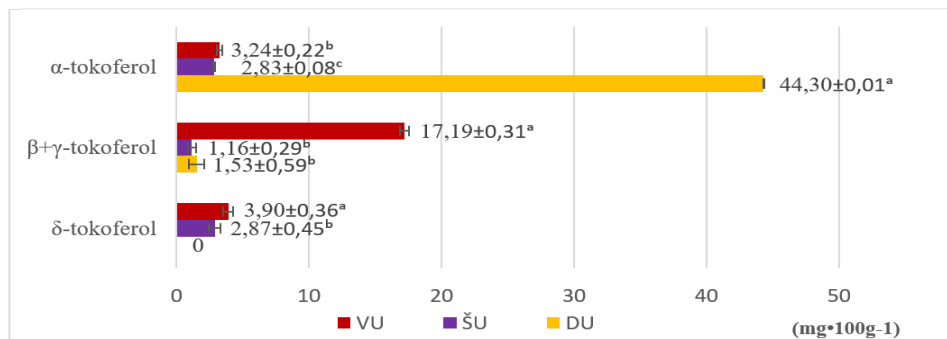
Od zasićenih masnih kiselina, palmitinska kiselina bila je prisutna u sva tri uzorka ulja u značajnom procentu, $5,77 \pm 1,32\%$ (DU), $5,64 \pm 0,41\%$ (VU) i $4,81 \pm 0,41\%$ (ŠU). Druga po sadržaju zasićena masna kiselina bila je stearinska, $1,20 \pm 0,60\%$ u DU, $0,97 \pm 0,14\%$ u VU i $0,74 \pm 0,06\%$ u ŠU. Rezultati određivanja sastava i sadržaja masnih kiselina u ispitivanim uzorcima mogli su se uporediti sa rezultatima objavljenim u drugim istraživanjima. Górnaš i sar. (2013) su utvrdili sadržaj linolne masne kiseline od $52,36\%$ u ulju semena dunje. Što se tiče ulja semena šljive, Atik i sar. (2022) i Kiralan i sar. (2018) utvrdili su sadržaj oleinske kiseline od $72,72\%$ i $75,43\%$, što je bilo veoma blisko sadržaju dobijenom u ovom istraživanju ($72,92 \pm 3,40\%$). Rezultati u radu Yılmaz i sar. (2020) za ulje semena višnje bili su: linolna $40,19\%$, oleinska $35,28\%$ i palmitinska kiselina $19,51\%$. Ukupan sadržaj SFA bio je $5,77\%$ (ŠU), $7,22\%$ (VU) i $7,47\%$ (DU), što je bilo u saglasnosti sa rezultatima Atik i sar. (2022), koji su dobili sadržaj SFA od $8,40\%$ (ŠU) i $7,46\%$ (VU). Urbanavičiūtė i sar. (2019) objavili su vrednosti SFA za hladno presovano ulje semena dunje dobijenog posle proizvodnje soka $11,62\%$, proizvodnje voćne paste $11,53\%$ i proizvodnje sirupa $9,70\%$. Ispitivani uzorci ulja bili su bogati sadržajem MUFA i PUFA. U ovom radu, sadržaj MUFA bio je $73,37\%$ (ŠU), $41,33\%$ (VU) i $37,26\%$ (DU), dok je sadržaj PUFA bio $20,79\%$ (ŠU), $51,31\%$ (VU) i $55,06\%$ (DU). Dobijeni rezultati bili su u skladu sa podacima Atik i sar. (2022), koji su prijavili 74% (ŠU) i 39% (VU) za MUFA, 18% (ŠU) i 54% (VU) za sadržaj PUFA. Urbanavičiūtė i sar. (2019) su objavili vrednosti MUFA $28,70\%$ za HP ulje semena dunje posle proizvodnje soka, $37,23\%$ za HP ulje semena dunje posle proizvodnje voćne paste i $42,14\%$ za HP ulje semena dunje posle proizvodnje voćnog sirupa. Isti autori objavili su rezultate PUFA za pomenute uzorke $59,55\%$, $51,23\%$ i $48,07\%$, redom.

Indeks aterogenosti (AI) i indeks trombogenosti (TI) su parametri koji se odnose na nutritivni kvalitet ulja. AI karakteriše aterogenost masti u ishrani i predstavlja odnos između masnih kiselina koje podstiču hiperholesterolemiju i masnih kiselina koje imaju zaštitni efekat. TI karakteriše trombogeni potencijal masnih kiselina, ukazujući na tendenciju stvaranja ugrušaka u krvnim sudovima i označava odnos protrombogenih masnih kiselina ($C_{12:0}$, $C_{14:0}$ i $C_{16:0}$) i antitrombogenih masnih kiselina (MUFA, i grupe n-3 i n-6) (Chen i Liu, 2020). Rezultati dobijeni za AI bili su niski i isti za sve ispitivane uzorke ulja ($0,01$). U radu Dimić i sar. (2023) mogli su se pronaći AI vrednosti za ulje semena višnje dobijeno različitim metodama ekstrakcije u opsegu $0,28$ do $0,30$. Rezultati za ŠU bili su niži kod Rabrenović i sar. (2021), koji su prijavili vrednost AI od $0,07$ kod ulja semena šljive pre fermentacije, $0,08$ kod ulja semena šljive posle fermentacije i $0,08$ kod ulja semena šljive posle destilacije. Za DU u literaturi nema podataka o ovom parametru kvaliteta, pa se rezultati ne mogu uporediti. Uzorci su u ovom istraživanju imali niske vrednosti TI, $0,03$ (DU), $0,02$ (ŠU) i $0,02$ (VU), dok su u istraživanju Rabrenović i sar. (2021) bile prikazane više vrednosti TI i iznosile su $0,15$ kod ulja semena šljive pre fermentacije, $0,16$ kod ulja semena šljive posle fermentacije i $0,16$ kod ulja semena šljive posle destilacije. Dimić i sar. (2023) su objavili TI vrednosti za ulje semena višnje dobijeno različitim metodama ekstrakcije u intervalu $0,19$ do $0,20$. Niske vrednosti ovih parametara ukazuju na dobar nutritivni kvalitet ulja i njihov potencijal za bezbednu upotrebu u ljudskoj ishrani.

Razlike u rezultatima mogle su se objasniti načinom i uslovima proizvodnje voćaka, načinom prerade voća posle koje je seme dobijeno kao nusproizvod, vrstom semena, uslovima skladištenja, uslovima hladnog presovanja i metodom određivanja sadržaja masnih kiselina.

5.4.2. Sastav i sadržaj tokoferola

Tokoferoli predstavljaju grupu antioksidanata koji su prirodno prisutni u biljnim uljima. Ova jedinjenja su u najvećoj meri odgovorna za stabilnost i nutritivni kvalitet ulja. Tokoferoli se mogu naći u četiri izomerna oblika: α -, β -, γ - i δ -tokoferoli. α -tokoferol ima najizraženiju aktivnost vitamina E *in vivo*, dok γ - i δ -tokoferol imaju bolju antioksidativnu aktivnost od ostalih *in vitro* (Ergönül and Köseoğlu, 2014). Sadržaj i sastav izomera tokoferola u ispitivanim uzorcima prikazani su na Slici 16.



Slika 16. Sastav i sadržaj tokoferola u uzorcima ulja.

Rezultati su predstavljani kao prosek \pm SD (n=3). Različita slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: DU-hladno presovano ulje semena dunje; ŠU-hladno presovano ulje semena šljive; VU- hladno presovano ulje semena višnje.

Zastupljenost pojedinačnih izomera tokoferola u ispitivanim uljima je varirala. Dominantan tokoferol u DU bio je α -tokoferol sa sadržajem od 44,30±0,01 mg/100g, a zatim sledi β + γ -tokoferol sa sadržajem od 17,19±0,31 mg/100g, što je bilo u skladu sa rezultatima koje su objavili Górnas i sar. (2013). δ -tokoferol nije detektovan u DU.

U uzorku ŠU određen sadržaj β + γ -tokoferol bio je 1,16±0,29 mg/100g, dok je sadržaj α -tokoferola bio 2,83±0,08 mg/100g. Rabrenović i sar. (2021) utvrdili su da se sadržaj β + γ -tokoferola kretao od 48,5 do 57,7 mg/100g, a sadržaj α -tokoferola od 7,0 do 18,6 mg/100g u hladno presovanom ulju semena šljive, u zavisnosti od sorte, uslova gajenja, skladištenjem, i primarnog načina prerade šljive. Koncentracija γ -tokoferola može biti znatno veća, kao što su izvestili Matthaus i Ozcan (2009) za ulje semena šljive ekstrahovano rastvaračem, koji su utvrdili sadržaj od 133,1 do 302,1 mg/100g. Nizak sadržaj δ -tokoferola od 2,87±0,45 mg/100g mogao se uporediti sa podacima objavljenim u radu Hassaneina (1999) i Gornas i sar. (2016) sa 2,5 mg/100g i 2,0-11,6 mg/100g, redom.

Po sadržaju α -tokoferola, VU bilo je uporedivo sa uljem semena grožđa, u kome se ovaj izomera tokoferola može kretati od 36 do 309 μ g/g ulja u zavisnosti od sorte grožđa i uslova gajenja (Lampi i Heinonen, 2009), kao i sa suncokretovim uljem koje sadrži 32,7-59,0 mg/100g ulja (Schvartz i sar., 2008). Što se tiče sadržaja γ -tokoferola, isticalo se ulje semena višnje, koje je bilo uporedivo sa uljem jezgra oraha 19,13 mg/100g (Bele i sar., 2013).

5.4.3. Sastav i sadržaj fitosterola

Fitosteroli su komponente biljnih ulja koje doprinose snižavanju nivoa LDL holesterola u krvnom serumu, imaju antikancerogeni efekat i pospešuju imunitet kod ljudi. Prema literaturnim podacima, β -sitosterol može se naći u većini biljnih ulja (Yang i sar., 2019), što je bilo potvrđeno i u ispitivanim uzorcima ulja, u kojima je istovremeno i bio dominantan sa 68,34±2,51% (ŠU), 70,12±1,37% (DU) i 72,98±1,62% (VU) od ukupnog sadržaja fitosterola. Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 7.

Tabela 7. Sadržaj fitosterola i skvalena (% od ukupnog sadržaja fitosterola) (srednja vrednost ± SD)

fitosterol (%)	DU	ŠU	VU
β-sitosterol	70,12±1,37 ^a	68,34±2,51 ^a	72,98±1,62 ^a
kampesterol	1,20±0,38 ^c	3,10±0,53 ^b	8,10±0,83 ^a
skvalen	0,64±0,08 ^c	2,58±0,62 ^b	5,50±0,70 ^a

*Različita slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: **DU**-hladno presovano ulje semena dunje; **ŠU**-hladno presovano ulje semena šljive; **VU**- hladno presovano ulje semena višnje.

Dobijeni rezultati mogli su se uporediti sa rezultatima u literaturi. Utvrđen sadržaj β-sitosterola u ovom istraživanju bio je 68,34±2,51% (ŠU), 70,12±1,37% (DU) i 72,98±1,62% (VU). U radu Górnas i sar. (2016) mogao se naći sadržaj β-sitosterola u ulju semena različitih sorti višnje u intervalu od 241,0 do 852,8 mg/100g. Górnas i sar. (2018) su objavili da je β-sitosterol u ulju semena dunje dominantan fitosterol, a njegova koncentracija je bila preko 80% u odnosu na ukupan sadržaj fitosterola. U radu Anwar i sar. (2014) moglo se pronaći da je sadržaj β-sitosterola u opsegu 84,94% i 82,92% u uzorcima ulja semena različitih sorti šljiva. U ispitivanim uzorcima bio je detektovan i kampesterol sa sadržajem od 1,20±0,38%, 3,10±0,53% i 8,10±0,83% za DU, ŠU i VU, redom. Prema Cusack i sar. (2013), veći odnos β-sitosterola i kampesterola može uticati na snižavanje nivoa LDL holesterola, na osnovu čega se moglo zaključiti da je DU od potencijalnog interesa za ishranu kod ljudi.

Skvalen je triterpenski prekursor holesterola i vitamina D u njihovoj biosintezi u ljudskom organizmu. Najbogatiji izvor skvalena među biljnim uljima su maslinovo i tikvino ulje (Rabrenović i sar., 2013). U ovom radu vrednosti u ispitivanim uzorcima bile su 0,64±0,08%, 2,58±0,62% i 5,50±0,70% u odnosu na ukupan sadržaj fitosterola za DU, ŠU i VU, redom. U radu Górnas i sar. (2016) prikazan je sadržaj skvalena od 65,8 do 102,8 mg/100g u ispitivanim uzorcima ulja semena višnje, dok je sadržaj skvalena u ulju semena šljive bio 25,7 do 80,4 mg/100g u zavisnosti od sorte šljive. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da je ulje semena višnje značajno bogatiji izvor skvalena u odnosu na ulje semena šljive i dunje.

Varijacije u rezultatima mogle su se objasniti različitim biogenim i abiogenim faktorima, uslovima i načinom izdvajanja ulja, uslovima izvođenja metode određivanja i drugim faktorima.

5.5. Antioksidativna aktivnost ulja

Stvaranje slobodnih radikala u biljnim uljima je neizbežno. Slobodni radikali su štetni po ljudski organizam sa zdravstvenog aspekta, mogu da uzrokuju kardiovaskularne probleme, tumore, artritis i dr. (Lobo i sar., 2010). Fenolna jedinjenja koja su prirodno zastupljena u semenu imaju važnu ulogu u protekciji organizma od slobodnih radikala. Hladnim presovanjem značajan deo ovih jedinjenja prelazi u izdvojeno ulje. Kvalitet, stabilnost i nutritivna vrednost ulja zavise od sadržaja fenolnih jedinjenja (Siger i sar., 2008). Rezultati antioksidativne aktivnosti ispitivanih uzoraka ulja kao i ukupan sadržaj polifenola (TPC) prikazani su u Tabeli 8.

Tabela 8. Sadržaj ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost ispitivanih uzoraka (srednja vrednost ± SD)

Uzorci	TPC (mgGAE/100mL)	FRP (mgAA/100mL)	ABTS ⁺⁺ (mgTrolox/100mL)	DPPH [•] (mgTrolox/100mL)
DU	9,03±0,14 ^a	2,90±0,14 ^a	29,77±2,90 ^a	23,56±0,98 ^b
ŠU	3,34±0,04 ^b	2,07±0,05 ^b	39,46±4,13 ^a	24,05±3,33 ^b
VU	2,28±0,23 ^c	0,73±0,10 ^c	34,71±5,46 ^a	55,65±5,38 ^a

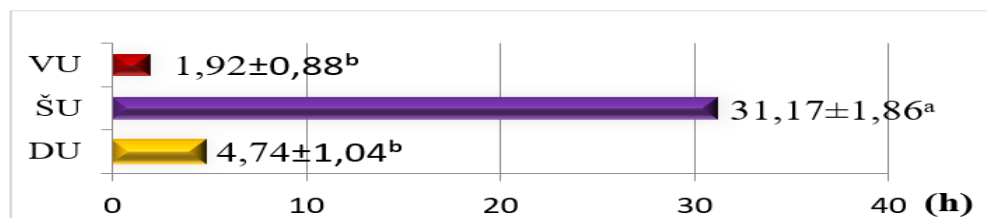
*Različita slova u koloni ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: **DU**-hladno presovano ulje semena dunje; **ŠU**-hladno presovano ulje semena šljive; **VU**- hladno presovano ulje semena višnje; **GAE**-galna kiselina; **AA**-askorbinska kiselina; **TPC**-sadržaj ukupnih polifenola; **FRP**-redukujuća svojstva; **ABTS⁺⁺**- sposobnost sakupljanja ABTS⁺⁺-radikala; **DPPH[•]**-sposobnost sakupljanja DPPH[•]-radikala.

Sadržaj ukupnih polifenola u ispitivanim uljima bio je $2,28 \pm 0,23$, $3,34 \pm 0,04$ i $9,03 \pm 0,14$ mgGAE/100mL za VU, ŠU i DU, redom. U literaturi je bilo nedovoljno podataka o sadržaju ukupnih polifenola proučavanih ulja. Na ovu temu mogli su se naći podaci od Wu i sar. (2011) za sadržaj ukupnih fenola u ulju semena breskve dobijenom ekstrakcijom različitim rastvaračima 3,829 - 4,1593 mgGAE/g. Yılmaz i Gokmen (2013) objavili su rezultate TPC za ulja semena višnje ekstrahovano različitim organskim rastvaračima u opsegu od 6,60 do 27,87 mg GAE/L u zavisnosti od vrste rastvarača.

Uzorak DU pokazao je najnižu DPPH• aktivnost od $23,56 \pm 0,98$ mgTrolox/100mL, uprkos najvećem sadržaju TPC, što je moglo biti posledica antagonističkih reakcija između upunih polifenola i drugih hemijskih jedinjenja u ulju koja nisu razmatrana u ovom istraživanju (karotenoidi, terpenoidi itd). Uzorak VU pokazao je najbolju DPPH• aktivnost $55,65 \pm 5,38$ mgTrolox/100mL što se moglo objasniti najvišim sadržajem γ -tokoferola, koji ispoljava snažna antioksidativna svojstva *in vitro*. Vrednosti TPC i DPPH• aktivnosti koje su objavili Górnas i sar. (2014) za hladno presovano ulje semena dunje bile su značajno veće od rezultata dobijenih u ovom istraživanju. Uzorak DU imao je najvišu vrednost za FRP test ($2,90 \pm 0,14$ mgAA/100mL) i najnižu vrednost za ABTS⁺ test ($29,77 \pm 2,90$ mgTrolox/100mL) od sve tri vrste ulja. Uzorak ŠU pokazao je najveću ABTS⁺ aktivnost $39,46 \pm 4,13$ mgTrolox/100mL. Antioksidativna aktivnost ŠU i VU testirana sa četiri antioksidativna testa u ovom istraživanju, razlikovala se od literaturnih vrednosti. Uluata i Ozdemir (2017) ispitivali su antioksidativnu aktivnost ulja semena šljive i višnje i došli do sledećih rezultata TPC $29,7$ μ gGAE/g ulja, DPPH• $63,3$ mgTrolox/100g ulja, ABTS⁺ $43,6$ mgTrolox/100g ulja za ulje semena šljive, odnosno TPC $19,9$ μ gGAE/g ulja, DPPH• $60,5$ mgTrolox/100g ulja i ABTS⁺ $40,9$ mgTrolox/100g ulja za ulje semena višnje. Postojao je nedostatak literaturnih podataka o antioksidativnoj aktivnosti testiranoj FRP i ABTS⁺ testom za ispitivane vrste ulja.

5.6. Oksidativna stabilnost

Oksidativna stabilnost biljnih ulja parametar je kvaliteta koji pokazuje koliko dugo ulje može biti zaštićeno od oksidacije. Zavisí uglavnom od sastava masnih kiselina i sadržaja antioksidanata, ali na ovo svojstvo ulja mogu uticati i brojni spoljni faktori (temperatura, svetlost, ambalaža i dr.). Na Slici 17 prikazan je indukcioní period (IP) izražen u satima određen Rancimat testom za ispitivane uzorke ulja. Što je duži IP (h), to je bolja oksidativna stabilnost ulja i obrnuto.



Slika 17. Grafički prikaz indukcionog perioda ulja semena dunje, šljive i višnje određen Rancimat testom.

Rezultati su prikazani kao prosek \pm SD (n=3). Različita slova ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$).

DU-hladno presovano ulje semena dunje; ŠU-hladno presovano ulje semena šljive; VU- hladno presovano ulje semena višnje.

Kao što se moglo pretpostaviti uzimajući u obzir rezultate sastava masnih kiselina i sadržaja tokoferola, od ispitivanih uzoraka ulja izdvojilo se ŠU sa najvećim IP od $31,17 \pm 1,86$ sati. Ova vrednost se poklapala sa podacima Rabrenović i sar. (2021) za ispitivano hladno presovano ulje semena šljive, IP 38,7 h. DU je pokazalo stabilnost od $4,74 \pm 1,04$ h, što je bilo skoro duplo niže od rezultata IP koje su

objavili Górnaš i sar. (2013) za ulje semena dunje 7,35 h. Vrednost IP od 1,92 h za VU bila je niža od vrednosti dobijene za IP hladno presovanog ulja semena višnje koji je bio 3,00 h (Kazempour-Samak i sar., 2021).

5.7. Hemijska karakterizacija brašna uljanih pogača i mešavina brašna

Dobijene uljane pogače (posle hladnog presovanja ulja) su samlevene na granulaciju brašna. Granulacija čestica čistih uljanih pogača: semena dunje, šljive i višnje prikazana je u Tabeli 9.

Tabela 9. Udeo čestica ispitivanih uzoraka pogača po veličini

Broj sejnog tkiva	Veličina otvora (mm)	Pd (%)	Pš (%)	Pv (%)
GG No32	0,600	8,12	19,12	5,04
GG No42	0,450	71,15	30,97	80,02
GG No52	0,335	16,57	34,65	4,82
B No9	0,110	4,16	15,25	8,50

Skraćenice: **Pd**-pogača semena dunje; **Pš**-pogača semena šljive; **Pv**- pogača semena višnje; **GG**-griz gaza; No-broj; **B**-brašno.

Pogača je nusproizvod izdvajanja ulja iz uljarica postupkom hladnog presovanja, pre svega u proizvodnji jestivih nerafiniranih ili hladno presovanih ulja. Pogače mogu biti jestive ili nejestive. Jestive pogače mogu imati visoku hranljivu vrednost, koja zavisi od vrste, uslova gajenja sirovine i načina prerade uljarica (Popović i sar., 2020). Hemijski sastav ispitivanih uzoraka pogača i brašna prikazan je u Tabeli 10.

Tabela 10. Osnovni hemijski sastav ispitivanih uzoraka pogača i brašna

Uzorci	Vlaga (%)	Pepeo (%)	Proteini (%)	Lipidi (%)	Ugljeni hidrati (%)	Skrob
P	11,03±0,001 ^d	0,54±0,001 ^g	12,97±0,39 ^k	2,00±0,36 ^g	73,46±1,40 ^a	79,25±0,73 ^a
Pd	6,71±0,12 ^k	4,49±0,44 ^a	38,83±0,64 ^b	14,60±0,56 ^b	35,37±0,92 ^g	-
Pš	7,82±0,07 ^j	4,92±0,03 ^a	43,03±0,80 ^a	14,17±0,78 ^b	30,06±0,98 ^h	-
Pv	6,77±0,01 ^k	3,94±0,09 ^b	36,49±0,62 ^c	29,18±1,43 ^a	23,62±1,18 ⁱ	-
Db10	12,78±0,17 ^a	1,20±0,27 ^{def}	14,37±0,78 ^{ijk}	2,47±0,63 ^{fg}	69,18±0,95 ^{bc}	69,19±0,16 ^b
Db20	12,08±0,03 ^b	1,41±0,07 ^{cde}	17,57±0,87 ^{gh}	3,90±0,62 ^{ef}	65,04±0,92 ^{de}	63,08±0,21 ^c
Db30	11,50±0,12 ^c	1,77±0,07 ^c	20,46±0,20 ^{de}	4,96±0,59 ^{de}	61,31±1,60 ^f	55,64±0,34 ^e
Šb10	10,48±0,04 ^e	1,00±0,00 ^{ef}	15,68±0,56 ^{hij}	2,89±0,53 ^{fg}	69,95±1,21 ^{bc}	66,70±0,56 ^b
Šb20	10,13±0,05 ^f	1,45±0,00 ^{cd}	18,37±0,73 ^{efg}	4,49±0,54 ^{def}	65,56±0,76 ^{de}	60,43±1,18 ^{cd}
Šb30	9,63±0,07 ^g	1,85±0,01 ^c	21,31±0,75 ^d	5,62±0,64 ^{de}	63,59±0,71 ^{ef}	55,13±0,68 ^e
Vb10	9,51±0,04 ^g	0,85±0,07 ^{fg}	14,29±0,91 ^{jk}	4,47±0,59 ^{def}	70,88±1,11 ^{ab}	66,48±0,25 ^b
Vb20	9,27±0,01 ^h	1,14±0,03 ^{def}	16,52±0,92 ^{ghi}	6,03±0,52 ^d	67,04±0,96 ^{cd}	59,64±0,59 ^d
Vb30	9,04±0,04 ⁱ	1,57±0,09 ^{cd}	19,20±1,07 ^{def}	9,16±0,64 ^c	61,03±1,30 ^f	50,25±0,40 ^f

Rezultati su izraženi na suhu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tukey's testa. Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Pd**-pogača semena dunje; **Pš**-pogača semena šljive; **Pv**-pogača semena višnje; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

Sadržaj vlage ograničavajući je faktor kvaliteta uljanih pogača i određuje uslove njihovog skladištenja. Granična vrednost sadržaja vlage u pogačama koja se preporučuje je 10 do 12% (Savić i Savić-Gajić, 2022). Od ispitivanih uzoraka pogača, najveći sadržaj vlage imao je uzorak Pš od 7,82±0,07%, dok su preostala dva uzorka pogača imala skoro identičan sadržaj vlage, 6,77±0,01% Pv i 6,71±0,12% Pd. U literaturi su se za sadržaj vlage mogli pronaći podaci za uljanu pogaču semena šljive odmašćenu različitim rastvaračima u intervalu 6,0 do 7,7% što je u skladu sa sadržajem vlage

dobijenim u ovom istraživanju (Savić i Savić-Gajić, 2022), dok je u radu Čakarević i sar. (2019) sadržaj vlage u pogači šljive dobijenoj posle hladnog presovanja bio oko 10%. U literaturi je bilo malo dostupnih podataka o sadržaju vlage u pogači semena dunje, a za pogaču semena višnje dobijenu posle hladnog presovanja Krulj i sar. (2021) utvrdili su sadržaj vlage od 35,1 g/kg. Sva tri ispitivana uzorka pogača imala su optimalan sadržaj vlage, ispod kritične vrednosti, što je ukazivalo na to da su pogače mogle biti upotrebljene za dalja ispitivanja.

Sadržaj pepela, proteina i masti u ispitivanim pogačama bio je najviši kod Pš, a najniži kod Pv. Sadržaj pepela bio je $3,94 \pm 0,09\%$, $4,49 \pm 0,44\%$ i $4,92 \pm 0,03\%$ za Pv, Pd i Pš, redom. U literaturi mogao se naći podatak o sadržaju pepela od 9,60 g/kg za pogaču višnje (Krulj i sar., 2021), i 2,2 g/100g za brašno semena višnje (Kasapoğlu i sar., 2021), dok se za isti parametar za druge dve vrste uljanih pogača trenutno nisu mogli pronaći zvanični podaci.

Proteini su jedinjenja od izuzetnog značaja u širokom spektru proizvoda iz poljoprivredno-prehrambenog sektora zbog komplementarnih bio- i tehno-funkcionalnih karakteristika. Biofunktionalnost povezana je sa nutritivnim i fiziološkim karakteristikama proteina, dok je tehno-funktionalnost povezana sa fizičko-hemijskim karakteristikama, koje ispoljavaju inkorporirani proteini (Krulj i sar., 2021). Sadržaj proteina bio je prilično visok i kretao se od $36,49 \pm 0,62\%$, $38,83 \pm 0,64\%$ i $43,03 \pm 0,80\%$, za Pv, Pd i Pš, redom. U radu Čakarević i sar. (2021) mogao se naći podatak od 50,69% sirovih proteina za pogaču šljive i 64,4 g/kg za pogaču višnje. Sadržaj proteina izmeren u radu Kasapoğlu i sar. (2021) bio je 35,5% u brašnu semena višnje. U radu Savić i Savić-Gajić (2022) za pogaču šljive obezmašćenu različitim rastvaračima mogao se pronaći sadržaj proteina od 36,95% do 61,90% koji su bili u skladu sa rezultatima dobijenim u ovom radu.

Uljane pogače pokazale su visok sadržaj proteina, kao što se i moglo pretpostaviti, jer je prednost hladnog presovanja zadržavanje proteina uz minimalni gubitak. Na ovaj način, uljane pogače mogle su se smatrati izuzetno nutritivno vrednim sirovinama u daljim postupcima prerade.

S obzirom na to, da se semena koriste kao sirovine za dobijanje ulja, bilo bi poželjno da sadržaj ulja u brašnu pogača posle hladnog presovanja bude što niži. Međutim, kako je potpuno obezmašćivanje moguće samo uz primenu rastvarača, koji nije moguće koristiti ako se proizvod dalje upotrebljava u ljudskoj ishrani, u dobijenim pogačama zaostaje izvesna količina ulja (Krulj i sar., 2021). U zavisnosti od količine zaostalog ulja u pogačama, one mogu značajno uticati na energetska vrednost proizvoda u čijem sastavu učestvuju (Rakita i sar., 2023). Najniža količina ulja bila je određena kod Pš ($14,17 \pm 0,78\%$), nešto viša količina ulja dobijena je kod Pd ($14,60 \pm 0,56\%$), a značajan udeo ulja koji je bio skoro dvostruko veći ($29,18 \pm 1,43\%$) izmeren je u uzorku Pv. Dobijeni rezultati nisu bili u saglasnosti sa literaturnim podacima, u kojima se mogao naći podatak o sadržaju ulja za pogaču šljive od 10,09% (Čakarević i sar., 2019), za pogaču višnje 59,8 g/kg u radu Krulj i sar. (2021) i 34,75% u brašnu semena višnje (Çelik i sar., 2019).

Sadržaj ugljenih hidrata u Pd bio je $35,37 \pm 0,92\%$, u Pš $30,06 \pm 0,98\%$ i Pv $23,62 \pm 1,18\%$. Sadržaj ugljenih hidrata u uzorcima pogača se statistički značajno razlikovao i bio je najmanje duplo niži u odnosu na belo pšenično brašno (P). U literaturi su se mogli pronaći rezultati za sadržaj ugljenih hidrata u brašnu semena višnje od 10,16%, tj. u obezmašćenom brašnu semena višnje od 16,28% (Çelik i sar., 2019) i 12,77% u pogači šljive (Čakarević i sar., 2019). Literaturni podaci odstupali su od sadržaja ugljenih hidrata u ovom radu.

Literaturni podaci za hemijski sastav belog pšeničnog brašna mogli su se porediti sa rezultatima dobijenim u ovom istraživanju. Maksimalno dozvoljen sadržaj vlage u pšeničnom brašnu je 14%. Izmeren sadržaj vlage u uzorku P bio je $11,03 \pm 0,001\%$ što je bilo ispod kritične vrednosti i skoro za 2% niže od literaturnih podataka. Sadržaj pepela u uzorku P bio je $0,54 \pm 0,001\%$ što se poklapalo sa literaturom, sadržaj proteina bio je $12,97 \pm 0,39\%$ što je bilo nešto više od literaturnih podataka. Prema istraživanjima Keran i sar. (2009) sadržaj vlage za pšenično brašno kretao se u intervalu 13,48% do 13,88%, sadržaj pepela u opsegu 0,50% do 0,60%, sadržaj proteina od 10,63% do 11,72%. Sadržaj

lipida od 1,3 g/100g u brašnu T500 objavili su Leitgeb i sar. (2022). U uzorku P bilo je izmereno i $2,00 \pm 0,36\%$ ulja, $73,46 \pm 1,40\%$ ugljenih hidrata. Utvrđen sadržaj ugljenih hidrata bio je znatno viši od 48,2 do 58,4% koji su utvrdili Hoxha i sar. (2019). Sadržaj skroba u uzorku P bio je $79,25 \pm 0,73\%$ što je bilo u intervalu 63,23% do 91,46% koji su utvrdili Xie i sar. (2017). Skrob ima značajnu ulogu u teksturi, ukusu i nutritivnoj vrednosti gotovih proizvoda.

Sadržaj vlage iznad 14% negativno utiče na dužinu skladištenja brašna, zbog razvoja plesni, povećan je rizik i od razvoja mikroorganizama i prisustva insekata. Pored toga, masti utiču na strukturalna i mehanička svojstva testa i teksturu proizvoda. Ako je sadržaj masti visok, nije potrebno mnogo vode da bi se dobila željena konzistencija, uz ograničeno stvaranje glutena, bubrenje i želatinizaciju skroba. S druge strane, odmašćeno brašno može doprineti osmišljavanju zdrave ljudske ishrane (Leitgeb i sar., 2022).

U mešavinama (supstituisano pšenično brašno sa udelima brašna pogače semena dunje, šljive i višnje od 10%, 20% i 30%) sadržaj vlage, ugljenih hidrata i skroba smanjivao se sa povećanjem udela pogače semena. Mešavine sa 30% pogače imale su najniži sadržaj pomenutih jedinjenja, a 10% mešavine najviši. Vлага se kretala u intervalu $9,04 \pm 0,04\%$ (Vb30) do $12,78 \pm 0,17\%$ (Db10), ugljeni hidrati $61,03 \pm 1,30\%$ (Vb30) do $70,88 \pm 1,11\%$ (Vb10) i skrob $50,25 \pm 0,40\%$ (Vb30) do $69,19 \pm 0,16\%$ (Db10). Sa stanovišta vrste pogača kojima je zamenjen određen udeo pšeničnog brašna, mešavine sa Pd imale su najviši sadržaj pomenutih jedinjenja (izuzev ugljenih hidrata), posle koje su sledile mešavine sa Pš, i na kraju sa najnižim sadržajem bile su mešavine sa Pv (najviši sadržaj ugljenih hidrata). Opadanje sadržaja vlage, ugljenih hidrata i skroba, značajno utiče na nutritivnu vrednost te se i sa ovim parametrima pokazalo da su mešavine brašna pogodna sirovina za izradu proizvoda niže energetske vrednosti.

Sadržaj pepela, proteina i lipida povećavao se sa povećanjem udela brašna pogača i obrnuto. Izmeren opseg koncentracija pomenutih jedinjenja u uzorcima bio je: za pepeo od $0,85 \pm 0,07\%$ (Vb10) do $1,85 \pm 0,01\%$ (Šb30), za proteine $14,29 \pm 0,91\%$ (Vb10) do $21,31 \pm 0,75\%$ (Šb30) i za lipide $2,47 \pm 0,63\%$ (Db10) do $9,16 \pm 0,64\%$ (Vb30). Koncentracija tri pomenute grupe jedinjenja u supstituisanim mešavinama brašna značajno je veća nego kod pšeničnog brašna. Ovim se potvrdilo da se ova brašna opravdano mogu koristiti kao funkcionalne sirovine za obogaćivanje prehrambenih proizvoda.

Varijacije u rezultatima mogle su se objasniti različitom sortom voća, različitim uslovima gajenja uslovima skladištenja, načinom prerade voća posle koga su zaostala semena, postupcima dobijanja pogača, granulacijom brašna i pogača posle mlevenja, vrstama metoda ispitivanja koje su primenjene i dr.

Sastav i sadržaj dijetnih vlakana

Dijetna vlakna mogu biti definisana kao analogni ugljeni hidrati koji su rezistentni na varenje i apsorpciju u tankom crevu sa potpunom ili delimičnom fermentacijom u debelom crevu. U dijetna vlakna se ubrajaju polisaharidi, oligosaharidi i lignin. Lignin je nepolisaharidna supstanca ćelijskog zida biljaka (Gebruers i sar., 2008). Sadržaj neutralnih deterdžentskih vlakana (NDF), kiselih deterdžentskih vlakana (ADF), kiselog deterdžentnog lignina (ADL), hemiceluloze i celuloze u ispitivanim uzorcima pogača i brašna prikazan je u Tabeli 11.

Neutralna deterdžentska vlakna mogu se definisati kao nerastvorna frakcija ukupnih dijetnih vlakana. Ova vrsta vlakana obuhvata većinu materija ćelijskog zida, isključuje rastvorljive β -glukane i rastvorljivu hemicelulozu, ali obuhvata ADF frakciju i nerastvorljivu hemicelulozu. Vlakna kiselog deterdženta mogu se definisati kao specifična frakcija dijetnih vlakana koja uglavnom obuhvata celulozu i lignin (Mongeau i Brooks, 2016).

Sadržaj NDF u ispitivanim uzorcima pogača bio je $20,64 \pm 0,42\%$ (Pv), $21,97 \pm 0,27\%$ (Pš) i $28,95 \pm 0,30\%$ (Pd). Pogače šljive i višnje imale su približne vrednosti NDF, koje su bile skoro četiri puta niže u odnosu na P ($82,32 \pm 0,79\%$). Pd imala je najviši sadržaj NDF u odnosu na ostale pogače, a koji je bio skoro 3 puta niži od sadržaja NDF u pšeničnom brašnu. Pd imala je približnu koncentraciju ove vrste dijetnih vlakana u poređenju sa pogačom semena divljeg lana ($23,7\%$ do $43,4\%$) i pogačom semena uljane repice ($17,0$ do $33,7\%$) prema radu Rakita i sar. (2023). U radu Chivandi i sar. (2012) mogao se naći podatak o sadržaju NDF za seme određene vrste šljive od $213,31$ g/kg. U literaturi mogli su se pronaći podaci za seme višnje od $17,74\%$ (Güngör i sar., 2017).

Sadržaj kiselog deterdženta (ADF) mera je najmanje svarljivih delova biljke, i sa povećanjem udela ove frakcije vlakana, svarljivost hrane se smanjuje. Sadržaj ADF u ispitivanim pogačama bio je $10,39 \pm 0,50\%$ (Pš), $10,66 \pm 0,26\%$ (Pv) i $14,42 \pm 0,12\%$ (Pd). Pš i Pv imale su skoro identičan sadržaj ADF koji je za otprilike 2% bio veći u odnosu na sadržaj kod P ($8,28 \pm 0,14\%$). Najveći sadržaj ove vrste dijetnih vlakana imala je Pd što je za otprilike 4% više u odnosu na Pš i Pv, i skoro za 6% više u poređenju sa belim pšeničnim brašnom (P). Pogača dunje mogla se porediti sa pogačama semena divljeg lana i uljane repice $11,1\%$ do $21,6\%$ i $9,0\%$ do $21,0\%$, redom. Za seme šljive u literaturi mogao se naći sadržaj ADF od $51,17$ g/kg (Chivandi i sar., 2012). Seme višnje imalo je sadržaj ADF od $9,67\%$ (Güngör i sar., 2017).

Lignin nije polisaharid već složeni polimer koji sadrži oko 40 oksigenovanih fenilpropanskih jedinica uključujući koniferil, sinapil i *p*-kumaril alkohole koji su prošli složeni proces dehidrogenativne polimerizacije. Lignin ispoljava veću otpornost na varenje od bilo kog drugog prirodnog polimera (Kay, 1982).

Od nerastvorljive frakcije dijetnih vlakana, određeni su sadržaj ADL, hemiceluloze i celuloze. Sadržaj ADL, hemiceluloze i celuloze se zajedno nazivaju sirovim vlaknima. Sirova vlakna su polisaharidi za koje se smatra da su nerastvorljivi i nesvarljivi od strane ljudskih digestivnih enzima, ali imaju važna funkcionalna svojstva (Kurt i Atalar, 2018). Prema tvrdnjama Vinardell i Mitjans (2017), lignin može imati pozitivan efekat po ljudsko zdravlje (npr. kod dijabetesa, gojaznosti, ima antivirusno dejstvo, može imati ulogu imunomodulatora, antikoagulanta i sl.). Sadržaj ADL ispitivali su Serrapica i sar. (2019) u određenim vrstama uljanih pogača semena suncokreta ($107,0$ g/kg), nara ($108,8$ g/kg), artičoke ($64,3$ g/kg), konoplje ($63,1$ g/kg) i duvana ($109,5$ g/kg). Mogao se pronaći podatak da pogače semena konoplje i semena lana sadrže lignin u količinama $16,69\%$ i $6,02\%$ (Budžaki i sar., 2018). Sadržaj ADL u ispitivanim pogačama u ovom radu je bio od $3,63 \pm 0,10\%$ (Pš), preko $5,34 \pm 1,02\%$ (Pv) do $6,51 \pm 0,76\%$ (Pd). Pogače dunje i višnje imale su nešto viši sadržaj ADL od P ($4,12 \pm 0,11\%$), dok je Pš imala niži sadržaj istog jedinjenja. U literaturi trenutno nema podataka o sadržaju vlakana kiselog deterdženta u semenima i pogačama šljive i višnje.

Sadržaj hemiceluloze u ispitivanim pogačama bio je $9,97 \pm 0,16\%$ (Pv), $11,58 \pm 0,22\%$ (Pš) i $14,53 \pm 0,18\%$ (Pd), što je znatno niže od sadržaja hemiceluloze u belom pšeničnom brašnu ($74,04 \pm 0,65\%$). Sadržaj celuloze kretao se $5,32 \pm 0,76\%$ (Pv), $6,75 \pm 0,39\%$ (Pš) i $7,91 \pm 0,63\%$ (Pd). Ovaj opseg koncentracija celuloze u sva tri uzorka bio je viši u odnosu na P ($4,16 \pm 0,02\%$). U literaturi nije bilo dovoljno podataka o pojedinačnom sadržaju hemiceluloze i celuloze u uljanim pogačama semena ispitivanih voćnih vrsta. U radu Sousa i sar. (2021) mogli su se naći sledeći podaci za uljane pogače semena suncokreta ($111,43$ i $142,79$ g/kg), uljane repice ($136,27$ i $154,69$ g/kg) i soje ($155,47$ i $161,54$ g/kg) za hemicelulozu i celulozu, redom. Mogli su se pronaći i podaci za pogače semena uljane palme od $14,60\%$ za hemicelulozu i $63,83\%$ za celulozu (Ubaoji i sar., 2020). Ova jedinjenja određena su u radu Cruz-Lopes i sar. (2022) za seme trešnje, koje je u svom sastavu imalo $37,96\%$ hemiceluloze i $23,10\%$ α -celuloze. U endokarpu semena višnje utvrđeno je $25,83\%$ hemiceluloze i $27,85\%$ celuloze, u klapini oraha $27,85\%$ hemiceluloze i $36,38\%$ celuloze, a u klapini badema $28,82\%$ hemiceluloze i $38,47\%$ celuloze (Farhadi i sar., 2022).

Tabela 11. Sadržaj i sastav dijetnih vlakana u ispitivanim uzorcima pogača i mešavina brašna

Uzorci	Neutralna deterđžentska vlakna	Kisela deterđžentska vlakna	Kiseli deteržentni lignin	Hemiceluloza	Celuloza
P	82,32±0,79 ^a	8,28±0,14 ^e	4,12±0,11 ^b	74,04±0,65 ^a	4,16±0,02 ^c
Pd	28,95±0,30 ^e	14,42±0,12 ^a	6,51±0,76 ^a	14,53±0,18 ^e	7,91±0,63 ^a
Pš	21,97±0,27 ^f	10,39±0,50 ^{bc}	3,63±0,10 ^b	11,58±0,22 ^f	6,75±0,39 ^{ab}
Pv	20,64±0,42 ^f	10,66±0,26 ^b	5,34±1,02 ^{ab}	9,97±0,16 ^f	5,32±0,76 ^{bc}
Db10	77,05±0,29 ^b	9,23±0,32 ^{bcde}	4,37±0,23 ^{ab}	68,01±0,17 ^b	4,57±0,57 ^{bc}
Db20	71,71±0,39 ^c	9,65±0,22 ^{bcde}	4,78±0,21 ^{ab}	62,05±0,23 ^c	5,02±0,31 ^{bc}
Db30	66,17±0,93 ^d	10,32±0,31 ^{bcd}	4,99±0,12 ^{ab}	56,21±0,21 ^d	5,50±0,30 ^{abc}
Šb10	77,02±0,35 ^b	8,71±0,30 ^e	4,09±0,27 ^b	67,9±0,24 ^b	4,57±0,45 ^{bc}
Šb20	70,63±0,59 ^c	8,91±0,36 ^{cde}	4,11±0,11 ^b	61,71±0,36 ^c	4,75±0,61 ^{bc}
Šb30	63,84±0,31 ^d	9,34±0,07 ^{bcde}	4,17±0,11 ^b	55,56±0,42 ^d	5,12±0,31 ^{bc}
Vb10	76,56±0,42 ^b	8,4±0,23 ^e	4,29±0,22 ^{ab}	67,68±0,65 ^b	4,36±0,45 ^{bc}
Vb20	70,37±0,62 ^c	8,78±0,24 ^{de}	4,48±0,27 ^{ab}	61,57±0,46 ^c	4,52±0,20 ^{bc}
Vb30	63,93±0,82 ^d	9,15±0,23 ^{bcde}	4,67±0,23 ^{ab}	54,94±0,67 ^d	4,54±0,23 ^{bc}

Rezultati su izraženi na suhu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tukey's testa. Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Pd**-pogača semena dunje; **Pš**-pogača semena šljive; **Pv**- pogača semena višnje; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

Mešavine brašna supstituisane određenim udelom pogača sadržale su NDF od 63,84±0,31% (Šb30) do 77,05±0,29% (Db10). Sa povećanjem udela pogača u mešavinama brašna sadržaj NDF se smanjivao. Rezultati su pokazali da su mešavine brašna sa uljanom pogačom dunje imale najveći sadržaj NDF, posle koje su sledile mešavine sa uljanom pogačom višnje i najniži sadržaj imale su mešavine sa pogačom šljive. Mešavine sa pogačom šljive i višnje imale su približan sadržaj ovih vlakana, dok su mešavine sa pogačom dunje prednjačile, što se moglo povezati sa sadržajem NDF čistih pogača. Obogaćene mešavine imale su niži sadržaj NDF u odnosu na pšenično brašno, što znači da su pogače imale uticaj na hemijski sastav.

Opseg određenih ADF u mešavinama brašna bio je od 8,4±0,23% (Vb10) do 10,32±0,31% (Db30). Sadržaj ADF povećavao se sa povećanjem udela pogača u mešavinama. Najniži sadržaj bio je kod mešavina sa pogačom višnje čiji su rezultati veoma bliski rezultatima mešavina sa pogačom semena šljive, dok su najveći sadržaj imale mešavine sa pogačom semena dunje. Mešavine brašna imale su veći sadržaj ADF u odnosu na P (8,28±0,14%). Pogača dunje prednjačila je sa sadržajem pomenutih vlakana, dok su mešavine sa Pš i Pv imale približne vrednosti koje su bile niže od mešavina sa Pd, ali opet nešto veće u odnosu na P.

Sadržaj lignina u mešavinama bio je od 4,09±0,27% (Šb10) do 4,99±0,12% (Db30). Sadržaj lignina povećavao se sa povećanjem udela pogače u mešavina. Mešavine sa Pd imale su najviši sadržaj lignina, zatim mešavine sa Pv i najniži sadržaj imale su mešavine sa Pš. Sve tri vrste pogače imale su međusobno približan sadržaj ADL, koji je bio neznatno viši od P (4,12±0,11%).

Sadržaj hemiceluloze u mešavinama opadao je sa povećanjem udela pogača, dok je sadržaj celuloze rastao sa povećanjem udela dodatih pogača u mešavinama. Najniži sadržaj hemiceluloze bio je izmeren kod Vb30 (54,94±0,67%), a najviši kod Db10 (68,01±0,17%), dok je za celulozu bilo obrnuto. Najveći sadržaj celuloze bio je kod Db30 (5,50±0,30%), a najmanji kod Vb20 (4,52±0,20%). Primećen je bio veći sadržaj celuloze u mešavinama u odnosu na P (4,16±0,02%). U mešavinama brašna sadržaj hemiceluloze bio je niži od P (74,04±0,65%).

Određivanje sadržaja dijetnih vlakana značajno je zbog sticanja boljeg uvida u nutritivnu vrednost i tehnološke karakteristike dobijenih proizvoda. Dunja je prednjačila sa sadržajem dijetnih vlakana, dok su pogača višnje i njene mešavine imale najniže koncentracije istih.

5.8. Antioksidativna aktivnost pogača, brašna i mešavina

Antioksidanti su jedinjenja koja mogu da odlože procese oksidacije ili inhibiraju fazu propagacije reakcija slobodnih radikala. Imaju sposobnost uklanjanja slobodnih radikala, heliranje prooksidantnih metala, inhibiranja peroksidacije lipida i neutralisanja singletn kiseonik. Prirodni antioksidanti mogu se javiti u različitim oblicima kao što su fenoli, flavonoidi, kumarini, ksantoni, lignani, tanini, tokoferoli, likopen i β -karoten. Nalaze se u različitim delovima biljaka: plodovima, listovima, semenima i uljima (Teh i sar., 2014).

Antioksidanti doniraju elektrone slobodnim radikalima, i na taj način ih neutrališu i redukuju oksidativna oštećenja. Antioksidanti odlažu početak oksidacije lipida tokom skladištenja i prerade namirnica, usporavaju kvarenje prehrambenih proizvoda i produžavaju rok trajanja. U tu svrhu koristi se širok spektar sintetičkih ili prirodnih antioksidanata. Sintetički antioksidanti su u širokoj upotrebi jer su dostupni, visoke čistoće, veoma reaktivni čak i pri niskim koncentracijama, ali mogu imati neke štetne efekte po ljudski organizam kako se može naći u nekim istraživanjima. Zbog potencijalnih štetnih efekata antioksidanata sintetičkog porekla, prednost se daje antioksidansima prirodnog porekla, koji imaju nižu toksičnost, visoku biorazgradivost i bezbednije mehanizme delovanja (Gulcin i Alwasel, 2023).

Za procenu antioksidativne aktivnosti biljnih materijala postoji nekoliko vrsta testova, a svaki test ima svoj specifični mehanizam za merenje. Za tačnu procenu antioksidativne aktivnosti uzoraka preporučuje se testiranje sa bar dva različita testa (Švarc-Gajić i sar., 2022).

U ovom istraživanju određeni su sadržaj ukupnih polifenola (TPC – „Total polyphenolic content“) i antioksidativna aktivnost testovima FRP, ABTS^{•+} i DPPH[•] uljanih pogača semena dunje, šljive i višnje, čiji su rezultati prikazani u Tabeli 12.

Tabela 12. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna svojstva (FRP, ABTS^{•+} i DPPH[•]) ekstrakata fino samlevene pogače semena dunje, šljive i višnje (srednja vrednost \pm SD)

Uzorci	TPC (mgGAE/100gFW)	FRP (mgAA/100gFW)	ABTS ^{•+} (mgTrolox/100g FW)	DPPH [•] (mgTrolox/100g FW)
Pogača dunja	116,88 \pm 1,59 ^b	120,81 \pm 4,81 ^b	64,53 \pm 0,20 ^b	45,19 \pm 5,75 ^a
Pogača šljiva	196,11 \pm 9,29 ^a	449,90 \pm 2,99 ^a	101,29 \pm 0,20 ^a	51,45 \pm 7,41 ^a
Pogača višnja	86,88 \pm 1,59 ^c	78,47 \pm 3,77 ^c	53,99 \pm 1,21 ^c	43,89 \pm 8,76 ^a

*Različita slova u koloni ukazuju na značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: GAE-galna kiselina; AA-askorbinska kiselina; **TPC**-sadržaj ukupnih polifenola; **FRP**-redukujuća svojstva; **ABTS^{•+}**- sposobnost sakupljanja ABTS^{•+}-radikala; **DPPH[•]**-sposobnost sakupljanja DPPH[•]-radikala.

Sadržaj ukupnih fenolnih komponenti (TPC) u ispitivanim uzorcima pogača bili su 86,88 \pm 1,59 mgGAE/100g (Pv), 116,88 \pm 1,59 mgGAE/100g (Pd) i 196,11 \pm 9,29 mgGAE/100g (Pš). Pogače su imale značajno više koncentracije fenolnih jedinjenja od P (69,79 \pm 2,42 mgGAE/100g) (Tabela 13). Između ispitivanih pogača postojala je statistički značajna razlika. Varijacije su se mogle objasniti pripadnošću semena različitim voćnim vrstama, kao i njihovom različitim hemijskim sastavom. U radu Mir i sar. (2015) mogli su se pronaći podaci o sadržaju TPC u pokožici ploda dunje (97,51 mg GAE/100 g), u semenu dunje (79,48 mg GAE/100 g), u pulpi dunje (67,44 mg GAE/100 g) i u sluzi (41,23 mg GAE/100 g). Takođe Szychowski i sar. (2014) navode sadržaj TPC u pokožici i mezokarpu dunje čije su se vrednosti kretale 327-581 mg galne kiseline/100g i 44,8-101 mg galne kiseline/100 g, redom. U pogači oraha utvrđen je bio sadržaj TPC 14,8 mgGAE/g (Garcia-Mendoza i sar., 2021). Sadržaj TPC u semenu šljive bio je 198,03 mgGAE/100g (Savić i sar., 2020). Sadržaj fenola u ekstraktu pulpe višnje bio je 108,36 \pm 3,99 mgGAE/100 g sveže mase (Okur i sar., 2019).

U ovom istraživanju, vrednosti DPPH* testa za ispitivane pogače bile su $43,89 \pm 8,76$ mgTrolox/100g (Pv), $45,19 \pm 5,75$ mgTrolox/100g (Pd) i $51,45 \pm 7,41$ mgTrolox/100g (Pš), dok kod belog pšeničnog brašna ova antioksidativna aktivnost nije detektovana (Tabela 13).

Antioksidativna aktivnost određena FRP testom bila je zapažena kod svih uzoraka pogača i pšeničnog brašna. Dobijene vrednosti bile su $449,90 \pm 2,99$ mgAA/100g kod Pš, $120,81 \pm 4,81$ mgAA/100g kod Pd i $78,47 \pm 1,21$ mgAA/100g kod Pv. Ove vrednosti su čak i nekoliko desetina puta bile veće u odnosu na P ($10,81 \pm 0,001$ mgAA/100g) (Tabela 13). ANOVA je pokazala da je između ispitivanih pogača postojala statistički značajna razlika.

U radu Silva i sar. (2023) mogli su se pronaći podaci o aktivnosti DPPH* i FRP za list, koru plod i seme nara, dunje i kaki jabuke. Tako su kod nara utvrđene sledeće vrednosti: list $91,61$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije i $6448,44$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije; kora ploda $49,15\%$ i $2262,89$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije, i seme $7,46\%$ i $583,78$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije, po redu. Kod dunje je u listu su zabeležene vrednosti $82,81\%$ i $4306,78$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije, u pokožici ploda $24,28\%$ i $1266,67$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije, i u semenu $0,21\%$ i $204,61$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije, po redu. Kod kaki jabuke list je imao sledeće vrednosti; $71,65\%$ (DPPH*) i $3770,67$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije (FRP); pokožica ploda $7,98\%$ (DPPH*) i $550,44$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije (FRP); iseme $77,97\%$ (DPPH*) i $4224,56$ $\mu\text{molFeSO}_4$ eq/g suve materije (FRP) (Švarc-Gajić i sar., 2022). U svom radu Mir i sar. (2015) su izmerili FRP vrednosti za različite proizvode napravljene od ploda dunje i najveća vrednost bila je zabeležena kod dezerata od dunje ($1,68$ μM), što se neznatno razlikovalo od vrednosti izmerenih u džemu od dunje ($1,40$ μM) i dehidriranim kriškama ($1,46$ μM). Uzorci nusproizvoda dunje (pokožica ploda i semena) su u ispitivanjima istih autora imali nešto niže vrednosti od uzoraka džema (1017 i 923 $\mu\text{MTrolox}/100$ g sveže mase, redom). U radu Johnson i sar. (2022) FRP vrednosti mezokarpa i semena nekih sorti šljive bile su od $12,571$ mgTE/100 g do $3,306$ mgTE/100 g. Pregledom literature, pronađene su FRP vrednosti za seme različitih sorti trešnje u intervalu od $0,19$ $\mu\text{gTrolox}/\text{g}$ do $0,59$ $\mu\text{gTrolox}/\text{g}$ (Afonso i sar., 2020). Za seme i pogaču koja je analizirana u ovom radu nije bilo dostupnih podataka o antioksidativnoj aktivnosti određenoj sa sva tri testa.

U radu Švarc-Gajić i sar. (2022) se moglo naći da uljane pogače semena lana, konoplje i bundeve ispoljavaju visoku aktivnost uklanjanja radikala ABTS^{•+} sa prosečnom koncentracijom od $36,9$ mgAAE/g sm, dok su uzorci ekstrahovani korišćenjem kiselog modifikatora imali niske vrednosti ABTS^{•+} sa prosekom od $21,9$ mgAAE/g sm. Visoka antioksidativna aktivnost je detektovana kod uljane pogače konoplje i lana (vrednosti u intervalu od $15,0$ do $25,1$ mgTE/g suve mase), dok su vrednosti za uljanu pogaču semena bundeve bile niže (u intervalu od $9,7$ do $12,8$ mgTE/g suve mase) (Švarc-Gajić i sar., 2022).

U ispitivanim uzorcima pogača izmerene ABTS^{•+} antioksidativne vrednosti su bile $53,99 \pm 1,21$ mTrolox/100g FW (Pv), $64,53 \pm 0,20$ mgTrolox/100g FW (Pd) i $101,29 \pm 0,20$ mgTrolox/100g FW (Pš), i bili su značajno viši nego te iste vrednosti za P ($49,17 \pm 0,56$ mgTrolox/100g FW). Postojala je statistički značajna razlika između posmatranih uzoraka pogača, što je i ANOVA pokazala. U literaturi su podaci o ABTS^{•+} antioksidativnoj aktivnosti bili slabo dostupni za uljane pogače i semena voćaka koje je ispitivano u ovom radu.

Uzorak Pš je imao najveću antioksidativnu aktivnost, dok je uzorak Pv imao najmanju. U Tabeli 13 predstavljeni su rezultati TPC i antioksidativne aktivnosti mešavina sa udelom pogača semena dunje, šljive i višnje od 10% , 20% i 30% .

Tabela 13. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna aktivnost (FRP, ABTS^{•+} i DPPH[•]) ekstrakata mešavina brašna (srednja vrednost ± SD)

Uzorci (brašna)	TPC (mgGAE/100gFW)	FRP (mgAA/100gFW)	ABTS ^{•+} (mgTrolox/100g FW)	DPPH [•] (mgTrolox/100g FW)
Db10	54,13±1,04 ^a	21,84±0,13 ^a	42,47±1,22 ^a	2,45±0,11 ^a
Db20	65,56±1,15 ^b	33,40±2,08 ^b	46,81±0,43 ^{bde}	8,58±0,16 ^b
Db30	64,96±1,54 ^b	45,61±1,56 ^c	44,77±1,74 ^{bd}	17,22±0,48 ^c
Šb10	77,87±4,45 ^{ce}	71,06±8,05 ^d	44,11±1,74 ^{ab}	N.D.
Šb20	82,92±2,80 ^c	123,66±3,25 ^e	44,47±0,59 ^{abd}	12,15±0,85 ^d
Šb30	114,19±4,18 ^d	152,23±0,13 ^f	54,89±3,45 ^c	15,62±1,55 ^c
Vb10	67,10±0,93 ^b	21,84±0,91 ^a	48,48±0,20 ^{de}	N.D.
Vb20	70,73±2,80 ^{bc}	24,70±1,69 ^{ab}	49,40±0,79 ^e	N.D.
Vb30	68,36±5,60 ^b	30,68±4,55 ^{ab}	48,35±0,20 ^{de}	6,07±0,64 ^e
P	69,79±2,42 ^{bc}	10,81±0,00 ^g	49,17±0,56 ^e	N.D.

*Različita mala slova u svakoj koloni posebno označavaju značajnu razliku prema Tukey's testu ($p < 0,05$). Skraćenice: **GAE**-galna kiselina; **AA**-askorbinska kiselina; **FW**-fresh weight, sirova masa. Skraćenice: **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje; **P**-belo pšenično brašno.

Kod mešavina sa dodatkom Pd i Pv sadržaj TPC bio je maksimalan kod 20% mešavina, dok je kod 30% neznatno opadao. Mešavina Db10 imala je najniži sadržaj TPC (54,13±1,04 mgGAE/100g FW), što je bilo niže i od TPC u P (69,79±2,42 mgGAE/100g FW). Statistički značajna razlika bila je zastupljena između uzoraka Db20 i Db30 u odnosu na uzorak Db10.

Kod mešavina sa dodatkom Pv, Vb20 imala je najveći sadržaj TPC (70,73±2,80 mgGAE/100g FW), dok je sadržaj kod Vb30 neznatno opadao (68,36±5,60 mgGAE/100g FW). Najniži sadržaj TPC imala je Vb10 (67,10±0,93 mgGAE/100g FW), što je bilo nešto niže od sadržaja TPC u P. Između mešavina sa dodatkom Pv nije bilo statistički značajne razlike. Kod mešavina sa dodatkom Pš, sa povećanjem udela pogače rastao je i sadržaj TPC. Tako je mešavina Šb30 imala najveći sadržaj TPC (114,19±4,18 mgGAE/100g FW), a Šb10 najniži (77,87±4,45 mgGAE/100g FW). Između mešavina Šb10 i Šb20 nije bilo statistički značajne razlike, dok su se ove dve mešavine značajno razlikovale od Šb30. Obogaćivanje pšeničnog brašna dodatkom pogača u iznosu 20% i 30% uticalo je na povećanje sadržaja TPC.

Antioksidativni kapaciteti mešavina brašna određeni FRP testom povećavali su se sa povećanjem udela pogače u mešavinama. Najveće FRP vrednosti imale su 30% mešavine, a najniže 10% mešavine. Opseg vrednosti kretao se od 21,84±0,13 mgAA/100g FW (kod Db10 i Vb10) do 152,23±0,13 mgAA/100g FW kod Šb30. Između Db10, Db20 i Db30 postojala je statistički značajna razlika, kao i između mešavina sa različitim udelom Pš. Sve mešavine imale su značajno veće vrednosti od P (10,81±0,001 mgAA/100g FW).

Uzorak Db10 imao je vrednosti ABTS^{•+} testa 42,47±1,22 mgTrolox/100g FW, a Vb10 48,48±0,20 mgTrolox/100g FW. Mešavine Db20 i Vb20 imale su najveće vrednosti, 46,81±0,43 i 49,40±0,79 mgTrolox/100g FW, redom, posmatrajući pojedinačno vrste dodatih pogača. U oba slučaja, vrednosti 30% mešavina neznatno su se smanjivale. Najniže vrednosti su generalno imale 10% mešavine. Uzorak Šb30 imao je najveću antioksidativnu saktivnost određenu ABTS^{•+} testom (54,89±3,45 mgTrolox/100g FW) od svih uzoraka, uključujući P (49,17±0,56 mgTrolox/100g FW).

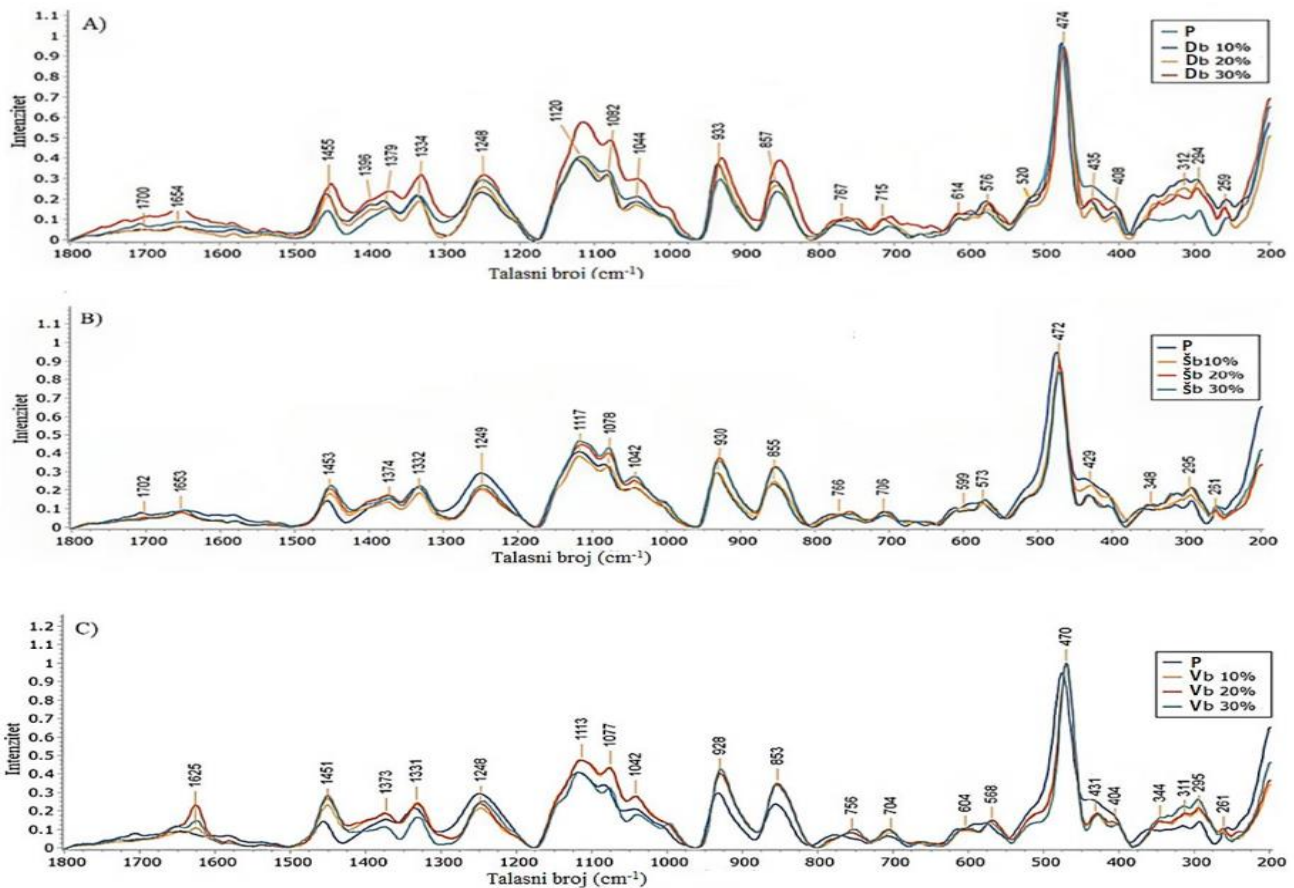
Antioksidativna aktivnost DPPH[•] testom je rasla sa porastom udela dodatih pogača. Db10 je imala vrednost 2,45±0,11 mgTrolox/100g FW, dok je Db30 imala 17,22±0,48 mgTrolox/100g FW. Između mešavina sa dodatkom Pd postojala je statistički značajna razlika. Kod mešavina sa dodatkom Pv, DPPH[•] aktivnost jedino je detektovana kod Vb30 od 6,07±0,64 mgTrolox/100g FW, koja je bila najniža od svih uzoraka, dok u Vb10 i Vb20 nije bila detektovana antioksidativna aktivnost. U uzorku Šb10 nije bila detektovana antioksidativna aktivnost DPPH[•] testom, dok je Šb30 imala 15,62±1,55

mgTrolox/100g FW. U slučaju određivanja antioksidativne aktivnosti, jedino u DPPH[•] testu uzorak Db30 imao je najveću antioksidativnu aktivnost. S obzirom na to da u P nije detektovana antioksidativna aktivnost DPPH[•] testom, može se zaključiti da je supstitucija od 30% sve tri vrste pogača, uspešno uticala na porast antioksidativne aktivnosti.

5.9. Raman spektroskopija mešavina i pšeničnog brašna

Raman spektroskopija je nedestruktivna metoda koja se može koristiti u karakterizaciji ekstrakta pogače različite koncentracije u poređenju sa uzorcima pšeničnog brašna u smislu njihovog hemijskog sastava i molekularnih promena. Ramanov spektar, inherentan je molekulima. To je zato što su vibracioni modovi molekula određeni hemijskom strukturom molekula. Zbog molekularne inherentnosti, Ramanovi spektri se koriste kao markeri specifičnih molekula sadržanih u biljnim ćelijama i tkivima zbog čega se nazivaju „molekularni otisak prsta“ (eng. fingerprint region) (Kumamoto i sar., 2018).

Ramanovi spektri mešavina brašna sa različitim udelima pogača i pšeničnog brašna kao kontrole (Slika 18) pokazali su najveće prisustvo ugljenih hidrata i proteina. Dobijeni su karakteristični Ramanovi spektri u rasponu talasnih brojeva od 200 – 1800 cm⁻¹.



Slika 18. Ramanovi spektri mešavina brašna sa 10, 20 i 30% udelima pogača semena: A) dunje, B) šljive i C) višnje u odnosu na pšenično brašno.

Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

Na Slici 18 prikazani su Ramanovi spektri pšeničnog brašna (kontrolnog uzorka) i mešavina brašna sa 10, 20 i 30% pogače dunje (A), pšeničnog brašna i mešavina brašna sa 10, 20 i 30% pogače šljive (B) i pšeničnog brašna i mešavina brašna sa 10, 20 i 30% pogače višnje (C). U uzorcima mešavina, u oblasti talasnih brojeva od 250 - 400 cm^{-1} najoštiji pik primećen je na poziciji 295 cm^{-1} . Vibracione aktivnosti u ovoj oblasti bile su prisutne kada su analizirane sve vrste mešavina sa različitim udelom dodate pogače. Dodavanje pogača neznatno je uticalo na povećanje intenziteta vibracionih karakteristika u ovoj oblasti talasnih brojeva, koji je neznatno rastao sa povećanjem udela dodate pogače. Pomenute trake bile su većeg intenziteta u poređenju sa pšeničnim brašnom. Pikovi u oblasti 250 – 400 cm^{-1} su prema literaturnim podacima (Farber i sar., 2020; Nakajima i sar., 2022; Farber i sar., 2020; Da Silva i sar., 2008; Almeida i sar., 2010; Nakajima i sar., 2023) odgovarali komponentama skroba i odnosu amiloze i amilopektina, a mogli su odgovarati i gradivnim jedinicama amiloze i amilopektina. U ispitivanim uzorcima pikovi na pomenutim talasnim brojevima mogli su se objasniti prisustvom skroba i njegovih komponenti, jer kako su naveli u radu Emide i sar. (2023) skrob je mešavina dva polimera glukoze, amiloze i amilopektina. Amiloza i amilopektin sadrže linearne α -1,4 i razgranate α -1,6 glikozidne veze, pri čemu α -1,6 glikozidnih veza praktično i nema u amilozi, već su dominantne amilopektinu. P je imao najveći intenzitet pika na pomenutim talasnim brojevima, dok je Db30 u grupi mešavina sa Pd imao pik najmanjeg intenziteta. Kod mešavina sa pogačom šljive, P je imao najintenzivniji pik, a Šb30 pik najmanjeg intenziteta. P se istakao sa najvećim intenzitetom, a Vb30 najmanjim intenzitetom pika u ovoj oblasti. Variranja u intenzitetu pikova koji su odgovarali skrobu i njegovim komponentama mogla su se objasniti time da je dodavanje pogača uticalo na smanjenje sadržaja skroba jer u čistim pogačama ovo jedinjenje nije bilo identifikovano (Tabela 10). Sa povećanjem dodatog udela pogača, sadržaj skroba je opadao u mešavinama.

Tabela 14. Glavne Ramanove trake detektovane u mešavinama sa dodatim pogačama i belom pšeničnom brašnu

Talasni broj cm^{-1}						
Ovo istraživanje						
P	Mešavine sa 10, 20 i 30% pogače dunje	Mešavine sa 10, 20 i 30% pogače šljive	Mešavine sa 10, 20 i 30% pogače višnje	Literaturni podaci	Asignacija	Literatura
251-261	259	251	261	270 248	$\delta(\text{C-C-C})+\tau(\text{C-O})$; skrob	Farber i sar., 2020; Nakajima i sar., 2022
294-295	294	295	295	305	$\delta(\text{C-C-C})+\tau(\text{C-O})$	Farber i sar., 2020
311-312	312	-	311	310 316	$\delta(\text{C-C-C})+\tau(\text{C-O})$; skrob	Farber i sar., 2020; Nakajima i sar., 2022
344-348	-	348	344	336	$\delta(\text{C-C-C})$	Da Silva i sar., 2008
404-408	408	-	404	410 400	$\delta(\text{C-C-O})+\delta(\text{C-C-C})$; amiloza	Almeida i sar., 2010; Nakajima i sar., 2022;
429-435	435	429	431	441 430 437	$\delta(\text{C-C-O})+\delta(\text{C-C-C})$ amiloza; $\delta(\text{C-C-O})+\delta(\text{C-C-C})$	Almeida i sar., 2010; Nakajima i sar., 2022; Hu i sar., 2017
470-474	474	472	470	475-485 477	$\delta(\text{C-C-C})+\tau(\text{C-O})$ amiloza i amilopektin; Skeletni modovi piranoznog prstena	Almeida i sar., 2010; Fan i sar., 2012
520	520	-	-	520 524 510-532 520	$\nu(\text{C-O-C})$ glikozidni prsten; $\delta(\text{C-C-O})+\tau(\text{C-O})$; S-S istezanje glukoza	Farber i sar., 2020; Almeida i sar., 2010 Piot i sar., 2001; Zhang i sar., 2019
568-576	576	573	568	570	$\delta(\text{C-C-O})+\tau(\text{C-O})$	Torbica i sar., 2023
599-614	614	599	604	615	$\delta(\text{C-C-O})$	Almeida i sar., 2010
704-715	715	706	704	714	$\delta(\text{C-C-O})$ glikozidni prsten;	Rodriguez i Kurouski, 2023;

				714, 706 712, 717	L-tirozin, L-triptofan; Amiloza; amilopektin	De Gelder i sar. 2007; De Gelder i sar. 2007
767	767	766	756	768 763 762 760	$\delta(\text{C}-\text{C}-\text{O})$ glikozidni prsten; $\delta(\text{C}-\text{C}-\text{O})$; Tiptofan; Tiptofan	Rodriguez i Kurouski, 2023; Kizil i sar., 2002; Pezzotti i sar., 2021; Nawrocka i sar., a) 2017.
853- 857	857	855	853	857 854 854 853	$\delta(\text{C}-\text{C}-\text{H}) + \delta(\text{C}-\text{O}-\text{C})$ glikozidne veze, ugljeni hidrati; (COC) α -anomeri; amiloza; pektin	Rodriguez i Kurouski, 2023; Chylińska i sar. 2014; De Gelder i sar. 2007; Farber i sar., 2020.
928- 933	933	930	928	936 920-960 928	α -1,4 glikozidne veze, ugljeni hidrati; α -D-(1 \rightarrow 6) veze amilopektina; C-O-C istezanje/(1 \rightarrow 6) veze	Rodriguez i Kurouski, 2023; Pezzotti i sar., 2021; Liu i sar., 2004.
1042- 1044	1044	1042	1042	1030-1080	C-O-C glikozidne vibracije, C-O ugljeni hidrati	Farber i sar., 2019;
1077- 1082	1082	1078	1077	1083 1074-1078	$\nu(\text{C}-\text{O}) + \nu(\text{C}-\text{C}) + \delta(\text{C}-\text{O}-\text{H})$; $\nu(\text{C}-\text{O}) + \nu(\text{C}-\text{C}) + \delta(\text{C}-\text{O}-\text{H})$	Almeida i sar., 2010; Farber i sar., 2020.
1117- 1120	1120	1117	1113	1090-1124	arabinoksilani	Piot i sar., 2001.
1248- 1249	1248	1249	1248	1249	CF	Joseph i sar., 2017.
1332- 1334	1334	1332	1331	1331-1339 1335	C-H vibracije Aril-OH ili aril-O-CH ₃	Boyaci i sar., 2015; Zhu i sar., 2018.
1373- 1379	1379	1374	1373	1373-1375 1370-1380 1382	$\delta\text{C}-\text{O}-\text{H}$ CH ₂ „sečenje“ $\delta\text{C}-\text{O}-\text{H}$	Torbica i sar., 2023; Schuster i sar., 2000; Kizil i sar., 2002;
	1396	-	-	1384-1408 1396 1395-1406	C-H savijanje; $\delta(\text{C}-\text{C}-\text{H})$; β -ravan;	Farber i sar., 2019; Almeida i sar., 2010; Roach i sar., 2012;
1451- 1455	1455	1453	1451	1460 1457 1461	CH ₂ savijanje; polisaharidi; $\delta(\text{CH}) + \delta(\text{CH}_2) + \delta(\text{C}-\text{O}-\text{H})$;	Kizil i sar., 2002; Stawoska i sar., 2021; Almeida i sar., 2010;
1625	-	-	1625	1625 1620-1648	Aromatične vibracije; β -ravan;	Hniopek i sar., 2021; Sadat i Joye., 2020;
-	1654	1653	-	1636-1658 1653 1653-1654	R-C(O)-NH-R' (proteini); α -heliks; amid I, heliks;	Farber i sar., 2019; van Velzen i sar., 2003; Maiti i sar., 2004;
-	1700	1702	-	1700-1702	istezanje C=O	Singh i sar., 2017.

Skraćenice: ν -istezanje, τ -torzija/uvijanje, δ -van ravni deformacija prstena ili torzija prstena

Na Slici 18 za ispitivane mešavine brašna primećeni su pikovi slabog intenziteta na 435 i 408 cm^{-1} (sa Pd), 429 cm^{-1} (sa Pš) i 431 i 404 cm^{-1} (sa Pv). Prema literaturnim podacima ovaj opseg talasnih brojeva može se odnositi na sadržaj amiloze, kao komponente skroba. Niski intenziteti mogli su se objasniti većim amorfnim sadržajem amiloze, koja ima linearnu strukturu povezanu α (1 \rightarrow 4) vezama (Nakajima i sar., 2022).

Intenzivna Ramanova traka na 475–485 cm^{-1} koristi se kao marker za identifikaciju prisustva skroba u uzorcima, kao i za karakterizaciju amiloze i amilopektina (Czekus i sar., 2019). Torbica i sar. (2023) ukazuju da prisustvo pikova u regionu od 469 – 475 cm^{-1} ukazuje na piranozni prsten glukoze u amilozi i amilopektinu. Na Slici 18 prikazani su pikovi na 470 cm^{-1} (mešavine sa Pv), 472 cm^{-1} (mešavine sa Pš) i 474 cm^{-1} (mešavine sa Pd). Na osnovu podataka o sadržaju skroba (Tabela 10), najveći intenzitet pika na ovoj oblasti potvrđuje da najveći deo ugljenih hidrata u mešavinama čini skrob sa različitim udelima amiloze i amilopektina.

Disulfidni mostovi su obično u spektralnom području od 490 do 550 cm^{-1} , a trake na 505, 520 i 530 cm^{-1} odgovaraju različitim konformacijama, *gauche-gauche-gauche* (g-g-g), *trans-gauche-gauche* (t-g-g), i *trans-gauche-trans* (t-g-t), redom (Kłosok i sar., 2021; Torbica i sar., 2023). U našim uzorcima brašna i mešavina sa Pd mogao se videti pik na 520 cm^{-1} (Slika 18), što je ukazivalo na to da je t-g-g konformacija dominantna. Intenziteti su bili niski i međusobno približni, na osnovu čega se moglo zaključiti da mešavine sa Pd imaju približan sastav proteina.

Na Slici 18 mogu se videti pikovi na 599, 604 i 614 cm^{-1} koji su odgovarali mešavinama brašna sa Pš, Pv i Pd. Takođe, pikovi mešavina bili su zapaženi na 576 cm^{-1} (sa Pd), 573 cm^{-1} (sa Pš) i 568 cm^{-1} (sa Pv). Torbica i sar. (2023) smatraju da oblast 567-570 i 600-603 cm^{-1} potiče od skeletnih modova piranoznog prstena skroba. S obzirom na vrstu uzoraka i njihov sadržaj skroba (Tabela 10) pikovi detektovani u gore navedenoj oblasti mogli su se objasniti skeletnim modovima piranoznog prstena skroba.

Na talasnim brojevima 704, 706 i 715 cm^{-1} bili su zapaženi pikovi mešavina brašna sa Pv, Pš i Pd, redom (Slika 18). De Gelder i sar. (2007) su u svom radu objasnili sa pikovi slabog intenziteta na 706 i 714 cm^{-1} odgovaraju L-triptofanu i L-tirozinu, kao i da 712 i 717 cm^{-1} mogu odgovarati prisustvu amiloze i amilopektina, što se moglo primeniti na ispitivane mešavine brašna s obzirom na sadržaj skroba i proteina (Tabela 10).

Ispitivane mešavine brašna pokazale su pikove na 756 cm^{-1} (sa Pv), 766 cm^{-1} (sa Pš) i 767 cm^{-1} (sa Pd). Nawrocka i sar. (a) (2017) u svom radu protumačili su da mali intenzitet trake na $\sim 760 \text{ cm}^{-1}$ ukazuje na izlaganje ostataka triptofana iz hidrofobnog okruženja i njihov doprinos formiranju neuređenije strukture. Mešavine brašna sa različitim pogačama su sadržale ostatke triptofana koji su bili odgovorni za neuređenu strukturu proteina uzoraka.

Pik na 854 cm^{-1} može se smatrati markerom za α -glikozidne veze u pektinu. Talasni brojevi na koje bi moglo ovo da se odnosi su od 850 do 862 cm^{-1} u zavisnosti od povećanja stepena acetilacije pektina (Chylińska i sar., 2014). Rezultati ovog istraživanja prikazani su na Slici 18. Pikovi su bili primećeni na 853 cm^{-1} (mešavine sa Pv), 855 cm^{-1} (mešavine sa Pš) i 857 cm^{-1} (mešavine sa Pd) i na osnovu gore navedenih literaturnih podataka može se pretpostaviti da ovi talasni brojevi potiču od prisustva pektina.

Prema Almeida i sar. (2010) vibracije koje potiču od α -1,4 glikozidnih veza mogu se detektovati u oblasti 920–960 cm^{-1} . Mešavine brašna i pšenično brašno imali su pikove detektovane u ovoj oblasti talasnih brojeva i to: 928 cm^{-1} (mešavine sa Pv), 930 cm^{-1} (mešavine sa Pš) i 933 cm^{-1} (mešavine sa Pd) što se moglo objasniti prisustvom α -1,4 glikozidnih veza u uzorcima. Takođe, prema radu De Gelder i sar. (2007) talasni broj 930 cm^{-1} može odgovarati prisustvu D-ksiloze što je u ispitivanim mešavinama brašna potvrđeno pikovima detektovanim i na 1113-1120 cm^{-1} . Razlike u talasnim brojevima detektovanih pikova mogle su se objasniti promenom položaja glikozidnih veza kako u skrobu tako i u ostalim ugljenim hidratima brašna i mešavina, kao i promenom odnosa amiloza:amilopektin, kako su u radu naveli Almeida i sar. (2010).

U mešavinama brašna i pšeničnom brašnu bili su primećeni pikovi na 1044 i 1082 cm^{-1} (sa Pd), na 1042 i 1078 cm^{-1} (sa Pš) i 1042 1077 cm^{-1} (sa Pv) (Slika 18). Oblast 900-1100 cm^{-1} može ukazivati na uređenu konformaciju saharida sa manje konformacija, a talasni broj 1077 cm^{-1} može odgovarati režimu savijanja C-O-H glikozidne veze (Sivam i sar., 2013). Takođe, pikovi u opsegu od 950–1150 cm^{-1} mogu se smatrati dokazom umrežavanja između molekula skroba i drugih neskrobnih sastojaka, naročito proteina u brašnu (Sun i sar., 2014). Odstupanja u dobijenim rezultatima mogla su se objasniti različitim sadržajem skroba i proteina brašna i mešavina brašna kako je prikazano u Tabeli 10.

Detektovani pikovi na talasnim brojevima 1120 cm^{-1} (mešavine sa Pd), 1117 cm^{-1} (mešavine sa Pš) i 1113 cm^{-1} ulaze u opseg 1090-1124 cm^{-1} koji su Piot i sar. (2001) utvrdili da pripada arabinoksilanima, čime su se mogli objasniti rezultati ovog istraživanja. Prema Kaprelyants i sar. (2019) arabinoksilani su sastavni delovi zrna pšenice koji se nalaze u ćelijskom zidu aleuronskog sloja,

kao i u ćelijskim zidovima različitih semena. Na sadržaj arabinoksilana u brašnu uticaj može imati i veličina čestica posle mlevenja, kako su naveli Kaprelyants i sar. (2019). Kao što se vidi na Slici 18 A) kod mešavina sa Pd, dominirala je 30% mešavina, što je bilo u saglasnosti sa literaturnim podacima da u semenu dunje od šećera posle glukoze dominira ksiloza sa 14,2% i arabinoza sa 2,4% (BeMiller i sar., 1993). U mešavinama sa Pš i Pv, intenziteti detektovanih pikova bili su približni i na nižim talasnim brojevima (Slika 18 B) i C)) što se moglo objasniti nižim sadržajem ovih jedinjenja i različitim položajima glikozidnih veza, što je bilo potvrđeno i u radu Pang i sar. (2023).

U ispitivanim mešavinama brašna primećeni su pikovi srednjeg intenziteta u oblasti 1248 cm^{-1} (mešavine sa Pd i Pv) i 1249 cm^{-1} (mešavine sa Pš). Spektralni region između 1200 i 1340 cm^{-1} karakteriše nekoliko vibracionih modova polisaharida, kao što su trake srednjeg intenziteta na pozicijama oko 1332 cm^{-1} i 1248 cm^{-1} koje se pripisuju C-O i C-O-H vezama istezanja i C-C-H i C-O-H deformacionim vezama (Almeida i sar., 2010; Torbica i sar., 2023). U radu Nawrocka i sar. (2017) talasni broj 1248 cm^{-1} bio je pripisan sadržaju dijetnih vlakana poreklom iz kakaoa. U tom slučaju ispitivane mešavine brašna mogu biti u saglasnosti sa literaturom po pitanju sadržaja lignina i kiselih deterdžentskih vlakana (Tabela 11).

Oblast između 1331 – 1339 cm^{-1} karakteriše se prisustvom C-H vibracija (Boyaci i sar., 2015). U ispitivanim mešavinama pikovi u ovoj oblasti su bili zastupljeni kod svih uzoraka, sa malim odstupanjem 1331 cm^{-1} , 1332 cm^{-1} i 1334 cm^{-1} za mešavine sa Pv, Pš i Pd, redom. Zhu i sar. (2018) su utvrdili da oblast 1330 – 1340 cm^{-1} može biti povezana sa sadržajem lignina ili celuloze. Na ovaj način mogle su se objasniti razlike u talasnim brojevima detektovanih pikova, na osnovu razlike u sadržaju lignina ispitivanih mešavina i brašna (Tabela 11).

Mešavine brašna imale su pikove srednjeg intenziteta na 1373 cm^{-1} (mešavine sa Pv), 1374 cm^{-1} (mešavine sa Pš) i 1379 cm^{-1} (mešavine sa Pd). Mešavine sa Pš imale su pikove približnog intenziteta, kod mešavina sa Pv isticala se 20% mešavina sa najvišim intenzitetom i kod mešavina sa Pd najviši intenzitet bio je kod 30% mešavine (Slika 18). U radu Torbica i sar. (2023) region 1373 – 1375 cm^{-1} vezuje se za prisustvo komponenti skroba, što je u saglasnosti sa ispitivanim mešavinama brašna u ovom istraživanju. Varijacije u talasnim brojevima detektovanih pikova mogle su se objasniti različitim udelima komponenti skroba što je potvrđeno u radu Wiercigroch i sar. (2017) gde su talasni brojevi 1379 cm^{-1} pripisani prisustvu 2-deoksi-D-riboze, a 1373 cm^{-1} D-ksiloze. Različiti udeo komponenti skroba mogao se objasniti različitim sadržajem dijetnih vlakana pogača (Tabela 11) i različitim sadržajem vlage i lipida ispitivanih uzoraka (Tabela 10).

Mešavine sa pogačom dunje (Slika 18) imale su karakterističan pik na 1396 cm^{-1} , koji se u radu Almeida i sar. (2010) odnosi na C-C-H veze. Ovaj pik nije bio detektovan u mešavinama sa Pš i Pv. Oblast 1374 – 1397 cm^{-1} kako navode Talaikis i sar. (2020) može se odnositi na sekundarnu strukturu proteina. Ova oblast talasnih brojeva odnosi se na amid S strukturu proteina, tj. pripisuje se simetričnom savijanju $C\alpha$ -H, nazvanom amid S, kako su naveli Talaikis i sar. (2020). Pik koji karakteriše amid S strukturu proteina u mešavinama sa Pd mogao se objasniti najvećim sadržajem dijetnih vlakana u Pd u poređenju sa ostalim vrstama pogača (Tabela 11). Dijetna vlakna mogu da izazovu promene u strukturi proteina (mogućnost agregacije proteina ili abnormalnog savijanja) ujedno i usled većeg sadržaja vlage u poređenju sa Pš i Pv (Tabela 10), što je moglo doprineti formiranju strukture β -ravni, što je bilo u saglasnosti sa objašnjenjem datim u istraživanju Fan i sar. (2022).

Pojava pika na 1451 – 1455 cm^{-1} odgovara modovima CH_2 savijanja koji su povezani sa vibracijama koje se odnose na polisaharide (Kizil i sar., 2002; Almeida i sar., 2010; Torbica i sar., 2023). U ispitivanim mešavinama zapažen je pik na 1451 cm^{-1} (mešavine sa Pv), koje su imale veći intenzitet u odnosu na P, dok je kod ostalih mešavina zapažen pik na 1453 cm^{-1} , tj. 1455 cm^{-1} , kod mešavina sa Pš i Pd, redom. Mešavine brašna imale su pikove jačeg intenziteta u poređenju sa P, što se moglo objasniti manjim sadržajem ugljenih hidrata i skroba (na koji je uticalo dodavanje pogača) (Tabela 10). Spektralna oblast 1400 – 1500 cm^{-1} smatra se posledicom vibracija savijanja uglova oko

atoma ugljenika koji su sastavni delovi glikozidne veze kako navode Mahdad-Benzerdjeb i sar. (2007). Isti autori objasnili su da pomeranja frekvencija mogu biti posledica istog sastava monosaharida koji se razlikuju po položaju i konfiguraciji glikozidne veze (α 1-1, β 1-2 i sl.) što se može primeniti na ispitivane mešavine brašna ovog istraživanja.

Region 1653-1654 cm^{-1} u radu Maiti i sar. (2004) pripisuje se sekundarnoj strukturi proteina, prisustvu α -heliksa. Pikovi niskog intenziteta u ovoj oblasti bili su detektovani kod mešavina sa Pš i Pd (Slika 18), što je ukazivalo na to da je u sekundarnoj strukturi proteina pšenice dominirala konformacija α -heliksa, kako su u svom istraživanju objasnili Linlaud i sar. (2011). Po intenzitetu pika u ovoj oblasti izdvajao se uzorak Db30, što se moglo objasniti visokim sadržajem proteina i pepela koji utiču na jačanje vodoničnih veza zastupljenih u brašnu. Kod mešavina brašna sa Pv detektovan je pik na 1625 cm^{-1} koji prema Long i sar. (2015) odgovara β -ravni sekundarne strukture proteina. U literaturi je smanjenje intenziteta u regionu za α -heliks karakteristično povezano za povećanje intenziteta u oblasti β -ravni (Long i sar., 2015). Sadat i Joye (2020) u svom istraživanju navode da se oblast 1620-1648 cm^{-1} kojoj pripada detektovan pik u ovom istraživanju, može objasniti jačim vodoničnim vezama, kao i to da jača vodonična veza može dovesti do niže frekvencije rastezanja C=O veza. Po intenzitetu pika isticao se uzorak Vb20, što se moglo objasniti visokim sadržajem ugljenih hidrata koji doprinose formiranju vodoničnih veza između molekula (Tabela 10).

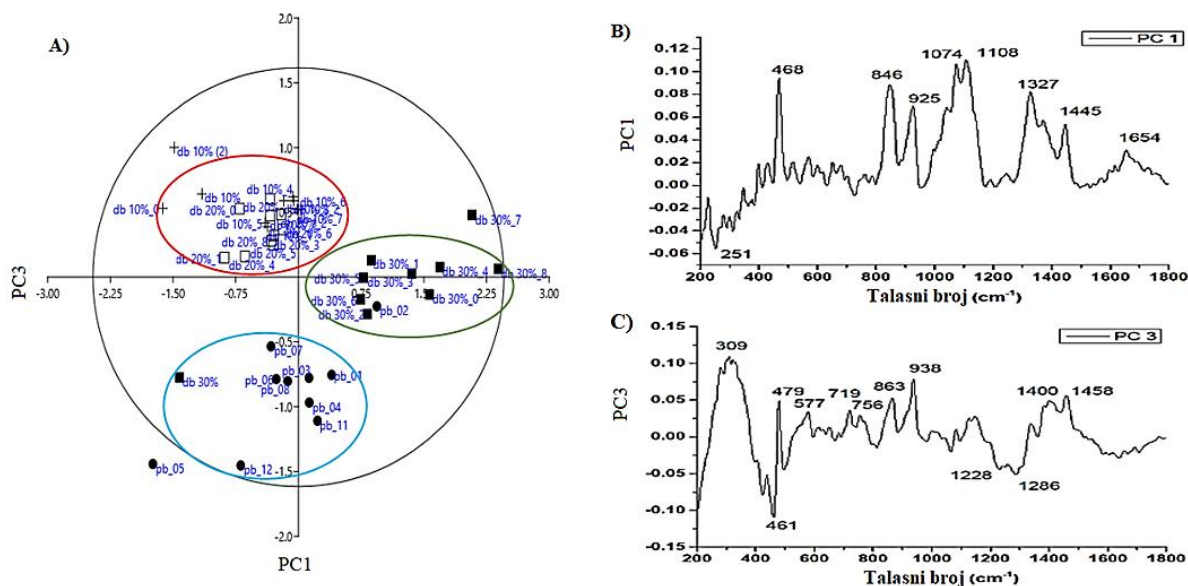
U spektralnom regionu 1700–1702 cm^{-1} primećeni su pikovi niskog intenziteta kod mešavina sa dodatkom pogača dunje i mešavina sa dodatkom pogača šljive. U radu Singh i sar. (2017) ova spektralna oblast odgovara istezanju C=O veza. Niži pomeraji u karbonilnoj grupi ukazuju na formiranje mreže tipa C=O-H sa susednim delom i potvrđuju prisustvo intermolekularne vodonične veze. U ispitivanim mešavinama i pšeničnom brašnu prisustvo karbonilnih grupa i vodoničnih veza moglo je poticati od visokog sadržaja ugljenih hidrata i proteina, kao što je predstavljeno u Tabeli 10.

Rezultati su pokazali da je dodavanje uljanih pogača pšeničnom brašnu uticalo na hemijski sastav.

PCA i klaster analiza Ramanovih spektara mešavina i belog pšeničnog brašna

Mešavine sa pogačom dunje

Dodavanje uljanih pogača pšeničnom brašnu uticalo je na hemijske karakteristike sa stanovišta ispitivanih mešavina zbog čega je urađena statistička obrada Principal component analysis (PCA) svakog tipa mešavine (sa određenom pogačom) u različitim udelima pojedinačno. Na Slici 19 A) prikazana je PCA dodavanja Pd pšeničnom brašnu u udelima od 10, 20 i 30%. Primenom PCA mešavina sa dodatkom pogača dunje (10, 20, i 30%), izdvojile su se dve glavne komponente (PC1, PC3). Posmatrano u odnosu na prvu glavnu komponentu (PC1), uzorci mešavina su se razdvojili na grupu kojoj su pripadale 10% i 20% mešavine i pšenično brašno, dok je drugu grupu činila 30% mešavina brašna sa dodatkom pogača dunje. Po trećoj glavnoj komponenti (PC3) uzorci su se grupisali na 10% i 20% mešavine, dok su drugoj grupi pripadale veći broj uzoraka 30% mešavina i pšenično brašno. Pšenično brašno bilo je na najvećoj udaljenosti, posebno u poređenju sa 10 i 20% mešavinama, što je potvrdilo pretpostavku da uljana pogača dunje značajno obogaćuje hemijski sastav brašna predviđenog za proizvodnju hleba. Promenljive koje su odgovorne za ovu diferencijaciju mogle su se uočiti analizom opterećenja na Slici 19 B) i C).



Slika 19. PCA Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom dunje i pšeničnog brašna: A) PCA analiza; B) dijagram opterećenja.

Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje.

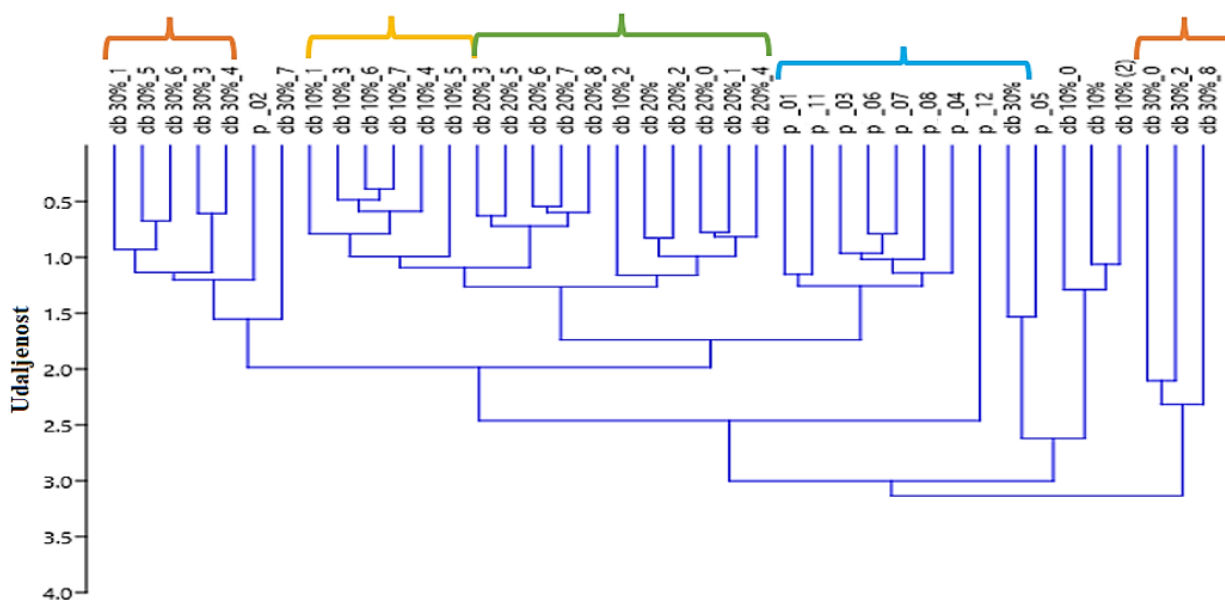
Projekcije varijabli na prvoj glavnoj komponenti (PC1) (Slika 19 B)) pokazale su koji su pikovi najviše doprineli razlikama između uzoraka 10% i 20% mešavina brašna sa pogačom dunje i pšeničnog brašna i uzoraka 30% mešavina brašna. Veći intenziteti pikova (pozitivne ili negativne vrednosti) u većoj meri uticali su na razdvajanje uzoraka. Dijagrami opterećenja po prvoj glavnoj komponenti pokazali su trake na 251 cm^{-1} koje su odgovarale C-C vezama najverovatnije skrobnim komponentama (Nakajima i sar., 2022); na 468 cm^{-1} , 846 cm^{-1} , 925 cm^{-1} koje su odgovarale skrobu, ugljenim hidratima i α -(1 \rightarrow 4) i α -D-(1 \rightarrow 6) glikozidnim vezama, redom (Torbica i sar., 2023; Rodriguez i Kurouski, 2023; Pezzotti i sar., 2021). Traka na 1074 cm^{-1} najverovatnije je odgovarala prisustvu saharida (Farber i sar., 2020) koji su nastali umrežavanjem skroba sa npr. proteinima (jedinjenja po kojima su se pogače izdvajale u poređenju sa P). Traka na 1108 cm^{-1} mogla se pripisati prisustvu arabinoksilana (Farber i sar., 2020), koji mogu biti sastavni deo dijetnih vlakana. Trake na 1327 cm^{-1} i 1445 cm^{-1} odgovarale su polisaharidima (Boyaci i sar., 2015; Stawoska i sar., 2021) za koje se zna da su u velikoj meri prisutni u ćelijskim zidovima pšenice i semena i da posle mlevenja zaostaju u značajnoj količini u brašnu. Trake na 1654 cm^{-1} odgovarale su proteinima (Maiti i sar., 2004), po čijem sadržaju se pogača dunje značajno razlikovala od pšeničnog brašna.

Po trećoj glavnoj komponenti dijagram opterećenja na Slici 19 C) pokazao je koje promenljive najviše utiču na razlike između 10% i 20% mešavina brašna i ostalih uzoraka. Najveći uticaj na razdvajanje grupa pokazali su pikovi na poziciji 309 cm^{-1} , a od negativnih vrednosti dominirao je pik na poziciji 461 cm^{-1} . Traka na 309 cm^{-1} mogla se odnositi na podjedinice skroba (Nakajima i sar., 2022) ili neke ugljene hidrate kojima su bogate bile mešavine brašna. Traka na 461 cm^{-1} odnosila se na odnos amiloze i amilopektina u skrobu (Almeida i sar., 2010). Za traku na 479 cm^{-1} pretpostavlja se da odgovara sadržaju glukoze ili glikozidnog prstena (Fan i sar., 2012). Traka na 577 cm^{-1} odgovarala je C-C-O koje su se mogle naći u piranoznom prstenu skroba (Torbica i sar., 2023). Postojanje triptofana i proteina bilo je potvrđeno trakama na 719 cm^{-1} , 756 cm^{-1} i 1400 cm^{-1} (Almeida i sar., 2010; Pezzotti i sar., 2021; Nawrocka i sar., a) 2017; Farber i sar., 2019). Pektin je odgovarao traci na 863 cm^{-1}

(Rodriguez i Kurouski, 2023). Traka na 938 cm^{-1} odgovarala je prisustvu α -(1 \rightarrow 4) glikozidnoj vezi (Almeida i sar., 2010). Trake na 1228 cm^{-1} i 1458 cm^{-1} odgovarale su polisaharidima (Almeida i sar., 2010; Kizil i sar., 2002), a 1286 cm^{-1} dijetnim vlaknima kao što su lignin i celuloza (Sivam i sar., 2013).

Klaster analiza

Klaster analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom dunje i pšeničnog brašna pokazala je postojanje dva glavna klastera, kao što se moglo videti na Slici 20. Prvom klasteru koji je najudaljeniji od ostalih pripadao je uzorak Db30. Drugom klasteru pripadali su P, Db10 i Db20. Potvrđeno je da se Db30 najviše statistički značajno razlikovala od P po svom hemijskom sastavu kao i od mešavina koje su imale 10 i 20% udeo pogače dunje.



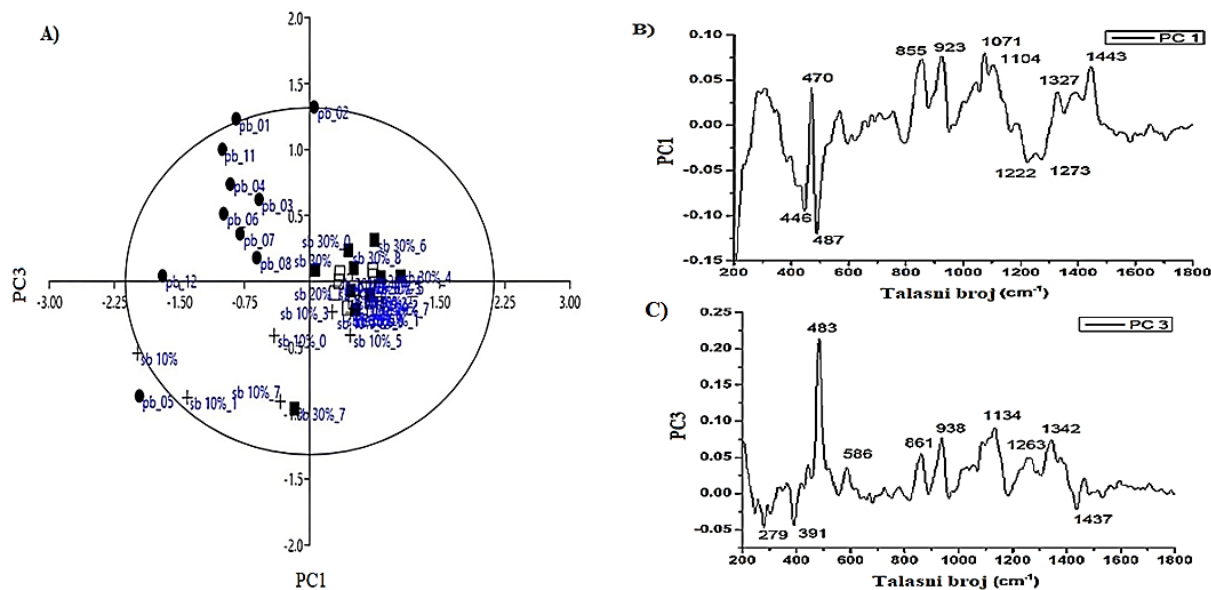
Slika 20. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačom dunje i pšeničnog brašna.

Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje.

Razlike u talasnim brojevima mogle su se objasniti različitim hemijskim sastavom polaznih pogača i preradom voća posle koje su semena uzeta za ispitivanje. Kod mešavina sa pogačom dunje, izdvojilo se Db30, kao što se i pretpostavljalo da će najveći procenat dodate pogače najviše uticati na promenu hemijskog sastava.

Mešavine sa pogačom šljive

Na Slici 21 A) prikazani su rezultati PCA posle dodavanja Pš pšeničnom brašnu u udelima: 10, 20 i 30%. Rezultati su pokazali izdvojene dve glavne komponente, PC1 i PC3. Na osnovu prve glavne komponente (PC1) uzorci su se razdvojili na pšenično brašno (P) i mešavine sa 10% udelom pogače šljive (Šb10), dok su drugoj grupi pripadale 20% i 30% mešavine sa pogačom šljive (Šb20, Šb30). U odnosu na treću glavnu komponentu (PC3) izdvojila se prva grupa koju su činile uzorci pšeničnog brašna i 30%-na mešavina, dok su drugoj grupi pripadale mešavine sa 10 i 20% udela pogače šljive, ali i značajan deo 10% mešavine. Na osnovu PCA kod mešavina sa Pš nije bilo jasnih i definisanih odvajanja izuzev P. P je skoro potpuno odvojena od svih ostalih uzoraka, čime je potvrđeno da je dodavanje Pš pšeničnom brašnu značajno uticalo na hemijski sastav mešavina brašna kao polazne sirovine za proizvodnju hleba.



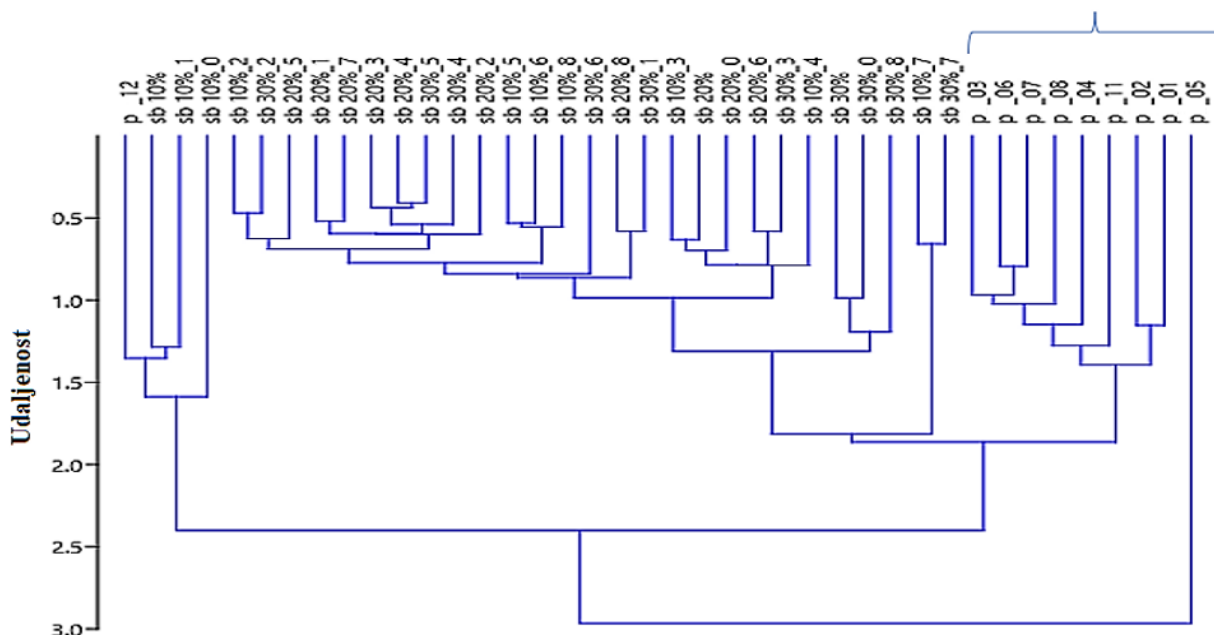
Slika 21. PCA analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom šljive i pšeničnog brašna: A) PCA analiza; B) dijagram opterećenja.
 Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive.

Dijagram opterećenja na Slici 21 B) i C) pokazao je koje su varijable na prvoj glavnoj komponenti imale najveći uticaj na razdvajanje uzoraka između uzoraka pšeničnog brašna i 10% mešavine i uzoraka 20% i 30% mešavina brašna sa pogačom šljive. Po prvoj komponenti najveći uticaj na razdvajanje imali su pikovi na pozicijama 1071 cm^{-1} , 923 cm^{-1} , 855 cm^{-1} , dok je najintezivniji pik sa negativnom vrednosti bio na poziciji 487 cm^{-1} . Trake na 446 cm^{-1} , 470 cm^{-1} i 487 cm^{-1} odgovarale su prisustvu skroba (Sivam i sar., 2013; Kizil i sar., 2002; Almeida i sar., 2010), tj. zastupljenosti i odnosu amiloze i amilopektina u mešavinama brašna; na 855 cm^{-1} , 923 cm^{-1} i 1071 cm^{-1} bile su karakteristične za prisustvo i različit položaj glikozidnih veza (Rodriguez i Kourouski, 2023; Liu i sar., 2004; Farber i sar., 2020), a 1104 cm^{-1} odgovarao je prisustvu arabinoksilana (Piot i sar., 2001). Oblast 1222 cm^{-1} , 1273 cm^{-1} , 1327 cm^{-1} i 1443 cm^{-1} mogla se pripisati prisustvu polisaharida (Holder, 2012; Almeida i sar., 2010; Boyaci i sar., 2015; Sivam i sar., 2013).

Po trećoj glavnoj komponenti (PC3) varijable koje najviše utiču na grupisanje uzoraka bile su na poziciji 483 cm^{-1} , a od negativnih vrednosti najintezivnije su bile na pozicijama 279 cm^{-1} i 391 cm^{-1} . Trake na 279 cm^{-1} , 391 cm^{-1} i 483 cm^{-1} mogle su se pripisati komponentama skroba (Farber i sar., 2020; Nakajima i sar., 2022; Almeida i sar., 2010), tj. amiloznom i amilopektinskom sadržaju u uzorcima. Postojanju disulfidnih veza u proteinskom sadržaju mešavina brašna odgovarala je traka na 586 cm^{-1} (Holder, 2012). Trake na 861 cm^{-1} postojanju disulfidnih veza u proteinskom sadržaju (Kizil i sar., 2002) mešavina brašna i 938 cm^{-1} karakteristične su bile za glikozidne veze (Rodriguez i Kourouski, 2023), njihov različit položaj i sadržaj ugljenih hidrata, a 1134 cm^{-1} odnosila se na arabinoksilane (Kniese i sar., 2021). Polisaharidi su se odnosili na trake primećene na 1263 cm^{-1} , 1342 cm^{-1} , 1437 cm^{-1} , Sivam i sar., 2013; Almeida i sar., 2010; Kniese i sar., 2021).

Klaster analiza

Klaster analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom šljive i pšeničnog brašna nije pokazala jasne razlike između Šb10, Šb20 i Šb30.



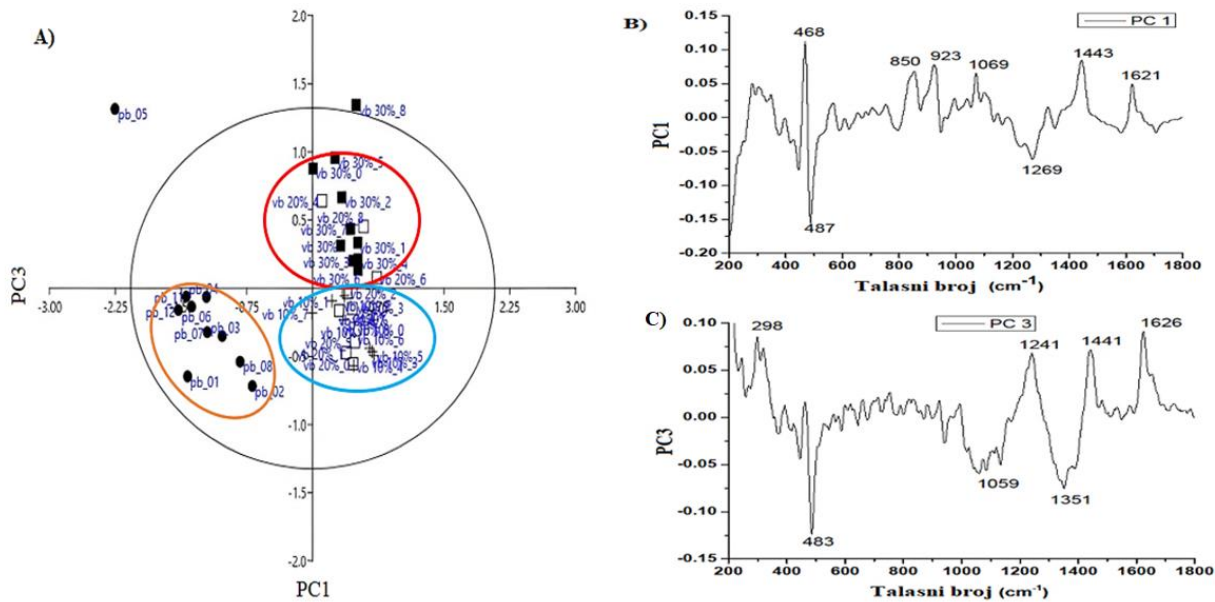
Slika 22. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačom dunje i pšeničnog brašna.

Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive.

Klaster kojem je pripadalo P jasno se izdvajao, kao što se moglo videti na Slici 22. Na ovaj način rezultati klastera potvrdili su rezultate PCA da nema jasnog rzdvajanja između mešavina brašna sa Pš, dok između mešavina i P postoji jasno odvajanje.

Mešavine sa pogačom višnje

Rezultati PCA analize mešavina brašna sa 10, 20, i 30% udelom pogače višnje prikazani su sa dve glavne komponente (PC1, PC3) na Slika 23 A). Po prvoj glavnoj komponenti (PC1) uzorci su podeljeni na grupu kojoj je pripadalo P, koje je bilo najudaljenije, i na grupu kojoj su pripadale mešavine Vb10, Vb20, Vb30. Treća glavna komponenta (PC3) podelila je uzorke na grupu u kojoj se izdvojila Vb30, dok su drugoj grupi pripadale P, Vb10 i Vb20.



Slika 23. PCA analiza Ramanovih spektara mešavina brašna sa pogačom višnje i pšeničnog brašna: A) PCA analiza; B) dijagram opterećenja.

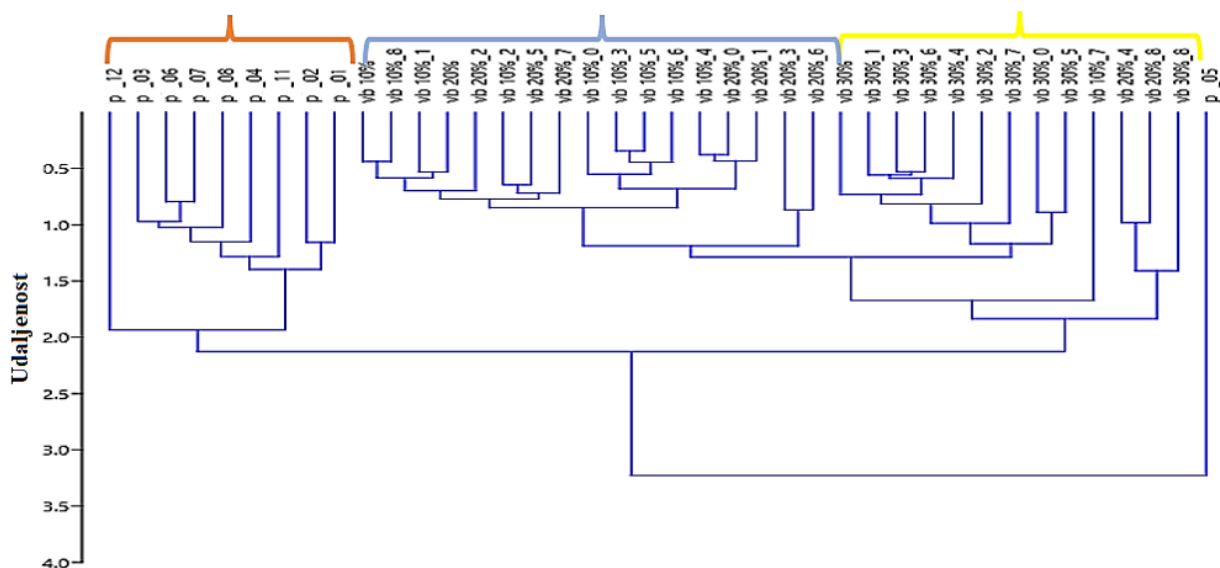
Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

Na Slici 23 B) prikazane su projekcije varijabli koje su najviše uticale na razdvajanje uzoraka. Na prvoj glavnoj komponenti (PC1) najveći uticaj na razdvajanje uzoraka na P i mešavine brašna sa Pv pokazala je traka na poziciji 468 cm^{-1} sa pozitivne strane, a na negativnoj strani dominirala je traka na poziciji 487 cm^{-1} . Trake na 468 cm^{-1} i 487 cm^{-1} odgovarale su prisustvu amiloze i amilopektina (Kizil i sar., 2002; Almeida i sar., 2010). Glikozidnim vezama i ugljenim hidratima odgovarale su trake na 850 cm^{-1} , 923 cm^{-1} i 1069 cm^{-1} (Farber i sar., 2020; Liu i sar., 2004; Farber i sar., 2019). Za polisaharide i verovatno određena dijetna vlakna odgovarale su trake na 1269 cm^{-1} i 1443 cm^{-1} (Sivam i sar., 2013; Kniese i sar., 2021), dok je traka na 1621 cm^{-1} ukazivala na sekundarnu strukturu proteina (Sadat i Joye, 2020).

Prema trećoj glavnoj komponenti (PC3), najveći uticaj na razdvajanje na mešavinu sa 30% pogače višnje i ostale uzorke pokazali su pikovi sa pozicijama na 298 cm^{-1} , 1241 cm^{-1} , 1441 cm^{-1} i 1626 cm^{-1} , a od negativnih vrednosti dominirao je pik na 483 cm^{-1} , dok su varijable na pozicijama 1059 cm^{-1} i 1351 cm^{-1} imale manji uticaj na razdvajanje (Slika 23 C)). Trake na 298 cm^{-1} i 483 cm^{-1} mogle odgovarati komponentama skroba (Nakajima i sar., 2022; Farber i sar., 2020). Trake na 1059 cm^{-1} pripisuju se glikozidnim vezama (Farber i sar., 2019) koje se mogu javiti i u dijetnim vlaknima, a za polisaharide ili dijetna vlakna ukazivala su trake na 1241 cm^{-1} , 1351 cm^{-1} i 1441 cm^{-1} (Sivam i sar., 2013; Holder, 2012; Kniese i sar., 2021). Traka na 1626 cm^{-1} mogla se smatrati markerom za proteinsku strukturu (Sadat i Joye, 2020) uzoraka. Na mešavine sa Pv najviše je uticao ugljenohidratni sadržaj, naročito sadržaj dijetnih vlakana.

Klaster analiza

Na Slici 24 prikazana je dendogramska hijerarhijska klaster analiza ispitivanih mešavina sa Pv u različitim udelima i P kao kontrolnog uzorka.



Slika 24. Hijerarhijska klaster analiza mešavina sa pogačem dunje i pšeničnog brašna.

Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

Dendogramska hijerarhijska klaster analiza pokazala je sličnost uzoraka Vb20 i Vb30 (označeno žutom) i između uzoraka Vb10 i Vb20 (obeleženo plavom bojom) na Slici 24. Klaster analiza pokazala je i da je P potpuno i jasno odvojeno od ostalih uzoraka, a najviše od Vb30, što se i pretpostavljalo jer su 30% mešavine usled svog hemijskog sastava značajno uticale naročito na sadržaj dijetnih vlakana mešavina brašna kao polaznih sirovina za proizvodnju hleba.

5.10. Funkcionalna svojstva pogača, mešavina i pšeničnog brašna

Funkcionalna svojstva su fizičko-hemijska svojstva hrane koja je neophodno poznavati kako bi moglo da se predvidi i proceni kako se proteini, masti, ugljeni hidrati (skrob i šećeri) i vlakna mogu ponašati u specifičnim sistemima hrane, kao i da pokažu da li se isti mogu koristiti kao zamena konvencionalnih izvora ovih grupa jedinjenja (Awuchi i sar., 2019). S obzirom na to da su pogače ispitivane sa ciljem da zamene izvesnu količinu pšeničnog brašna u proizvodnji pekarskih proizvoda, njihova funkcionalna svojstva su ispitana i prikazana u Tabeli 15, kako bi se uvidele mogućnosti ove primene.

Kapacitet zadržavanja vode (KZV) predstavlja količinu vode koju brašno apsorbuje kako bi se postigla željena konzistencija testa. Veoma niska ili prekomerna apsorpcija vode može negativno uticati na kvalitet gotovih prehrambenih proizvoda (Awuchi i sar., 2019).

Vrednosti KZV u ispitivanim uzorcima bile su $2,45 \pm 0,03$ g/g (Pv), $3,52 \pm 0,01$ g/g (Pš) i $3,77 \pm 0,24$ g/g (Pd). Uzorci Pd i Pš statistički značajno su se razlikovale od Pv koja je imala najnižu vrednost KZV. Sva tri uzorka pogača imala su znatno veće vrednosti KZV od P ($0,70 \pm 0,01$ g/g). Pd imala je najveće vrednosti KZV, tj. Pd je u najvećoj meri apsorbivala vodu. U zavisnosti od vrste finalnog pekarskog proizvoda, razlikuju se optimalne vrednosti ovog svojstva.

Vrednosti KZV vezuju se i za sadržaj proteina u uzorku, a utiču na teksturu i viskozitet gotovih prehrambenih proizvoda (Deng i sar., 2019). Na KZV mogu uticati i parametri kao što su veličina i oblik samlevenih čestica pogača, hidrofilne i hidrofobne interakcije i prisustvo lipida, ugljenih hidrata i aminokiselina (Savić i Savić-Gajić, 2022). U literaturi mogu se pronaći vrednosti za različite vrste brašna: leblebije 1,0 g/g, sočiva 1,31 g/g, crvenog sočiva 0,72 g/g, kvinoje 1,43 g/g, amaranta 1,58 g/g,

ovsa 1,60 g/g (Badia-Olmos i sar., 2023), koje su mnogo niže u odnosu na vrednosti KZV u ispitivanim pogačama.

Tabela 15. Izmerena funkcionalna svojstva pogača i mešavina brašna

Uzorci	Kapacitet zadržavanja vode (g/g)	Kapacitet zadržavanja ulja (g/g)	Kapacitet bubrenja (cm ³ /g)
P	0,70±0,01 ^g	0,93±0,00 ^a	1,72±0,05 ^k
Pd	3,77±0,24 ^a	0,72±0,01 ^{def}	20,53±0,03 ^a
Pš	3,52±0,01 ^a	0,65±0,00 ^f	7,98±0,02 ^d
Pv	2,45±0,03 ^b	0,89±0,03 ^a	6,59±0,13 ^f
Db10	1,50±0,46 ^{de}	0,76±0,02 ^{cd}	7,36±0,11 ^e
Db20	1,85±0,32 ^{cd}	0,78±0,02 ^{bc}	9,81±0,09 ^c
Db30	2,25±0,25 ^{bc}	0,78±0,01 ^{bc}	13,62±0,22 ^b
Šb10	0,90±0,01 ^{fg}	0,71±0,00 ^{def}	2,89±0,01 ^h
Šb20	1,13±0,01 ^{efg}	0,74±0,00 ^{cde}	3,38±0,06 ^g
Šb30	1,44±0,00 ^{def}	0,94±0,01 ^a	2,76±0,01 ^h
Vb10	0,61±0,00 ^g	0,69±0,02 ^{ef}	2,41±0,00 ⁱ
Vb20	0,81±0,01 ^g	0,83±0,05 ^b	2,05±0,05 ^j
Vb30	1,03±0,01 ^{efg}	0,79±0,02 ^{bc}	1,87±0,00 ^{jk}

Rezultati su izraženi na suvu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tukey's testa. Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Pd**-pogača semena dunje; **Pš**-pogača semena šljive; **Pv**-pogača semena višnje; **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Šb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Šb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Šb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

U radu Bárta i sar. (2021) mogli su se naći podaci ovog parametra za uljane pogače: lana (4,15 g/g), konoplje (1,67 g/g), mlečnog čička (2,73 g/g), maka (2,67 g/g), bundeve (1,45 g/g), uljane repice (2,42 g/g), šafranike (1,56 g/g), suncokreta (2,66 g/g). Vrednosti KZV za uzorak Pv bile su slične vrednostima uljane pogače mladog čička, maka, uljane repice i suncokreta. Pd i Pš imale su veće vrednosti istog parametra od nabrojanih pogača, izuzev od pogače lana. De Escalada Pla i sar. (2010) objavili su vrednosti KZV u proizvodima bogatim vlaknima dobijenih od nusproizvoda dunje, sušenjem na 80 °C tokom 4 h (13 g/g), vodenim ekstraktima (15 g/g) ili etanolnim ekstraktima (19 g/g) pre sušenja na 30 °C tokom 24 h. Vrednosti su bile mnogo više, što se može objasniti time što su u njihovom radu bili ispitivani izolati i ekstrakti različitih delova nusproizvoda prerade celog ploda dunje. Izolat proteina iz semena dunje prema radu Deng i sar. (2019) imao je vrednost KZV 4,64 g/g. Vrednost KZV u njihovom istraživanju bila je veća od vrednosti KZV za Pd u ovom istraživanju što se može objasniti vrstom ispitivanog uzorka i metodom određivanja. Yousuf i Maktedar (2023) objavili su vrednost KZV sluzi semena dunje koji je iznosio 92,50 g/g. Ovako veliko variranje moglo se objasniti različitim tipom uzorka, različitim hemijskim sastavom, metodom određivanja i sl. U radu Savić i Savić-Gajić (2022) vrednosti KZV za pogače šljive dobijene ekstrakcijom različitim rastvaračima bile su u intervalu 1,38 g/g do 1,61 g/g, što je skoro dva puta niže od uljane pogače semena šljive u ovom ispitivanju. Vrednosti KZV za izolat proteina semena višnje bila je 3,07 g/g (Kasapoğlu i sar., 2021), dok je u radu Çelik i sar. (2019) vrednost KZV za isti tip uzorka bila 2,42 g vode/g.

Postoji povezanost između sadržaja dijetnih vlakana i vrednosti KZV, u smislu da veći sadržaj dijetnih vlakana znači i veći KZV (Berggren, 2017). Dobijene vrednosti mogle su se objasniti tvrdnjama da KZV zavisi od sadržaja hidrofилnih jedinjenja. Najveći KZV imala je Pd, kod koje je određen i najviši sadržaj proteina i dijetnih vlakana. Bliske vrednosti KZV imala je Pš, koja je po

hemijskom sastavu bila približna Pd. Odstupala je Pv koja je i sa stanovišta hemijskog sastava imala najniže vrednosti, izuzev ugljenih hidrata.

Kapacitet zadržavanja ulja (KZU) predstavlja sposobnost interakcije uzorka sa lipidima. Ovo svojstvo utiče na ukus, rok trajanja i svojstva emulgovanja gotovih proizvoda. Faktori koji utiču na KZU su vrsta proteina, upotrebljeno ulje u analizi i hidrofobnost (Deng i sar., 2019).

Vrednosti KZU ispitivanih uzoraka pogača bio je $0,65 \pm 0,001$ g/g (Pš), $0,72 \pm 0,01$ g/g (Pd) i $0,89 \pm 0,03$ g/g (Pv). Između ispitivanih uzoraka pogača postojala je statistički značajna razlika. Sve tri vrste pogača imale su niži KZU u odnosu na P ($0,93 \pm 0,001$ g/g). Pv je imala najveću sposobnost zadržavanja ulja, tj. imala je najveći uticaj na svojstvo ukusa i rok trajanja gotovih pekarskih proizvoda, u ovom slučaju hleba. Pv imala je najniži sadržaj proteina i ugljenih hidrata, a najviši sadržaj lipida u svom hemijskom sastavu, dok je Pš imala najniži sadržaj lipida čime se potvrdila pretpostavka da sastav i sadržaj lipida utiču na KZU kao funkcionalno svojstvo.

De Escalada Pla i sar. (2010) objavili su vrednosti KZU u proizvodima bogatim vlaknima dobijenih od nusproizvoda dunje, sušenjem na 80 °C tokom 4 h ($1,26$ g/g), vodenim ekstraktima ($1,59$ g/g) ili etanolnim ekstraktima ($1,8$ g/g) pre sušenja na 30 °C tokom 24 h. Deng i sar. (2019) objavili su rezultate KZU za izolat proteina iz semena dunje čija je vrednost iznosila $10,77$ g/g. Funkcionalna svojstva sluzi semena dunje se mogu naći u radu Yousuf i Maktedar (2023), gde je KZU $19,30$ g/g. U radu Savić i Savić-Gajić (2022) prikazani su bili podaci KZU za pogaču semena šljive, dobijenu ekstarkcijom različitim rastvaračima, čije su vrednosti bile od $1,10$ g/g do $1,98$ g/g. U literaturi mogle su se pronaći vrednosti KZU za izolat proteina semena višnje od $3,56$ g/g (Kasapoğlu i sar., 2021) što je znatno više od KZU za Pv u ovom istraživanju.

Dobijene vrednosti KZU ispitivanih pogača bile su u saglasnosti sa radom Bárta i sar. (2021) koji su utvrdili vrednosti KZU za uljane pogače: lana ($0,97$ g/g), konoplje ($0,77$ g/g), mlečnog čička ($0,83$ g/g), maka ($0,91$ g/g), bundeve ($0,65$ g/g), uljane repice ($0,90$ g/g), šafranike ($0,74$ g/g), suncokreta ($0,86$ g/g).

Kapacitet bubrenja (KB) je zapremina u mililitrima koja je potrebna za bubrenje jednog grama (celog ili usitnjenog) prehrambenog proizvoda pod određenim uslovima. Kapacitet bubrenja može se definisati i kao mera sposobnosti skroba da apsorbuje vodu i bubri. Smatra se funkcionalnim svojstvom nekih prehrambenih proizvoda, npr. pekarskih proizvoda. U pitanju je pokazatelj postojanja nekovalentne veze između molekula u granulama skroba i jedan je od faktora odnosa α -amiloze i amilopektina (Iwe i sar., 2016). Na kapacitet bubrenja brašna utiču veličine čestica, raznovrsnost uzoraka i način obrade (Awuchi i sar., 2019).

Vrednosti KB ispitivanih uzoraka pogača bile su $6,59 \pm 0,13$ cm³/g (Pv), $7,98 \pm 0,02$ cm³/g (Pš) i $20,53 \pm 0,03$ cm³/g (Pd). De Escalada Pla i sar. (2010) objavili su vrednosti KB u proizvodima bogatim vlaknima dobijenih od nusproizvoda dunje, sušenjem na 80 °C tokom 4 h ($6,40$ cm³/g), vodenim ekstraktima ($7,1$ cm³/g) ili etanolnim ekstraktima ($11,6$ cm³/g) pre sušenja na 30 °C tokom 24 h. Drugi literaturni podaci o ovom funkcionalnom svojstvu za pogaču dunje, šljive i višnje ili nusproizvodima njihove prerade bili su nedostupni.

Chandra i Samsheer (2013) odredili su KB u različitim vrstama brašna: pšenično $17,60\%$, pirinčano $15,20\%$, zeleno gram brašno $19,80\%$ i krompirovo $42,90\%$. Pogače semena susama prema Malaviya i Yadav (2022) imale su vrednosti KB od 1 mL/g do $2,07$ mL/g za različite vrste susama. KB u pogači semena suncokreta iznosio je $3,19\%$, prema Petraru i sar. (2021).

Ispitivani uzorci pogača imali su znatno veće vrednosti KB od P ($1,72 \pm 0,05$ cm³/g). Potvrđena je bila pretpostavka da hemijski sastav utiče na ovo funkcionalno svojstvo, s obzirom na to da vrednosti KB rastu sa povećanjem sadržaja ugljenih hidrata u uzorcima. Prednjačila je Pd, dok je Pv imala najniži KB što se poklapalo sa hemijskim sastavom. Pd imala je najveći, dok je Pv imala najniži sadržaj skroba. Sadržaj skroba varira u zavisnosti od biljnih vrsta, osim toga odnos amiloze i amilopektina može da varira, te se značajne razlike u vrednosti KB mogu i time objasniti.

Vrednosti KZV mešavina brašna rastao je sa povećanjem udela pogače. Ovaj parametar za mešavine brašna kretao se od $0,61 \pm 0,001$ g/g (Vb10) do $2,25 \pm 0,25$ g/g (Db30). Mešavine sa pogačom dunje imale su najveće vrednosti, dok su mešavine sa pogačom višnje imale najniže vrednosti, što se moglo povezati sa hemijskim sastavom pogača i odnosom udela pšenično brašno : odgovarajuća uljana pogača. Dodavanjem ispitivanih uljanih pogača potvrđeno je bilo da se poboljšavaju određena funkcionalna svojstva brašna, čime će proizvodnja pekarskih proizvoda od određenih ispitivanih mešavina brašna pozitivno uticati na kvalitet, naročito teksturu gotovih proizvoda.

Kod mešavina brašna KZU kretao se od $0,69 \pm 0,02$ g/g (Vb10) do $0,94 \pm 0,01$ g/g (Šb30). Sa povećanjem udela pogače u mešavinama uglavnom je rastao i KZU, osim u slučaju dodavanja pogače višnje gde je primećeno odstupanje, tj. Vb20 imala je najveću vrednost ($0,83 \pm 0,05$ g/g), a Vb30 nešto nižu ($0,79 \pm 0,02$ g/g). Ovo odstupanje moglo se objasniti uticajem ljudskog faktora i trenutnih uslova prilikom izvođenja same metode. Između mešavina sa Pš i Pv postojala je statistički značajna razlika. Sve vrednosti KZU bile su niže od P ($0,93 \pm 0,001$ g/g). Dodavanje pogača pšeničnom brašnu uticalo je na funkcionalne karakteristike tako što je redukovalo vrednosti KZU u odnosu na pšenično brašno. To je značilo da se dodavanjem pogača smanjila sposobnost interakcije hemijskih jedinjenja uzoraka sa lipidima, u odnosu na pšenično brašno, što će uticati na kvalitet gotovih pekarskih proizvoda i rok trajanja.

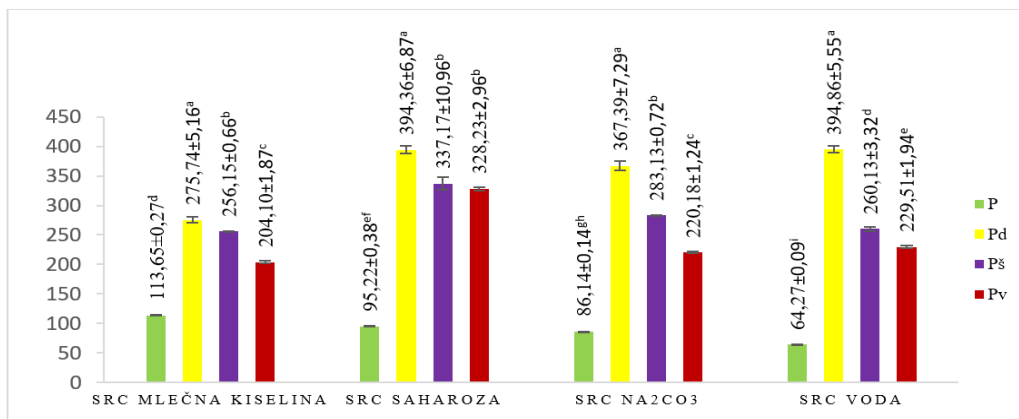
Vrednosti KB ispitivanih mešavina kretale su se od $1,87 \pm 0,001$ cm³/g (Vb30) do $13,62 \pm 0,22$ cm³/g (Db30). KB mešavina sa Pd rastao je sa povećanjem udela pogače. Vrednosti su značajno bile veće od P ($1,72 \pm 0,05$ cm³/g) i između ova četiri tipa uzoraka postojala je statistički značajna razlika na nivou značajnosti 0,05. Kod mešavina sa Pš bilo je primećeno odstupanje, tj. Šb20 imala je najveći KB, a Šb30 najniži KB. Tri mešavine sa Pš statistički su se značajno razlikovale od P. Vrednosti KB su se kod mešavina sa Pv smanjivale sa povećanjem udela dodate pogače. Između mešavina sa Pv izdvojila se Vb10. Mešavine Vb10 i Vb20 razlikovale su se od P. Niske vrednosti KB mogle su se tumačiti visokim sadržajem amiloze u skrobu i obrnuto.

Variranja u rezultatima mogla su biti posledica različitih metoda određivanja, vrste uzorka, uslova skladištenja, načina dobijanja pogače, granulacije ispitivanog uzorka, hemijskog sastava početnih uzoraka itd.

5.11. Tehnološke karakteristike pogača, mešavina i pšeničnog brašna

Sposobnost zadržavanja rastvarača (SRC) je solvacioni test za brašna koji koristi veliki višak rastvarača i zasniva se na principu bubrenja polimernih mreža u dijagnostičkim rastvaračima. SRC daje informacije o stepenu razvoja mreže i kompatibilnosti sa rastvaračima, koje se koriste za predviđanje funkcionalnog doprinosa svake polimerne komponente brašna (Kweon i sar., 2011).

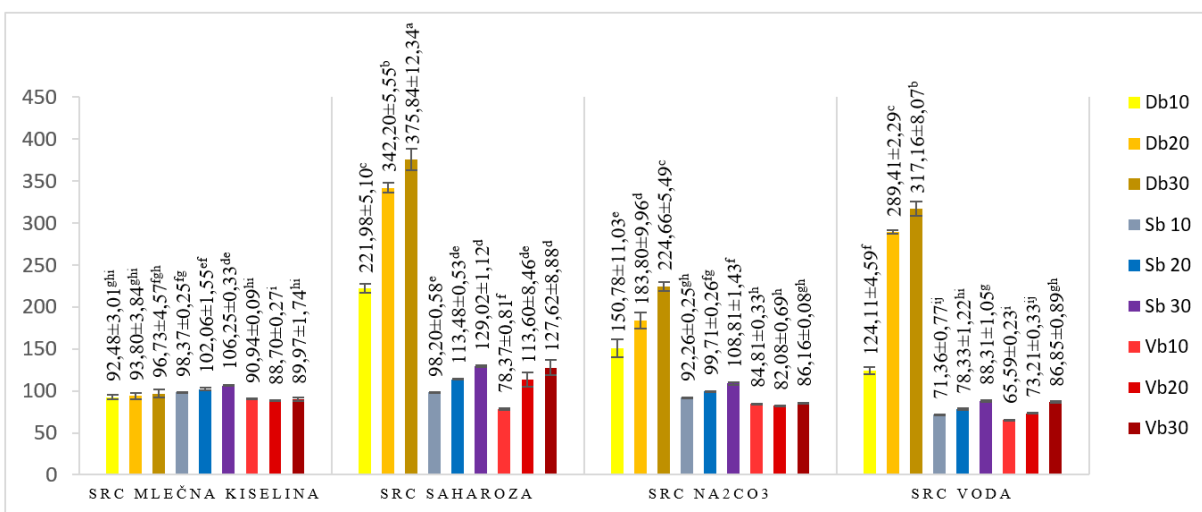
Voda je referentni SRC rastvarač, zato što može da hidrira i utiče na bubrenje sve tri funkcionalne polimerne komponente brašna u različitoj meri. Vrednost SRC vode bila je ekvivalentna sa KZV. Svaki od preostala tri SRC rastvarača bolji je i kompatibilniji po pitanju specifičnog polimera brašna na koji deluje: vodeni rastvor mlečne kiseline za glutenine, vodeni rastvor Na₂CO₃ za amilopektin u oštećenom skrobu, i vodeni rastvor saharoze za pentozane. Vrednost SRC mlečne kiseline predstavlja meru kvaliteta i funkcionalnosti glutena. Vrednosti SRC sva četiri rastvarača u ispitivanim pogačama i pšeničnom brašnu prikazane su na Slici 25, a vrednosti za ispitivane mešavine brašna na Slici 26.



Slika 25. Grafički prikaz SRC vrednosti za ispitivane pogače.

Rezultati su izraženi na suhu materiju. Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tukey's testa. Skraćenice: **P**-belo pšenično brašno; **Pd**-pogača semena dunje; **Pš**-pogača semena šljive; **Pv**- pogača semena višnje.

Vrednosti SRC mlečne kiseline u ispitivanim pogačama bile su 204,10±1,87 (Pv), 256,15±0,66 (Pš), 275,74±5,16 (Pd). Pogače su imale znatno više, statistički značajne, vrednosti od P (113,65±0,27). Optimalne vrednosti ovog parametra se razlikuju u zavisnosti od namene brašna. SRC vrednosti saharoze bile su od 328,23±2,96 (Pv), 337,17±10,96 (Pš) i 394,36±6,87 (Pd). Sve tri pogače su imale skoro tri puta veće vrednosti od P (95,22±0,38). Vrednosti SRC Na₂CO₃ bile su 220,18±1,24 (Pv), 283,13±0,72 (Pš) i 367,39±7,29 (Pd). Sve tri pogače imale su značajno veće vrednosti od P (86,14±0,14). Vrednosti SRC vode bile su 229,51±1,94 (Pv), 260,13±3,32 (Pš) i 394,86±5,55 (Pd), što je bilo znatno više i statistički značajno u odnosu na P (64,27±0,09). Uzorak Pd imao je najveće vrednosti SRC sve četiri vrste rastvarača, dok je Pv u ovom smislu pokazala najmanje vrednosti. Uzorak Pd imao je najveće koncentracije glutenina, pentozana i oštećenog skroba. U literaturi nije bilo dostupnih podataka o ovom parametru kvaliteta za uljane pogače.



Slika 26. Grafički prikaz SRC vrednosti za ispitivane mešavine brašna.

Rezultati su izraženi na suhu materiju. Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tukey's testa. Skraćenice: **Db10**-pšenično brašno sa 10% pogače dunje; **Db20**-pšenično brašno sa 20% pogače dunje; **Db30**-pšenično brašno sa 30% pogače dunje; **Sb10**-pšenično brašno sa 10% pogače šljive; **Sb20**-pšenično brašno sa 20% pogače šljive; **Sb30**-pšenično brašno sa 30% pogače šljive; **Vb10**-pšenično brašno sa 10% pogače višnje; **Vb20**-pšenično brašno sa 20% pogače višnje; **Vb30**-pšenično brašno sa 30% pogače višnje.

SRC mlečne kiseline u mešavinama bila je između $88,70 \pm 0,27$ (Vb20) i $106,25 \pm 0,33$ (Šb30). Vrednosti su se povećavale sa povećanjem udela pogače u mešavinama, dok je kod mešavina sa Pv najniži sadržaj SRC mlečne kiseline bio kod mešavine Vb20, a ne kod Vb10. Mešavine su i pored obogaćivanja uljanim pogačama imale niže vrednosti SRC mlečne kiseline od P ($64,27 \pm 0,09$).

SRC saharoze u mešavinama kretala se od $78,37 \pm 0,81$ (Vb10) do $375,84 \pm 12,34$ (Db30). I u ovom slučaju uočljiv je bio trend rasta, tj. sa povećanjem udela pogače raslo je i ovo tehnološko svojstvo. Najveće vrednosti bile su zapažene kod mešavina sa Pd, dok su najmanje vrednosti bile zapažene kod mešavina sa Pv. To je značilo da su mešavine sa Pd imale najveći sadržaj pentozana, a najmanji mešavine sa Pv. Statistički značajna razlika bila je primećena između 10% mešavina sa Pš i Pv. Mešavine sa Pd međusobno su se statistički značajno razlikovale, kao i u odnosu na druge mešavine. Sve mešavine imale su značajno veće vrednosti u odnosu na P, izuzev Vb10 kod koje je bila primećena najniža vrednost.

SRC Na_2CO_3 imao je vrednosti u ispitivanim mešavinama od $82,08 \pm 0,69$ (Vb20) do $224,66 \pm 5,49$ (Db30). Sa povećanjem udela pogača, rasle su i vrednosti ovog tehnološkog svojstva. Izuzetak su bile mešavine sa Pv, kod kojih je mešavina Vb20 imala najnižu vrednost. Mešavine sa Pd imale su najveći sadržaj oštećenog skroba u svom sastavu, a mešavine sa Pv najniži. Između mešavina sa Pš i Pd i njihovih različitih udela u mešavinama postojala je statistički značajna razlika pojedinačno gledano i u poređenju jedne vrste pogača sa drugom. Obe vrste mešavina, podrazumevajući i različite udele pogača, imale su veće vrednosti ovog parametra u odnosu na P.

SRC vode prati trend porasta tj. sa povećanjem udela pogača u mešavinama rasle su vrednosti SRC, te je Db30 imala najveći SRC ($317,16 \pm 8,07$), a Vb10 najniži ($65,59 \pm 0,23$), što se moglo objasniti većim sadržajem glutenina. Između mešavina sa različitim udelima Pd postojala je statistički značajna razlika, takođe i između ovih mešavina u poređenju sa P. Mešavine sa različitim udelima Pš i Pv statistički su se značajno razlikovale od mešavina sa različitim udelima Pd, a sve mešavine su se razlikovale od P.

Na osnovu dobijenih rezultata mešavine brašna sa različitim udelom pogača imale su veće vrednosti ispitivanih parametara tehnološkog kvaliteta (SRC za četiri upotrebljena dijagnostička rastvarača) u odnosu na belo pšenično brašno. Visoke SRC vrednosti (za vodu i saharozu) i niže vrednosti SRC (mlečne kiseline i Na_2CO_3) ukazivale su na odgovarajući kvalitet potreban za proizvodnju pekarskih proizvoda. U literaturi je postojao nedostatak dostupnih podataka na ovu temu kada se radi o vrsti uzoraka.

5.12. PCA pogača, mešavina i pšeničnog brašna

Za ispitivanje opravdanosti primene PCA analize, na datom setu podataka, definisane su bile vrednosti dva testa: Bartlett-ov test sferičnosti i Kajzer-Mejer-Olkinov (KMO) pokazatelj adekvatnosti uzorka. U ovom istraživanju vrednost pokazatelja KMO iznosila je 0,62, te je veća je od 0,6, a vrednost pokazatelja Bartlett-ovog testa bila je značajna ($p=0,000$) (Tabela 16). Stoga su oba testa ukazivala na opravdanost primene PCA analize.

Tabela 16. KMO i Bartlett-ov test

Kaiser-Meyer-Olkin pokazatelj adekvatnosti uzorka	0,622
Bartlett-ov test sferičnosti	16618,918
Approx. Chi-Square	654
df	,000
Sig	

Za proveru prikladnosti određenog skupa podataka za primenu PCA analize u velikoj meri ukazivala je i jačina korelacione veze ulaznih promenljivih, zbog čega je bila definisana korelaciona matrica polaznih varijabli (Tabela 17). Poželjno je bilo da svaka varijabla ima bar jedan koeficijent korelacije

sa apsolutnom vrednošću većom od 0,3, a to je minimalna vrednost koju su Kinner i Gray predložili kao kriterijum za uključivanje varijable u analizu. Definisana korelaciona matrica ispitivane 22 promenljive potvrdila je prikladnost i opravdanost podataka za sprovođenje postupaka PCA analize.

Tabela 17. Korelaciona matrica ispitivanih varijabli brašna

	Correlation Matrix																					
	vaga	pepeo	proteini	masti	ugljenhidr	skrob	NDF	ADF	ADL	hemiceluloza	celuloza	KZV	KZU	KV	mlecnakis	saharoz	Na2CO3	Voda	TPC	DPPH	ABTS	FRP
vaga	1.000	-.762	-.789	-.809	.833	.842	.825	-.569	-.411	.824	-.597	-.519	.091	-.206	-.764	-.230	-.465	-.281	-.584	-.809	-.570	-.449
pepeo	-.762	1.000	.997	.797	-.981	-.982	-.980	.787	.420	-.983	.881	.927	-.259	.599	.949	.718	.864	.703	.786	.826	.793	.721
proteini	-.789	.997	1.000	.811	-.989	-.984	-.985	.762	.396	-.986	.864	.907	-.234	.561	.949	.691	.840	.679	.800	.853	.804	.731
masti	-.809	.797	.811	1.000	-.931	-.881	-.898	.550	.475	-.891	.501	.608	.062	.295	.715	.514	.559	.451	.407	.711	.436	.335
ugljenhidr	.833	-.961	-.969	-.931	1.000	.989	.996	-.711	-.451	.994	-.753	-.827	.122	-.479	-.894	-.655	-.764	-.619	-.670	-.831	-.686	-.598
skrob	.842	-.982	-.984	-.881	.989	1.000	.995	-.775	-.485	.998	-.827	-.868	.220	-.547	-.926	-.671	-.812	-.658	-.705	-.836	-.720	-.626
NDF	.825	-.980	-.985	-.898	.996	.995	1.000	-.730	-.435	.999	-.793	-.858	.157	-.506	-.913	-.670	-.791	-.640	-.718	-.837	-.733	-.646
ADF	-.569	.787	.762	.550	-.711	-.775	-.730	1.000	.826	-.761	.930	.876	-.233	.900	.807	.774	.918	.850	.410	.586	.403	.290
ADL	-.411	.420	.396	.475	-.451	-.485	-.435	.826	1.000	-.470	.574	.517	.010	.758	.447	.593	.627	.679	-.132	.281	-.108	-.274
hemiceluloza	.824	-.983	-.986	-.891	.994	.998	.999	-.761	-.470	1.000	-.815	-.873	.175	-.541	-.924	-.688	-.814	-.665	-.707	-.838	-.723	-.631
celuloza	-.597	.881	.864	.501	-.753	-.827	-.793	.930	.574	-.815	1.000	.947	-.369	.834	.888	.760	.941	.830	.692	.704	.677	.600
KZV	-.519	.927	.907	.608	-.827	-.868	-.858	.876	.517	-.873	.947	1.000	-.309	.827	.865	.889	.979	.890	.682	.682	.689	.631
KZU	.091	-.259	-.234	.062	.122	.220	.157	-.233	.010	.175	-.369	-.309	1.000	-.324	-.264	-.210	-.331	-.267	-.288	-.203	-.337	-.366
KV	-.206	.599	.561	.295	-.479	-.547	-.506	.900	.758	-.541	.834	.827	-.324	1.000	.609	.877	.910	.940	.233	.381	.259	.172
mlecnakis	-.764	.949	.949	.715	-.894	-.926	-.913	.807	.447	-.924	.888	.885	-.264	.609	1.000	.636	.857	.660	.763	.893	.782	.662
saharoz	-.230	.718	.691	.514	-.655	-.671	-.670	.774	.593	-.688	.760	.889	-.210	.877	.636	1.000	.915	.971	.347	.451	.410	.330
Na2CO3	-.465	.864	.840	.559	-.764	-.812	-.791	.918	.627	-.814	.941	.979	-.331	.910	.857	.915	1.000	.937	.555	.665	.591	.491
Voda	-.281	.703	.679	.451	-.619	-.658	-.640	.850	.679	-.665	.830	.890	-.267	.940	.660	.971	.937	1.000	.349	.479	.398	.299
TPC	-.584	.786	.800	.407	-.670	-.705	-.718	.410	-.132	-.707	.692	.682	-.288	.233	.763	.347	.555	.349	1.000	.728	.960	.970
DPPH	-.809	.826	.853	.711	-.831	-.836	-.837	.586	.281	-.838	.704	.692	-.203	.381	.893	.451	.665	.479	.728	1.000	.754	.621
ABTS	-.570	.793	.804	.436	-.686	-.720	-.733	.403	-.108	-.723	.677	.899	-.337	.259	.782	.410	.591	.398	.960	.754	1.000	.927
FRP	-.449	.721	.731	.335	-.598	-.626	-.646	.290	-.274	-.831	.600	.831	-.366	.172	.662	.330	.491	.299	.970	.621	.927	1.000

Pošto je utvrđeno da je korelaciona matrica podataka bila pogodna za primenu PCA analize, ono što se dalje nametalo bilo je pitanje izdvajanja broja komponenti (faktora). Najosetljiviji, pa i najvažniji problem u ovoj metodi multivartijacione analize bilo je određivanje optimalnog broja latentnih dimenzija kako bi obezbedili minimalan gubitak informacija koje su sadržane u originalnoj korelacionoj matrici podataka. Ta odluka uvek uključuje neku vrstu kompromisa između ekstrahovanja što je moguće manjeg broja komponenti naspram originalne korelacione matrice podataka. S tim u vezi, određivanju broja zajedničkih komponenti moralo se pristupiti sa puno pažnje, jer je taj izbor u velikoj meri određivao kvalitet izvedenih zaključaka.

Tačna kvantitativna osnova za odlučivanje o broju komponenti za ekstrakciju, nije razvijena. U praksi, većina istraživača retko koristi samo jedan kriterijum u determinisanju broja komponenti za ekstrahovanje. Umesto toga, inicijalno se koristi kriterijum kao što je latentni koren, kao smernica za prvi pokušaj u interpretaciji. Jedan od najpoznatijih kriterijuma je *Kajzerov kriterijum* ili *kriterijum jediničnog*, odnosno latentnog korena prema kojem se u modelu zadržava onoliko zajedničkih komponenti koliko ima karakterističnih korena uzoračke korelacione matrice koji su veći od jedinice. Dakle, od značaja su bile samo komponente čija je karakteristična vrednost bila 1 ili više. U Tabelama 18 i 19 prikazane su te informacije.

Tabela 18. Ukupno objašnjena varijansa

Komponenta	Početne sopstvene vrednosti			Ekstrakcija suma učitanih kvadrata		
	Ukupno	% od varijanse	Kumulativno%	Ukupno	% od varijanse	Kumulativno%
1	15,314	69,610	69,610	15,314	69,610	69,610
2	3,096	14,074	83,684	3,096	14,074	83,684
3	1,883	8,558	92,243	1,883	8,558	92,243
4	,775	3,521	95,763			
5	,513	2,331	98,094			
6	,245	1,113	99,207			
7	,092	,416	99,623			
8	,061	,277	99,900			
9	,014	,062	99,963			
10	,005	,023	99,986			
11	,003	,011	99,997			
12	,001	,003	100,000			
13	8,325E-16	3,784E-15	100,000			
14	5,732E-16	2,605E-15	100,000			
15	3,045E-16	1,384E-15	100,000			
16	2,208E-16	1,003E-15	100,000			
17	1,305E-16	5,933E-16	100,000			
18	3,234E-17	1,470E-16	100,000			
19	-1,888E-16	-8,583E-16	100,000			
20	-2,192E-16	-9,962E-16	100,000			
21	-3,544E-16	-1,611E-15	100,000			
22	-6,741E-16	-3,064E-15	100,000			

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti.

Samo prve tri komponente imale su karakteristične vrednosti iznad 1 (15,314, 3,096 i 1,883). Ove komponente su objasnile ukupno 92,243% varijansi. Prva komponenta objasnila je 69,61% varijansi posmatranih promenljivih, druga 14,074% i treća 8,558% varijansi posmatranih promenljivih kao što je prikazano u Tabeli 19.

Tabela 19. Kriterijum za broj komponenti za ekstrakciju

Faktori	Karakteristični koreni	Procenat ukupnog variranja	Kumulanta (%)
1	15,314	69,610	69,610
2	3,096	14,074	83,684
3	1,883	8,558	92,243

Cattelijev scree dijagram (Scree plot) (Slika 27) je potvrdio Kajzerov kriterijum i na osnovu njega su takođe preporučene tri komponente. Naime, Cattell preporučuje da se zadrže sve komponente iznad lakta, tj. prevoja dijagrama, pošto one najviše doprinose tumačenju varijanse u skupu podataka. Ova konstatacija je samo još jednom ukazala na to da je PCA analiza tehnika istraživanja podataka koja je prepuštena sudu istraživača, a ne strogim statističkim pravilima, te se i ovaj izdvojeni broj komponenti može pomerati napred ili nazad.



Slika 27. Cattelijev scree dijagram posmatranih komponenti

U daljoj proceduri PCA analize bile su posmatrane tri izdvojene glavne komponente i za njih su bila izračunata težinska opterećenja promenljivih nerotirane matrice (Tabela 20). Naime, u Tabeli 16 prikazan je sadržaj svake promenljive za svaku komponentu. Prva komponenta se mogla posmatrati kao najbolji linearni odnos posmatranih varijabli. Druga komponenta je definisana kao druga najbolja linearna kombinacija varijabli, zavisna od ograničenja da je bila ortogonalna u odnosu na prvu komponentu. Ovde su komponente bile izdvojene po njihovoj važnosti i gotovo svaka varijabla u njoj imala je visoko opterećenje. Svaka sledeća komponenta objašnjavala je sve manji deo varijanse. Nerotirano faktorsko rešenje ostvarilo je cilj redukcije podataka, ali nije pružilo informaciju koju svaka varijabla ima u definisanju svake komponente. Zato je rotacija bila poželjna, jer se tako poboljšavala interpretacija putem redukovanja nekih dvosmislenosti koje su često pratile inicijalno nerotirano rešenje. Dakle, poželjno je bilo izvršiti rotiranje komponenti, jer se time varijansa preraspodelila sa komponente koja je prva po redu, na one kasnije. Tako dobijena jednostavnija struktura, koja se lakše tumačila, a da se pri tom nije promenila ukupna varijansa.

Tabela 20. Matrica faktorskih opterećenja pre rotiranja

	Komponenta		
	1	2	3
vlaga	-,714	,307	,457
pepeo	,988	-,117	-,023
proteini	,983	-,160	-,052
masti	,767	-,107	-,568
ugljeni hidrati	-,940	,141	,271
skrob	-,970	,108	,183
NDF	-,959	,151	,202
ADF	,853	,445	-,009
ADL	,515	,736	-,361
hemiceluloza	-,969	,113	,192
celuloza	,925	,175	,221
KZV	,954	,170	,202
KZU	-,281	,019	-,615
KB	,696	,661	,261
mlečna kiselina	,958	-,101	-,012
saharoza	,775	,471	,180
Na ₂ CO ₃	,918	,327	,196
voda	,784	,530	,210
TPC	,738	-,559	,307
DPPH	,838	-,291	-,127
ABTS	,755	-,524	,314
FRP	,658	-,597	,416

Metod ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti a. 3 izdvojene komponente

Pre nego što je izvršena rotacija, potrebno je bilo ispitati da li su komponente ovog istraživanja povezane. Kao rezultat te analize dobijeni podaci su prikazani u Tabeli 21. Koeficijenti korelacije su pokazali da ne postoji odnos između komponenti, što je dalje ukazivalo na to da treba koristiti ortogonalnu strategiju rotacije, zbog čega je bila primenjena VARIMAX rotacija.

Tabela 21. Korelacija komponenti

		REGR factor score 1 for analysis 1	REGR factor score 2 for analysis 1	REGR factor score 3 for analysis 1
REGR factor score 1 for Analysis 1	Pearson Correlation	1	,000	,000
	Sig. (2-tailed)		1,000	1,000
	N	13	13	13
REGR factor score 2 for Analysis 1	Pearson Correlation	,000	1	,000
	Sig. (2-tailed)	1,000		1,000
	N	13	13	13
REGR factor score 3 for Analysis 1	Pearson Correlation	,000	,000	1
	Sig. (2-tailed)	1,000	1,000	
	N	13	13	13

Rotirana tabela sa matricom komponenti prikazana je u Tabeli 22 a) čiji su elementi faktorski ponderi, a ponderi sa vrednošću većom od 0,5 su smatrani značajnim i na osnovu njihove povezanosti sa određenom komponentom izvršena je interpretacija komponenti (za faktorska opterećenja koja se kreću od 0,30 do 0,40 smatra se da zadovoljavaju minimalni nivo i da dozvoljavaju interpretaciju strukture podataka, dok se opterećenja veća od 0,5 smatraju praktično značajnim). Za faktorska opterećenja veća od 0,7 može se reći da su pokazatelj veoma dobro definisane strukture podataka i da ujedno predstavljaju cilj svake faktorske analize. Potrebno je bilo da svaka glavna komponenta ima bar tri početne varijable sa značajnim koeficijentom, što je u ovom istraživanju bilo ispunjeno.

Tabela 22. a) Matrica faktorskih opterećenja posle Varimax rotacije; b) Matrica transformacije komponenti

a)

	Komponenta		
	1	2	3
vlaga	-,917	-,093	-,077
pepeo	,767	,493	,397
proteini	,798	,450	,396
masti	,926	,232	-,105
ugljeni hidrati	-,888	-,384	-,202
skrob	-,846	-,448	-,263
NDF	-,865	-,405	-,267
ADF	,456	,845	,061
ADL	,312	,778	-,484
hemiceluloza	-,852	-,443	-,259
celuloza	,472	,740	,407
KZV	,506	,748	,405
KZU	,153	-,307	-,582
KB	,104	,984	,098
mlečna kiselina	,734	,490	,387
saharoza	,279	,866	,164
Na ₂ CO ₃	,425	,845	,305
voda	,246	,923	,160
TPC	,556	,090	,797
DPPH	,785	,245	,356
ABTS	,551	,128	,789
FRAP	,448	,041	,872

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti
 Metod Rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom
 a. Rotacija konvergirana u 6 iteracija

b)

Komponenta	1	2	3
1	,720	,595	,357
2	-,367	,763	-,531
3	-,589	,251	,768

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti
Metod rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom

U Tabeli 22 b) nalazi se tabela **Component transformation matrix** koja je ukazivala na jačinu veze izdvojenih glavnih komponentata i opravdanost primene Varimax metode. Kako su komponente jače korelirane (vrednosti koeficijenata veće od 0,3) Varimax rotacija nije bila dobra, stoga je bilo potrebno uraditi oblimin rotaciju što je u nastavku i definisano (Tabela 24).

Vrednosti koeficijenata komunaliteta (h^2) tri zadate komponente pokazali su koliko izdvojene glavne komponente objašnjavaju varijacije ispitivanih početnih pokazatelja. Npr. varijabilitet prve varijable (vlaga) tri izdvojene glavne komponente objašnjene su sa 85,6%, druge varijable (pepeo) 99%, itd. (Tabela 23). Drugim rečima komunaliteti za svaku varijablu su predstavljali obim varijanse koji je bio objašnjen pomoću PCA rešenja za svaku varijablu. Poželjno je bilo da sve varijable imaju komunalitet veći od 0,50, kako bi bile dovoljno objašnjene, što je u ovom istraživanju bilo ispoštovano.

Tabela 23. Vrednost koeficijenata komunaliteta (h^2) posle Varimax rotacije

	Ekstrakcija		
vlaga	,856	KZV	,980
pepeo	,990	KZU	,457
proteini	,995	KB	,989
masti	,922	mlečna kiselina	,928
ugljeni hidrati	,977	Saharoza	,854
skrob	,986	Na ₂ CO ₃	,989
NDF	,984	voda	,939
ADF	,925	TPC	,952
ADL	,937	DPPH	,802
hemiceluloza	,989	ABTS	,943
celuloza	,936	FRP	,963

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti

Deo Tabele 24 koji se odnosi na Structure matrix prikazao je korelaciju između promenljivih i izdvojenih glavnih komponenti.

Na osnovu rotirane matrice (Tabela 23) i dalje je postojalo nekoliko kompleksnih promenljivih koje su imale dva ili tri težinska faktora veća od 0,5 na sve tri komponente, te je i bilo teško uočiti jednostavnu strukturu. Varijable TPC i ABTS istovremeno su imale velika težinska opterećenja na prvoj i trećoj komponenti, a varijabla ADL na drugoj i trećoj glavnoj komponenti. Usvojeno je bilo mišljenje da je rotacija matrice Varimax metodom dala jasniju strukturu i manja preklapanja zbog čega je dalja analiza bila zadržana na rezultatima prikazanim u Tabeli 22. Prva komponenta je obuhvatala deset početnih varijabli, druga komponenta osam i treća glavna komponenta četiri početne promenljive.

Tabela 24. Matrica faktorskih opterećenja posle oblimin rotacije

	Pattern Matrix				Structure Matrix		
	Komponenta				Komponenta		
	1	2	3		1	2	3
vlaga	-1,006	,151	,126	vlaga	-,906	-,293	-,089
pepeo	,742	,311	,198	pepeo	,933	,687	,427
proteini	,786	,256	,194	proteini	,950	,651	,424
masti	,982	,008	-,322	masti	,908	,407	-,086
ugljeni hidrati	-,903	-,169	,016	ugljeni hidrati	-,977	-,583	-,228
skrob	-,840	-,248	-,049	skrob	-,966	-,644	-,292
NDF	-,872	-,195	-,053	NDF	-,975	-,607	-,294
ADF	,307	,798	-,102	ADF	,651	,923	,105
ADL	,160	,791	-,615	ADL	,379	,762	-,444
hemiceluloza	-,848	-,240	-,044	hemiceluloza	-,970	-,639	-,287
celuloza	,350	,662	,251	celuloza	,716	,866	,446
KZV	,386	,662	,242	KZV	,750	,881	,445
KZU	,245	-,349	-,595	KZU	-,058	-,336	-,595
KB	-,123	1,045	,000	KB	,360	,989	,146
mlečna kiselina	,704	,317	,195	mlečna kiselina	,898	,676	,416
saharoza	,102	,865	,038	saharoza	,511	,918	,208
Na ₂ CO ₃	,272	,795	,150	Na ₂ CO ₃	,675	,946	,349
voda	,052	,937	,036	voda	,493	,967	,206
TPC	,603	-,093	,676	TPC	,722	,299	,805
DPPH	,821	,037	,172	DPPH	,879	,445	,374
ABTS	,589	-,049	,667	ABTS	,725	,335	,799
FRAP	,494	-,121	,779	FRAP	,624	,238	,877

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti

Metod rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom

Metod rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom

a. Rotacija konvergirana u 6 iteracija

Prva glavna komponenta obuhvatala je sve promenljive koje opisuju hemijski sastav brašna (vlaga, pepeo, proteini, masti, ugljeni hidrati, skrob), zatim dve karakteristike iz grupe dijetnih vlakana (NDF i hemiceluloza) i po jednu karakteristiku iz tehnoloških svojstava (SRC za mlečnu kiselinu) i antioksidativnosti (DPPH).

Druga glavna komponenta obuhvatala je skoro sve promenljive koje su opisivale funkcionalna svojstva (izuzev KZU) i dijetna vlakna (sem NDF i hemiceluloze).

Treća glavna komponenta sadržala je varijable koje su pratile antioksidativnost (izuzev DPPH) i karakteristiku KZU iz domena funkcionalnih svojstava brašna.

5.13. Hemijski sastav kontrole i obogaćenih hlebova

Hleb je pečeni proizvod čiji su osnovni sastojci brašno, voda, so i kvasac. Tokom pečenja hleba odvijaju se biohemijski i fizičko-hemijski procesi koji utiču na kvalitet gotovog proizvoda. Kada se radi o karakteristikama kvaliteta prehrambenog proizvoda u smislu senzornog profila, hemijskog sastava, fizičkih svojstava i mikrobiološke stabilnosti, u obzir se mora uzeti i njegova bezbednost (Barbarisia i sar., 2019)

Kako bi se utvrdilo da li je dodavanje pogača pšeničnom brašnu ispunilo zadatak obogaćivanja hleba sa nutritivnog aspekta i na koji način je uticalo na hemijski sastav urađena je hemijska karakterizacija belog hleba kao kontrole i obogaćenih hlebova. Hemijski sastav ispitivanih uzoraka prikazan je u Tabeli 25.

Sadržaj vlage u gotovim pekarskim proizvodima varira u zavisnosti od postupka pečenja. Visok sadržaj vlage utiče negativno na mikrobiološku aktivnost hleba i može skratiti rok trajanja. Prema

Pravilniku c) (član 40, 2018) maksimalan sadržaj vlage belog i polubelog pšeničnog hleba je 46%. Prema istom Pravilniku, sadržaj vlage mešanih vrsta hleba može da bude najviše do 50%, osim za hleb od drugih žita i specijalne vrste hleba. Sadržaj vlage K iznosio je $34,63 \pm 0,25\%$, dakle, bio je ispod maksimalno dozvoljenih vrednosti. U obogaćenim hlebovima sadržaj vlage kretao se od $30,90 \pm 0,23\%$ (Šh10) do $36,10 \pm 0,28\%$ (Vh30). Na ovaj parametar kvaliteta uticali su vrsta i udeo dodate pogače. Hlebovi sa 10% udelom pogače imali su sadržaj vlage niži od K, a sa povećanjem udela pogače rastao je sadržaj vlage. Pogača višnje najviše je uticala na sadržaj vlage te su hlebovi obogaćeni ovom vrstom pogače imali veći sadržaj vlage u odnosu na hlebove sa ostalim vrstama pogača. Svi uzorci imali su sadržaj vlage ispod maksimalno dozvoljenog po Pravilniku c) (član 40, 2018), te su se mogli smatrati potencijalno mikrobiološki stabilnim proizvodom. U radu Oliveira i sar. (2023) koji su ispitali uticaj dodavanja uljane pogače lana sa udelom 5, 15 i 30% na kvalitet hleba, mogao se uvideti trend povećanja sadržaja vlage sa povećanjem udela dodatih pogača. Vrednosti sadržaja vlage u njihovom radu iznosile su 46,98%, 47,19% i 48,01% za hlebove sa udelom od 5, 15 i 30% pogače lana, redom.

Tabela 25. Hemijski sastav uzoraka hlebova

Uzorci	Vlaga (%)	Pepeo (%)	Proteini (%)	Lipidi (%)	Ukupni ugljeni hidrati (%)	Dostupni ugljeni hidrati (%)	Ukupna dijetna vlakna (%)	Energetska vrednost (kJ/100g)
K	$34,62 \pm 0,25^{bc}$	$1,28 \pm 0,09^e$	$12,13 \pm 0,98^g$	$1,70 \pm 0,35^f$	$50,27 \pm 1,43^a$	$47,17 \pm 5,66^a$	$3,10 \pm 0,44^b$	$1056,34 \pm 14,13^b$
Dh10	$33,39 \pm 0,18^d$	$1,58 \pm 0,04^d$	$14,24 \pm 0,74^{fg}$	$2,25 \pm 0,58^{ef}$	$48,54 \pm 0,88^a$	$42,35 \pm 6,02^a$	$6,19 \pm 0,62^a$	$1031,91 \pm 12,26^b$
Dh20	$34,57 \pm 0,40^{bc}$	$2,07 \pm 0,08^c$	$17,64 \pm 1,00^{cd}$	$2,29 \pm 0,61^{ef}$	$43,43 \pm 1,19^b$	-	-	-
Dh30	$35,38 \pm 0,08^{ab}$	$2,07 \pm 0,04^c$	$20,16 \pm 0,71^{ab}$	$5,11 \pm 0,65^c$	$37,28 \pm 0,98^c$	-	-	-
Šh10	$30,90 \pm 0,23^f$	$1,50 \pm 0,05^d$	$14,78 \pm 0,77^{ef}$	$3,11 \pm 0,78^{def}$	$49,71 \pm 1,91^a$	$44,39 \pm 4,14^a$	$5,32 \pm 0,65^a$	$1107,2 \pm 15,92^a$
Šh20	$32,10 \pm 0,66^e$	$2,14 \pm 0,02^{bc}$	$18,18 \pm 0,58^{bcd}$	$4,41 \pm 0,81^{cd}$	$43,17 \pm 1,43^b$	-	-	-
Šh30	$35,57 \pm 0,25^{ab}$	$2,48 \pm 0,02^a$	$21,22 \pm 0,68^a$	$7,37 \pm 0,72^b$	$33,36 \pm 1,64^{cd}$	-	-	-
Vh10	$33,60 \pm 0,62^{cd}$	$1,57 \pm 0,04^d$	$14,00 \pm 0,43^{fg}$	$2,33 \pm 0,62^{ef}$	$48,50 \pm 1,29^a$	$42,53 \pm 3,23^a$	$5,97 \pm 0,55^a$	$1034,04 \pm 16,27^b$
Vh20	$34,99 \pm 0,41^b$	$2,14 \pm 0,02^{bc}$	$17,01 \pm 1,28^{de}$	$4,12 \pm 0,88^{cde}$	$41,74 \pm 1,65^b$	-	-	-
Vh30	$36,10 \pm 0,28^a$	$2,28 \pm 0,06^b$	$19,51 \pm 0,94^{abc}$	$9,62 \pm 0,59^a$	$32,49 \pm 1,18^d$	-	-	-

Rezultati izraženi na suhu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Pepeo se često koristi kao indeks čistoće brašna i njegovog stepena mlevenja. Sa nutritivne tačke gledišta, poželjan je povećan sadržaj pepela u brašnu zajedno sa povećanim sadržajem dijetnih vlakana, vitamina i neglutenskih proteina. Međutim, tehnološki kvalitet brašna sa visokim udelom pepela je niži jer ga karakteriše tamnija boja i veća aktivnost proteolitičkih i amilolitičkih enzima (Czaja i sar., 2020). Utvrđen sadržaj pepela u uzorku K bio je $1,28 \pm 0,09\%$ što je bilo u skladu sa literaturnim podacima. U radu Alkurd i sar. (2020) sadržaj pepela u belom hlebu iznosio je 0,99%, a u radu Bhosale i sar (2017) sadržaj pepela u belom hlebu iznosio je 1%. Dodate pogače uticale su na sadržaj pepela u obogaćenim hlebovima, najviše sa aspekta udela dodate pogače. Sadržaj pepela u uzorcima povećavao se sa povećanjem udela pogače. Određen sadržaj pepela u obogaćenim hlebovima bio je od $1,50 \pm 0,05$ (Šh10) do $2,48 \pm 0,02\%$ (Šh30). Svi utorci hlebova imali su veći sadržaj pepela u

odnosu na K. Kowalczewski i sar. (2019) su utvrdili trend povećanja sadržaja pepela sa povećanjem udela dodatih pogača u hlebovima obogaćenih sa 5, 10 i 15% pogače maline i jagode. Rezultati u njihovom radu bili su 0,88, 1,02 i 1,07 g/100g za hleb sa 5, 10 i 15% pogače maline i 0,91, 1,25 i 1,27 g/100g za hleb sa 5, 10 i 15% pogače jagode.

Veći sadržaj proteina u hlebu može da ima benefite po ljudsko zdravlje. Dodavanje proteina iz različitih izvora može da utiče na nutritivne, hemijske, fizičke i funkcionalne karakteristike hleba. Nutritivni kvalitet proteina razlikuje se u zavisnosti od izvora, prema postupku izdvajanja, sastavu esencijalnih aminokiselina, svarljivosti i bioraspoloživosti (Mercado i sar., 2022). Prosečan sadržaj proteina u ispitivanim hlebovima bio je od $14,00 \pm 0,43$ (Vh10) do $21,22 \pm 0,68\%$ (Šh30), dok je u K bio je $12,13 \pm 0,98\%$. U radu Alkurd i sar. (2020) određen sadržaj proteina u belom hlebu bio je 10,32%, a Kowalczewski i sar. (2019) su utvrdili sadržaj proteina u belom hlebu od 13,25 g/100g. Svi uzorci obogaćenih hlebova imali su statistički značajno veći sadržaj proteina u odnosu na K. Obogaćivanje hleba uljanim pogačama uticalo je na ovaj parametar kvaliteta. Primećen je bio trend povećanja sadržaja proteina sa povećanjem udela dodate pogače. To su potvrdili Kowalczewski i sar. (2019) u hlebu sa 5, 10 i 15% pogače maline (13,25; 13,29 i 13,75 g/100g, redom) i sa 5, 10 i 15% pogače jagode (13,45; 14,14 i 14,87 g/100g, redom). Tomić i sat. (2018) su u hlebu od prosenog brašna obogaćenog proteinima uljane pogače bundeve zabeležili trend povećanja sadržaja proteina sa povećanjem udela dodate pogače. Njihovi rezultati za hleb obogaćen sa 5, 10 i 15% proteina pogače bundeve bili su 5,09, 5,76 i 8,43%. Određen sadržaj proteina u ovom istraživanju ukazao je na veliki potencijal dobijanja gotovog funkcionalno obogaćenog proizvoda. Proteini su posle ugljenih hidrata glavni makronutrijenti od kojih je zavisila nutritivna vrednost gotovih proizvoda.

Lipidi su važne komponente u proizvodnji hleba jer obezbeđuju neka svojstva tokom obrade i skladištenja. Interakcije lipida tokom proizvodnje hleba bitne su zbog stabilizacije gasnih ćelija i emulgujućih svojstava specifičnih polarnih lipida. Tokom prvih faza mešenja, oko 70% ukupnih lipida brašna vezuje se unutar frakcije glutena, a većina njih su slobodni (polarni i deo nepolarnih) lipida. U glutenu, glijadin i glutenin vezuju se sa slobodnim polarnim tipovima lipida. Vezivanje slobodnih polarnih lipida daje im funkcionalnu ulogu u proizvodnji hleba. Pšenični lipidi stabilizuju ili destabilizuju gasne ćelije i na taj način utiču na zapreminu i strukturu sredine hleba (Pareyt i sar., 2011). Sadržaj lipida u K bio je $1,70 \pm 0,35\%$, dok su Molomo i sar. (2011) utvrdili sadržaj lipida od 3,41% u hlebu od pšeničnog brašna. Alkurd i sar. (2020) odredili su sadržaj lipida u belom hlebu od 0,42%. Utvrđen sadržaj lipida u obogaćenim hlebovima kretao se od $2,25 \pm 0,58\%$ (Dh10) do $9,62 \pm 0,59\%$ (Vh30). U obogaćenim hlebovima sadržaj lipida povećavao se sa povećanjem udela, a na njihov sadržaj uticala je i vrsta dodate pogače. Hlebovi sa pogačom višnje pokazali su veći sadržaj lipida koji se statistički značajno razlikovao od K, u uzorcima sa udelom od 20% i 30%. Najmanji uticaj na sadržaj lipida pokazala je pogača dunje, pri čemu se hlebovi sa 10% i 20% udelom pogače dunje nisu statistički značajno razlikovali od K. Primetan uticaj pogače dunje na sadržaj lipida zapažen je bio kod hleba sa udelom od 30%. Ovakav uticaj pogača poklapa se sa sadržajem lipida u mešavinama brašna, gde je takođe prednjačila 30% mešavina sa pogačom višnje. Kowalczewski i sar. (2019) utvrdili su trend povećanja sadržaja lipida sa povećanjem udela dodate pogače. Oni su predstavili rezultate za sadržaj lipida u hlebu sa udelom pogače maline od 5, 10 i 15% (1,32, 1,73 i 2,14 g/100g, redom) i udelom pogače jagode 5, 10 i 15% (1,30, 1,79 i 2,08 g/100g, redom).

Kada se granule skroba u pšeničnom brašnu hidratišu, one apsorbuju vodu do 50% svoje težine i postepeno bubre. Interakcija skroba i glutena u testu stvara stabilnu mrežu koja može zadržati fermentacioni gas u strukturi testa i sprečiti kolaps hleba tokom pečenja i hlađenja. Skrob doprinosi formiranju testa odgovarajućeg kvaliteta. Odgovoran je za formiranje strukture sredine tokom pečenja i doprinosi pogoršanju kvaliteta hleba tokom skladištenja (Onyango, 2016). Sadržaj skroba u K bio je $63,41 \pm 0,19\%$. U obogaćenim hlebovima sadržaj skroba kretao se od $42,72 \pm 0,33$ (Šh30) do $64,83 \pm 0,09\%$ (Dh10). Na sadržaj skroba u hlebu u odnosu na K statistički značajno su uticale pogača

višnje u svim primenjenim udelima, pogača šljive sa udelom od 20% i pogače šljive i dunje sa udelima od 30%. Sa porastom udela pogača u obogaćenim hlebovima, opadao je sadržaj skroba. Rezultati sadržaja skroba i saharoze prikazani su u Tabeli 26. Rojas-Bonzi i sar. (2020) utvrdili su ukupan sadržaj skroba od 711 g/kg suve materije u belom pšeničnom hlebu. U literaturi nema dovoljno podataka o sadržaju skroba u obogaćenim hlebovima sa pogačama semena.

Tabela 26. Sadržaj skroba i saharoze u belom hlebu i obogaćenim hlebovima

	K	Dh10	Dh20	Dh30	Šh10	Šh20	Šh30	Vh10	Vh20	Vh30
Skrob (%)	63,41±0,19 ^a	64,83±0,09 ^a	61,93±0,05 ^a	58,01±0,67 ^b	62,43±0,71 ^a	58,29±0,48 ^b	42,72±0,33 ^d	58,16±0,48 ^b	58,46±0,47 ^b	53,97±1,15 ^c
Saharoza (%)	2,53±0,31 ^{cd}	2,66±0,29 ^c	5,09±0,46 ^b	8,52±0,35 ^a	2,71±0,26 ^c	5,35±0,29 ^b	7,68±0,70 ^a	1,57±0,21 ^d	3,02±0,12 ^c	4,38±0,06 ^b

Rezultati izraženi na suhu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0.05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Određen sadržaj saharoze u K bio je 2,53±0,31%. U obogaćenim hlebovima sadržaj saharoze bio je od 1,57±0,21% (Vh10) do 8,52±0,35% (Dh30). Dodavanje pogača pšeničnom brašnu za proizvodnju obogaćenih hlebova imalo je uticaj na sadržaj saharoze. Pogače semena dunje i šljive najviše su uticale na povećanje sadržaja saharoze u gotovim hlebovima, a koji se povećavao sa povećanjem udela pogače. Tako su 30% udeli pomenute dve vrste pogača skoro četverostruko povećali sadržaj saharoze u hlebu u odnosu na K. Pogača višnje sa udelom od 10% redukovala je sadržaj saharoze za približno 1% prema uzorku K. Povećanje udela saharoze bilo je zapaženo kod 20% i 30% udela pogače višnje. Dodavanje 30% pogače višnje skoro je duplo povećalo sadržaj saharoze u odnosu na K.

Ugljeni hidrati su glavni makronutrijenti hleba koji se pretežno sastoje od skroba i određuju energetska vrednost. Određen sadržaj dostupnih ugljenih hidrata u K bio je 47,17±1,43%. Molomo i sar. (2011) utvrdili su sadržaj ugljenih hidrata u belom pšeničnom hlebu od 50,45%. Alkurd i sar. (2020) su u kontrolnom pšeničnom hlebu odredili sadržaj ugljenih hidrata od 60,87%. U obogaćenim hlebovima sadržaj ukupnih ugljenih hidrata kretao se od 32,49±1,18% (Vh30) do 49,71±1,91% (Šh10). Sa povećanjem udela dodate pogače sadržaj ukupnih ugljenih hidrata se smanjivao. U tom smislu, prednjačila je pogača višnje sa kojom je hleb imao najniži sadržaj ovih makronutrijenata. Sadržaj dostupnih ugljenih hidrata određen je u K (47,17±5,66%), Dh10 (42,35±6,02%), Šh10 (44,39±4,14%) i Vh10 (42,53±3,23%) kao odabranim uzorcima posle senzorne ocene. U pomenutim uzorcima, sa aspekta sadržaja dostupnih ugljenih hidrata nije bilo značajne razlike. Sadržaj ukupnih dijetnih vlakana bio je 3,10±0,44% (K), 6,19±0,62% (Dh10), 5,32±0,65% (Šh10) i 5,97±0,55% (Vh10). Dodavanje pogača imalo je statistički značajan uticaj na sadržaj ovih jedinjenja u odnosu na K, gde su vrednosti bile skoro duplo veće od vrednosti u K. Za iste uzorke određena je i energetska vrednost 1056,34±14,13% (K), 1031,91±12,26% (Dh10), 1107,2±15,92% (Šh10) i 1034,04±16,27% (Vh10). Isticao se Šh10, dok su ostali uzorci imali približnu energetska vrednost.

Varijacije u rezultatima mogle su se objasniti genotipom, sortom pšenice, kao i lokacijom uzgoja, metodom određivanja, vrstom i hemijskim sastavom brašna, upotrebljenom recepturom, postupkom proizvodnje, vrstom pakovanja, uslovima skladištenja, tipom uređaja itd.

5.14. Antioksidativna aktivnost kontrole i obogaćenih hlebova

Rezultati antioksidativne aktivnosti kontrole i obogaćenih hlebova dobijeni različitim testovima prikazani su u Tabeli 27. Izmeren sadržaj ukupnih fenolnih komponenti u K bio je $56,38 \pm 0,33$ mgGAE/100g. Hayta i sar. (2012) su utvrdili ukupan sadržaj fenola u belom pšeničnom hlebu od $35,39$ mgGAE/100 g suve materije. U obogaćenim hlebovima sadržaj ukupnih fenolnih komponenti kretao se od $50,62 \pm 1,04$ mgGAE/100g (Dh10) do $102,76 \pm 1,21$ mgGAE/100g (Šh30). Dodavanje pogače imalo je statistički značajan uticaj na TPC u hlebu, kako sa stanovišta udela, tako i sa stanovišta vrste dodate pogače. Tako je Dh10 imao niži sadržaj TPC u odnosu na K, 20% udeo pogače dunje nije imao uticaj na TPC u odnosu na K, tj. vrednosti su bile slične. Statistički značajan uticaj imao je 30% udeo dunje. U slučaju pogače šljive i višnje sadržaj TPC rastao je sa povećanjem udela dodate pogače i bio je značajno veći u poređenju sa K. Ovaj trend rasta se poklapao sa radom Purić i sar. (2020) u kom je prikazano da se TPC povećava sa povećanjem udela dodate pogače semena jabuke. Najveći uticaj na TPC imao je 30% udeo pogače šljive koji je bio veći 1,82 puta od K, zatim 30% pogača višnje koja je povećala TPC 1,54 puta u odnosu na K i na kraju 30% udeo pogače dunje koji je povećao TPC za 1,24 puta.

Tabela 27. Sadržaj ukupnih polifenola (TPC) i antioksidativna svojstva (FRP, ABTS^{•+} i DPPH[•]) ekstraktata obogaćenih hlebova i kontrole (srednja vrednost \pm SD)

Uzorci	TPC (mgGAE/100g)	FRP (mgAA/100gFW)	ABTS ^{•+} (mgTrolox/100g FW)	DPPH [•] (mgTrolox/100g FW)
K	$56,38 \pm 0,33^a$	$42,62 \pm 0,13^a$	$31,37 \pm 1,97^a$	$10,38 \pm 1,31^a$
Dh10	$50,62 \pm 1,04^b$	$41,84 \pm 1,43^a$	$25,36 \pm 1,28^b$	$10,15 \pm 0,40^a$
Dh20	$56,71 \pm 1,76^a$	$46,91 \pm 1,56^a$	$25,73 \pm 2,69^{bc}$	$13,11 \pm 0,28^{ab}$
Dh30	$69,79 \pm 0,22^c$	$70,55 \pm 2,60^{be}$	$30,29 \pm 1,67^{ab}$	$17,15 \pm 3,53^{bc}$
Šh10	$65,34 \pm 2,14^{dg}$	$81,06 \pm 5,84^{bf}$	$31,01 \pm 0,56^{ac}$	$11,23 \pm 1,71^{ae}$
Šh20	$85,29 \pm 1,32^e$	$127,17 \pm 7,53^c$	$41,98 \pm 0,43^d$	$21,36 \pm 1,25^{cf}$
Šh30	$102,76 \pm 1,21^f$	$157,95 \pm 3,51^d$	$45,32 \pm 0,23^d$	$26,36 \pm 1,02^d$
Vh10	$61,49 \pm 1,26^d$	$39,77 \pm 5,84^a$	$27,27 \pm 2,20^{ab}$	$8,84 \pm 0,00^a$
Vh20	$68,97 \pm 2,25^{eg}$	$61,32 \pm 6,10^e$	$32,46 \pm 1,81^a$	$15,10 \pm 1,48^{be}$
Vh30	$86,99 \pm 0,93^e$	$92,75 \pm 1,43^f$	$40,79 \pm 3,64^d$	$24,60 \pm 1,65^{df}$

*Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje; **GAE**-galna kiselina; **AA**-askorbinska kiselina; **TPC**-sadržaj ukupnih polifenola; **FRP**-redukujuća svojstva; **ABTS^{•+}**- sposobnost sakupljanja ABTS^{•+}-radikala; **DPPH[•]**-sposobnost sakupljanja DPPH[•]-radikala.

Utvrđena redukujuća svojstva (FRP) za K bila su $42,62 \pm 0,13$ mgAA/100g. U obogaćenim hlebovima FRP vrednosti su se kretale od $39,77 \pm 5,84$ mgAA/100g (Vh10) do $157,95 \pm 3,51$ mgAA/100g (Šh30). Udeli od 10% pogače dunje i pogače višnje, i 20% udeo pogače dunje nisu značajno uticali na redukujuća svojstva hleba. Udeo od 30% dunje statistički značajno povećao je redukujuća svojstva za 1,65 u odnosu na K. Dodatak pogače šljive u svim udelima statistički je značajno uticao na FRP u odnosu na K, tako što je kod Šh10 bila skoro duplo veća u odnosu na K, a kod Šh30 3,71 puta veća u poređenju sa K. Pogača višnje uticala je sa udelom od 20% na povećanje FRP 1,44 puta, tj. sa 30% udelom 2,18 puta u odnosu na K.

Sposobnost sakupljanja ABTS^{•+} radikala u K bila je $31,37 \pm 1,97$ mgTrolox/100g. U obogaćenim hlebovima ABTS^{•+} vrednosti bile su od $25,36 \pm 1,28$ mgTrolox/100g (Dh10) do $45,32 \pm 0,23$ mgTrolox/100g (Šh30). Hlebovi obogaćeni pogačom dunje imali su statistički značajno niže ABTS^{•+} vrednosti od K (za 10 i 20% udele), dok se ABTS^{•+} vrednosti Dh30 nisu značajno razlikovale od vrednosti kod K. Pogača šljive sa 10% udelom nije se značajno razlikovala od K, dok su 20 i 30% udeli značajno povećali ABTS^{•+} vrednosti (1,34 i 1,45 puta, redom). 10% udeo pogače višnje uticao je na

smanjnje ABTS^{•+} vrednosti, 20% udeo imao je ABTS^{•+} vrednosti slične K, a 30% udeo je statistički značajno uticao na povećanje ABTS^{•+} vrednosti (1,30) u poređenju sa K.

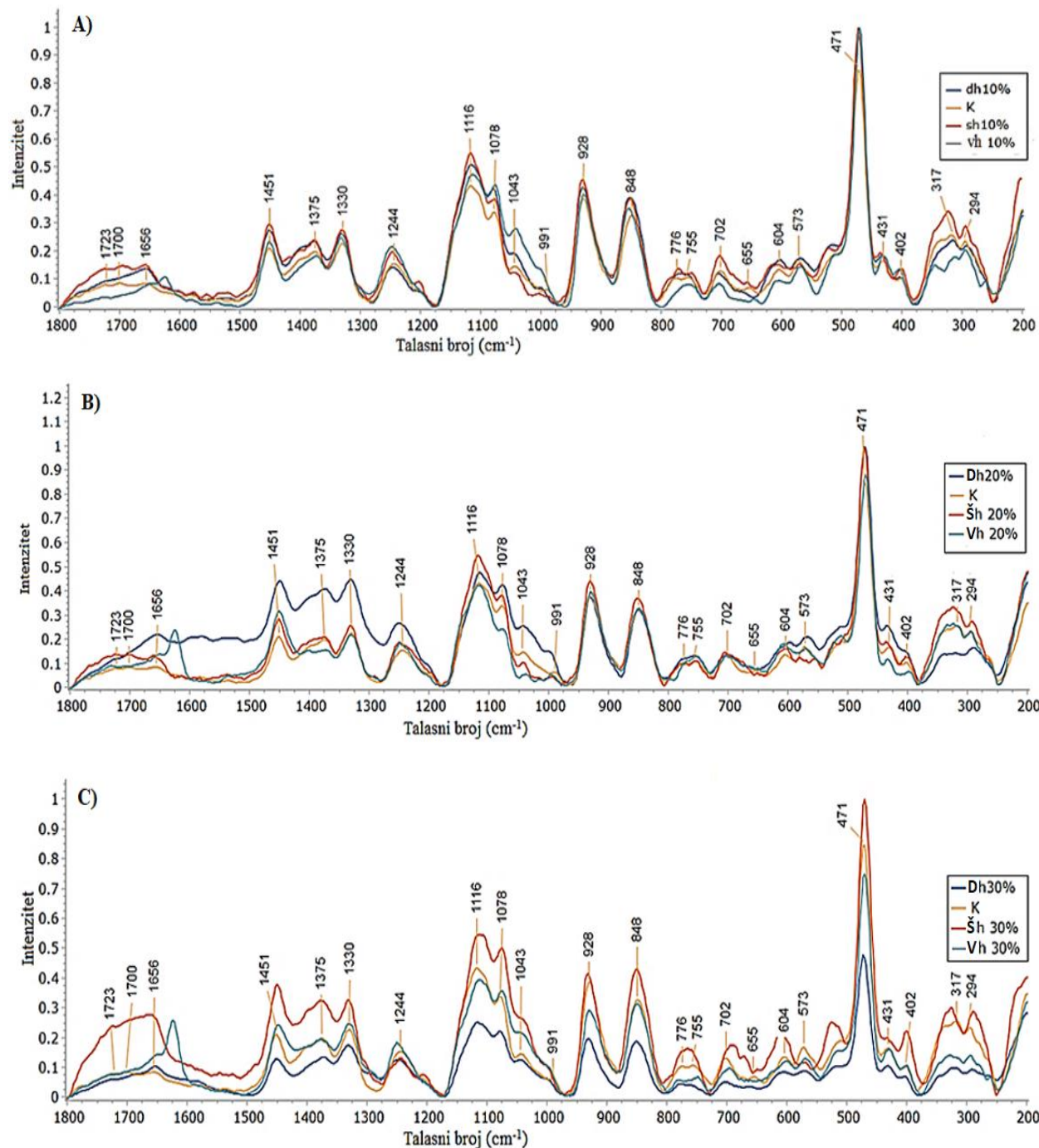
DPPH[•] vrednosti K bile su $10,38 \pm 1,31$ mgTrolox/100g. U obogaćenim hlebovima DPPH[•] vrednosti bile su od $8,84 \pm 0,00$ (Vh10) do $26,36 \pm 1,02$ mgTrolox/100g (Šh30). Udeli od 10% i 20% pogače dunje nisu značajno uticali na DPPH[•] vrednost u poređenju sa K. Kod Dh30 utvrđena je DPPH[•] vrednost koja je bila 1,65 puta veća u odnosu na K. Pogača šljive imala je najizraženiji uticaj na DPPH[•] vrednosti, naročito 20% i 30% udeli koji su povećali DPPH[•] 2,06 i 2,54 puta, redom u odnosu na K. Vh10 imao je DPPH vrednost nižu od K, a kod Vh20 i Vh30 bilo je primećeno povećanje DPPH[•] vrednosti 1,45 i 2,37 puta, redom u odnosu na K.

5.15. Raman spektroskopija obogaćenih hlebova

U uzorcima hleba bili su detektovani pikovi u opsegu talasnih brojeva od 294 cm^{-1} do 1723 cm^{-1} , kao što se moglo videti na Slici 28.

Svi uzorci su pokazali vibracije sednjeg intenziteta na 294 cm^{-1} i 317 cm^{-1} (Slika 28). Po intenzitetu pikova izdvajali su se Šh10, Šh20 i Šh30. Prema radu Nakajima i sar. (2022) Ramanove trake ispod 316 cm^{-1} osetljive su na amorfnu strukturu skroba. Isti autori su naveli da dvostruke spirale u nativnim granulama skroba su stabilizovane vodoničnim vezama i van der Valsovim silama, koje usled uticaja toplote tokom postupka pečenja slabe usled amorfizacije koja za posledicu ima odmotavanje dvostrukih spirala, čime se moglo objasniti isticanje Šb10, Šb20 i Šb30. Uticaj je mogla imati količina dodate vode prilikom zamesa (Tabela 3) i odnos amiloze i amilopektina na koji je uticala dodata pogača šljive.

Vibracije niskog intenziteta bile su primećene na 402 cm^{-1} i 431 cm^{-1} (Slika 28) kod svih uzoraka. Hlebovi obogaćeni sa 10% udelima pogača imali su približne intenzitete pikova, dok su se kod hlebova obogaćenih sa 20% i 30% udelima pogača isticali Dh20 i Šh30, redom. Prema literaturi (Dumouilla i Dussap, 2021; Nakajima i sar., 2022) talasni brojevi 400 cm^{-1} i 407 cm^{-1} odnosili su se na vibracije amiloze i glukoze. Pregledom literature (Kizil i sar., 2002; Almeida i sar., 2010; Nakajima i sar., 2022) utvrđeno je da vibracije niskog intenziteta na $430\text{--}440 \text{ cm}^{-1}$ odgovaraju skrobu i skrobnim komponentama (amilozi i amilopektinu). Intenzitet pikova kod hlebova obogaćenih 10% udelima pogača bili su ujednačeni, dok se kod hlebova obogaćenih sa 20% udelima pogača isticao Dh20. Isticanje Dh20 na oba talasna broja moglo se objasniti najvećim izmerenim udelom skroba (Tabela 26) i najvećom količinom dodate vode prilikom zamesa (Tabela 3) u odnosu na ostale hlebove obogaćene sa 20% udelima pogača. Šh 30 je u grupi hlebova obogaćenih 30% udelima pogača imao najintenzivniji pik (na 402 cm^{-1} i 431 cm^{-1}) što se prema objašnjenju Nakajima i sar. (2022) moglo objasniti većom koncentracijom amilopektina u poređenju sa amilozom u uzorcima sa pogačom šljive.



Slika 28. Ramanovi spektri hlebova obogaćenih sa: A) 10% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje; B) 10% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje; i C) 30% udelom pogača semena dunje, šljive i višnje.

Skraćenice: **K**-kontrola; **Dh10**-hleb sa 10% pogače semena dunje, **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače semena šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače semena šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače semena šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače semena višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače semena višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače semena višnje.

Tabela 28. Glavne Ramanove trake detektovane u mešavinama sa dodatim pogačama i belom

Talasni broj cm ⁻¹						
Ovo istraživanje						
K	Dh	Šh	Vh	Literaturni podaci	Asignacija	Literatura
	10, 20, 30%	10, 20, 30%	10, 20, 30%			
294	294	294	294	248	Amorfni skrob	Nakajima i sar., 2022
317	317	317	317	316	Amorfni skrob	Nakajima i sar., 2022
402	402	402	402	407 400	D-glukoza; amiloza	Dumouilla i Dussap, 2021; Nakajima i sar., 2022
431	431	431	431	440 441 430	Skeletni mod piranoznog prstena; $\delta(C-C-O)$, $\delta(C-C-C)$; amiloza	Kizil i sar., 2002; Almeida i sar., 2010; Nakajima i sar., 2022
471	471	471	471	471-485 460-490; 470	Skrob; Skrob; Amiloza i amilopektin	Payne i Kurouski, 2021; Maharadika i sar., 2018; Torbica i sar., 2023
573	573	573	573	579 577 577	Arabinoza; $\delta(C-C-O)+\tau(C-O)$; $\delta(C-C-O)$, skrob	Wiercigroch i sar., 2017; Almeida i sar., 2010 Holder, 2012
604	604	604	604	600-603 601 600	Piranozni prsten skroba; C-O-C, ugljeni hidrati; Amilopektin i amiloza	Almeida i sar., 2010; Gieroba i sar., 2023; Wiercigroch i sar., 2017
655	655	655	655	500-650	Maltoza i glukoza	Maharadika i sar., 2018
702	702	702	702	702 704	Treonin; L-treonin	Zhu i sar., 2011; Pawlukojć i sar., 2001;
755	755	755	755	758 755 760	Indol prsten, triptofan; Indol prsten; triptofan	Chen i sar., 2014; Chuang i Chen., 2008; Klosok i sar., 2021
776	776	776	776	777	C-C-O skrob; Inozitol prsten	Holder i sar., 2012; Pezzotti, 2021;
848	848	848	848	850 848-860 856	rezidui tirozina; O-C-H; (CC), tirozin	Klosok i sar., 2021; Boyaci i sar., 2015; Sjöberg i sar., 2014
928	928	928	928	936 941 922	α -1,4 glikozidne veze, (C-O-C); COC istežanje (α -1,4-glikozidne veze); saharoza	Kizil i sar., 2002; Gieroba i sar., 2023; Wiercigroch i sar., 2017
991	991	991	991	998 1002 1004	fenilalanin, tirozin; fenilalanin; fenilalanin	Torbica i sar., 2023; Kniese i sar., 2021; Lo i sar., 2010
1043	1043	1043	1043	1043 1047 1043	$\delta(C-H)$, (C-C), (C-OH); skrob; C-C-1-H	Gieroba i sar., 2022; Mikkelsen i sar., 2010; Boyaci i sar., 2015.
1078	1078	1078	1078	1078 1083 1087	skrob C-O, C-C, C-O-H; C-O-H	Mikkelsen i sar., 2010; Holder, 2012; Kizil i sar., 2002
1116	1116	1116	1116	1116 1095-1120 1115-1116	COC; COC vibracije istežanja; $\nu(C-O-C)$	Gieroba i sar., 2020; Boyaci i sar., 2015; Gieroba i sar., 2022
1244	1244	1244	1244	1244 1248	CH savijanje; C-O	Dhokal i sar, 2016; Mary i sar., 2009;
1330	1330	1330	1330	1338 1295-1330 1331-1339	CH ₂ savijajuće vibracije; α -heliks C-H	Rodriguez i Kurouski, 2023; Cai i Singh, 1999; Boyaci i sar., 2015
1375	1375	1375	1375	1375 1375 1338-1378	amiloza i amilopektin; α -anomer glukoze; C-C-H, C-O-H, O-C-H	Czekus i sar., 2019; Boyaci i sar., 2015 β i sar., 2019.
1451	1451	1451	1451	1450 1455 1450	(CH) + (CH ₂); β -ploča; CH ₂ savijajuće vibracije	Rodriguez i Kurouski, 2023; Sivam i sar., 2011; Boyaci i sar., 2015
1656	1656	1656	1656	1636-1658	R-C(O)-NH-R' proteini;	Farber i sar., 2019;

				1656 1656	C=O istezanje (amid I) α -heliks, amid I	Rodriguez i Kurouski, 2023; Lancelot i sar., 2021.
1700	1700	1700	1700	1600-1700 1680-1699 1600-1700	amid I; β -okreti; amid I	Fetouhi i sar., 2021; Sadat i Joye, 2020; Boyaci i sar., 2015
1723	1723	1723	1723	1723 1732	Slabe interakcije vodoničnih veza; (C=O) metil esterifikovanih karboksilnih grupa;	Marlina i sar., 2021; Chalapur i sar., 2022

Skraćenice: ν -istezanje, τ -torzija/uvijanje, δ -van ravni deformacija prstena ili torzija prstena

Vibracije na 471 cm^{-1} pokazale su najintezivniji i najoštrij pik kod svih uzoraka (Slika 28). Pregledom literature (Payne i Kurouski, 2021; Maharadika i sar., 2018; Torbica i sar., 2023) vibracije na $460\text{--}490\text{ cm}^{-1}$ odnosile su se na skrob i komponente skroba (amilozu i amilopektin). Kod hlebova obogaćenih 10% udelom pogača, obogaćeni hlebovi su imali približne intenzitete pikova, dok je K imala najniži intenzitet. Dh20 imala je najveći intenzitet pika, a K najniži kod hlebova obogaćenih 20% udelima pogača. Ova pojava mogla se objasniti uticajem dijetnih vlakana na dostupnost i razgradnju skroba – više dijetnih vlakana (Tabela 25) podrazumevalo je intenzivniji pik. Veća koncentracija dijetnih vlakana može negativno uticati na specifičnu zapreminu i teksturna svojstva hleba jer se vlakna takmiče sa skrobom za vodu (Gómez i sar., 2003). Šh30 imao je najveći intenzitet pika, a Dh30 najniži, što se moglo objasniti količinom dodate vode testu prilikom zamesa, gde je po količini vode prednjačio Šh30 (Tabela 3).

Na 573 cm^{-1} bile su zapažene vibracije niskog intenziteta kod svih uzoraka (Slika 28). Prema literaturnim podacima (Holder, 2012; Almeida i sar. 2010) vibracije $\sim 577\text{ cm}^{-1}$ odgovarale su skrobu. Isticanje Dh10 i Dh20 po intenzitetu pika kod hlebova obogaćenih 10% i 20% udelima pogača, redom, moglo se objasniti najvećim izmerenim sadržajem skroba (Tabela 26) kod ovih uzoraka. K je po intenzitetu prednjačila u grupi hlebova sa 30% udelom pogača, što se takođe moglo objasniti najvećim sadržajem skroba izmerenog kod K (Tabela 26). Ova pojava se mogla objasniti time da je povećanje udela dodatih pogača različitih semena uticalo na smanjenje ukupnog sadržaja skroba u hlebovima.

Vibracije niskog intenziteta na 604 cm^{-1} bile su zapažene kod svih uzoraka (Slika 28). Prema literaturnim podacima (Almeida i sar., 2010; Gieroba i sar., 2023; Wiercigroch i sar., 2017) vibracije niskog intenziteta na $\sim 600\text{ cm}^{-1}$ su karakteristične za skrob i njegove komponente. Najniži intenzitet pika bio je kod Vh10 što se moglo objasniti najnižim sadržajem skroba, a samim tim i skrobnih komponenti (Tabela 26), u poređenju sa hlebovima obogaćenih 10% udelima pogača i K. K je kod 20% udela pogača u hlebu imao najniži intenzitet (najmanja količina vode prilikom zamesa Tabela 3), a najintezivniji pik bio je kod Šh30. Isticanje Šh30 moglo se objasniti verovatno interakcijama između fenolnih komponenti (Tabela 27) i skroba.

Pikovi na 655 cm^{-1} (Slika 28) bili su kod svih uzoraka niskog intenziteta. Prema literaturnim podacima (Maharadika i sar., 2018) vibracije slabog intenziteta na $500\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ mogle su odgovarati maltozi ili glukozu. Po intenzitetu pikova izdvojili su se Šh10 i Šh30 sa najvećim intenzitetima, a hlebovi obogaćeni sa 20% udelima pogača imali su pikove približnog međusobnog intenziteta. U ispitivanim uzorcima, vibracije niskog intenziteta na 655 cm^{-1} mogli su se objasniti prisustvom maltoze. Prema Shintani i sar. (2021) maltoza u hlebu može nastati usled aktivnosti amilolitičkih enzima (obično β -amilaze) i može predstavljati supstrat za aktivnost kvasca tokom fermentacije. Odstupanja intenziteta pikova kod Šh10 i Šh30 mogla su se objasniti time da na količinu maltoze koja se formira u hlebu tokom postupka proizvodnje utiče količina dodate vode prilikom zamesa (kod Šh10 i Šh30 bila je potrebna veća količina vode Tabela 3), kao i temperatura pečenja hleba, i količina oštećenog skroba prilikom zamesa.

Na talasom broju 702 cm^{-1} (Slika 28) primećeni su pikovi slabog intenziteta kod svih uzoraka. Prema literaturnim podacima (Zhu i sar., 2011; Pawlukojć i sar., 2001) vibracije na ovom broju mogle

su odgovarati prisustvu treonina. Izdvojili su se uzorci Vh10 sa najmanjim intenzitetom pika, i Šh30 sa najvećim intenzitetom pika, dok su hlebovi obogaćeni sa 20% udelima pogača bili približnog intenziteta međusobno. Najniži intenzitet pika kod Vh10 mogao se objasniti niskim sadržajem proteina u poređenju sa ostalim hlebovima sa 10% udelima pogača (Tabela 25). Do smanjenja sadržaja aminokiselina prilikom proizvodnje hleba može doći kako su naveli Makokha i sar. (2023) usled korišćenja aminokiselina od strane kvasca prilikom fermentacije, ili usled termodegradacije usled postupka pečenja. Pokazalo se da su pogače kojima su obogaćivani hlebovi bogati izvori proteina (Tabela 10), te su se odstupanja u intenzitetima pikova $\sim 700 \text{ cm}^{-1}$, mogli objasniti i hidrolitičkim razlaganjem peptida od strane kvasca, aktivnosti proteaze u testu kada dolazi do povećanja sadržaja aminokiselina (Makokha i sar., 2023). U ovom istraživanju moglo se pretpostaviti da je u slučaju Šh30 količina dodate pogače uticala na porast sadržaja treonina, a što se prema Makokha i sar. (2023) moglo objasniti odloženom denaturacijom usled interakcija hidrofobnih proteina sastojaka recepture hleba.

Na 755 cm^{-1} na Slici 28 primećeni su pikovi malog intenziteta. Po intenzitetu pika, izdvajali su se Šh10, Dh20 i Šh30. Oblast ovog talasnog broja prema literaturnim podacima (Chen i sar., 2014; Chuang i Chen., 2008; Klosok i sar, 2021) može odgovarati vibracijama indolnog prstena i triptofanu. Pik na ovom talasnom broju, u slučaju pekarskih proizvoda, može se odnositi na proteine glutena, a promena intenziteta može ukazivati na hidrofobnost indolnog prstena. Smanjenje intenziteta može se protumačiti tako da su ostaci triptofana bliže površini proteinskog kompleksa, dok se povećanje intenziteta može protumačiti ostacima triptofana u unutrašnjosti proteinskog kompleksa (Kłosok i sar., 2021). Na osnovu izdvojenih uzoraka, pogača šljive je uticala najviše od ispitivanih pogača na hidrofobnost indolnog prstena, a kod hlebova sa 20% udelima pogača, pogača dunje je najviše uticala na zadržavanje triptofana u unutrašnjosti glutena.

Na Slici 28 zapaženi su pikovi na 776 cm^{-1} malog intenziteta. Od uzoraka po intenzitetu pika, izdvojili su se Šh10, Dh20 i Šh30. Prema literaturnim podacima (Holder i sar., 2012; Pezzotti, 2021) vibracije na 777 cm^{-1} mogle su odgovarati strukturi skroba ili inozitol prstenu. Inozitol prsten prilikom proizvodnje hleba potiče od fosforolitičke aktivnosti enzima pšenice ili od fitaze kvasca. Zajedničko delovanje ovih enzima određuje konačni profil inozitol fosfata i može dovesti do stvaranja slobodnog mio-inozitola (Duliński i sar., 2015). Prema radu Park i sar. (2016) fitat se prirodno nalazi u kompleksu sa dvovalentnim katjonskim mineralima i proteinima. Prema istim autorima helatni kapacitet fitata inhibira formiranje hidroksil radikala i inhibira peroksidaciju lipida. Endogene fitaze u pšenici i kvascu hidrolizuju fitat tokom postupka pečenja hleba, koje može rezultirati povećanjem specifične zapremine hleba. Izdvojeni uzorci su se karakterisali značajnim udelima proteina (Tabela 25) i količinom dodate vode u toku postupka zamesa (Tabela 3) što znači da je u pomenutim uzorcima došlo do interakcija koje su uticale na povećanje aktivnosti i koncentracije fitata.

Na 848 cm^{-1} pikovi srednjeg intenziteta bili su primećeni kod svih uzoraka (Slika 28). 10% udeli pogača imali su približan intenzitet pikova, kod hlebova sa 20% udelima pogača intenzitet je bio takođe približan, ali nešto veći u poređenju sa hlebovima sa 10% udelima pogača. Hlebovi sa 30% udelima imali su najveći intenzitet pomenutog talasnog broja, naročito Šh30. Podjedinice proteina glutenina bogate su tirozinom, aminokiselinom koja može učestvovati u formiranju kovalentnih veza, uključujući tirozilne ostatke u poprečnim vezama koje katalizuje jedna ili više peroksidaza. Tirozin može da generiše poprečne veze u prisustvu oksidacionih agenasa, tako da ova aminokiselina može učestvovati u formiranju mreže glutena tokom mešenja testa, i posledično da utiče na reološka svojstva testa (Peña i sar., 2006). Seme šljive je bogato proteinima, a samim tim i aminokiselinama, među kojima se nalazi tirozin (Amah i Okogeri, 2019). Seme dunje sadrži tirozin u manjim koncentracijama (Silva i sar., 2005), kao i seme višnje (Akalan i sar., 2024). Izdvajanje hlebova obogaćenih sa različitim udelima pogače šljive moglo se objasniti najvećim sadržajem tirozina u pogači šljive u poređenju sa ostalim pogačama, usled najvećeg sadržaja proteina (Tabela 25) i potrebne količine vode za zames (Tabela 3).

Na 928 cm^{-1} bili su zapaženi pikovi srednjeg intenziteta kod svih uzoraka, a koji su prema literaturnim podacima (Kizil i sar., 2002; Gieroba i sar., 2023; Wiercigroch i sar., 2017) odgovarali prisustvu α -1,4-glikozidnim vezama i saharozi. Izdvajali su se hlebovi obogaćeni različitim udelima pogače šljive sa većim intenzitetom pikova, naročito Šh30. Udeo dodate pogače je značajno uticao na polisaharidni sastav obogaćenih hlebova ispitivanih u ovom istraživanju. Isticanje hlebova obogaćenih pogačom šljive, moglo se objasniti time da je usled veće količine vode prilikom zamesa i pod uticajem toplote prilikom pečenja, došlo do nešto veće razgradnje skroba na amilozu, amilopektin, čak i molekule glukoze (Patel i sar., 2005), a pored toga poznato je da se amigdaljin takođe može razgraditi pod uticajem toplote pečenja i aktivnosti enzima na molekule glukoze, benzaldehid i cijanovodoničnu kiselinu koja su imala pomenute konformacije glikozidnih veza, čije utvrđivanje nije bilo predviđeno ovim istraživanjem. C-O-C vibracije koje su obuhvatale α -1,4-glikozidne veze u oblasti $920\text{--}960\text{ cm}^{-1}$ su se prema Wiercigroch i sar. (2017) mogle odnositi i na α -D-(1 \rightarrow 6) veze u amilopektinu. Ista oblast talasnih brojeva se prema radu Almeida i sar. (2010) može smatrati oblašću za utvrđivanje razlika između α - i β - konfiguracije polisaharida.

Pik malog intenziteta na 991 cm^{-1} (Slika 28) bio je kod svih uzoraka zapažen. Kod hlebova obogaćenih sa 10% udelima pogača izdvajao se Vh10, kod hlebova obogaćenih sa 20% udelima pogača Dh20, a kod hlebova obogaćenih sa udelima pogača od 30% Šh30, Vh30. Prema literaturnim podacima (Torbica i sar., 2023; Kniese i sar., 2021; Lo i sar., 2010) vibracije u ovoj oblasti odgovaraju fenilalaninu. Sadržaj ove aminokiseline verovatno je varirao u zavisnosti od vrste semena od kojih su korišćene pogače, interakcija koje su se odvijale prilikom zamesa i pečenja hleba i sl.

Na 1078 i 1043 cm^{-1} bili su zapaženi pikovi srednjeg intenziteta kod svih uzoraka hlebova (Slika 28). Prema radu Mikkelsen i sar. (2010) karakterističan pik na 1078 cm^{-1} odgovara skrobu. Kod hlebova obogaćenih 10% udelima pogača, pikovi su bili približnog intenziteta, što je ukazivalo na to da dodate pogače u udelu od 10% nisu imale značajan uticaj na sadržaj skroba u hlebu, što se moglo videti u Tabeli 26. Kod hlebova obogaćenih 20% udelima pogača isticao se Dh20, a kod hlebova sa 30% udelima pogača izdvajao se Šh30. Dh20 imao je najintenzivnije pikove što se moglo objasniti najvećim sadržajem skroba u poređenju sa ostalim hlebovima obogaćenih sa 20% udelom pogača, a što je potvrdila i hemijska analiza (Tabela 26). Izdvajanje Šh30 moglo se objasniti najvećom količinom vode prilikom zamesa (Tabela 3), tokom kog je verovatno došlo do inteziviranja interakcija između skrobnih granula i proteina i formiranju njihovih kompleksa.

Na 1116 cm^{-1} primećeni su pikovi kod svih uzoraka visokog intenziteta (Slika 28). Po radu Boyaci i sar. (2015) pikovi na 1095 i 1120 cm^{-1} pripisane su C-O-C vibracijama istežanja glikozidnih veza. U hlebu se vibracije na talasnim brojevima oko 1116 cm^{-1} po radu Alagappan i sar. (2024) mogu pripisati karakterističnim grupama ugljenih hidrata, šećera i polisaharida. Hlebovi obogaćeni sa 10, 20 i 30% udelima pogače šljive, naročito Šh30 su se izdvajali u odnosu na druge uzorke. Polimeri β -glukana žitarica sadrže $\sim 70\%$ (1 \rightarrow 4)- β -glukozidnih ostataka i $\sim 30\%$ (1 \rightarrow 3)- β -glukozidnih ostataka (Mikkelsen i sar., 2010). Većina β -D-glukana u hlebu su β -D-glukani koji mogu poticati od pšenice (Suwannarong i sar., 2020). Disaharidi se sastoje od dve povezane monosaharidne jedinice sa glikozidnim vezama u α ili β orijentaciji (Stylianopoulos, 2013). Isti autori su naveli da je saharoza najzastupljeniji disaharid koji se sastoji od molekula α -glukoze i β -fruktoze povezanih glikozidnom vezom, čime se moglo objasniti isticanje hlebova obogaćenih sa različitim udelima šljive koji su imali nešto veći sadržaj saharoze (Tabela 26) u poređenju sa ostalim uzorcima.

Na 1244 cm^{-1} bili su primećeni pikovi slabog intenziteta (Slika 28) kod svih uzoraka, i to kod hlebova sa 10% i 30% udelima pogača približnog intenziteta, dok je kod hlebova sa 20% udelom pogača najintezivniji pik bio kod Dh20. Vibracije amida III su prema radu Wong i sar. (2009) odgovarale 1242 cm^{-1} , što se moglo protumačiti time da je β -ploča bila dominantna sekundarna struktura proteina u hlebovima sa različitim udelima pogače dunje. Dh20 se od ostalih hlebova sa 20% udelom pogača različitog semena izdvajao po sadržaju skroba (Tabela 26), te se izdvajanje na ovom

piku moglo objasniti intenzivnijim reakcijama između skrobnih granula i proteina usled povećane količine vode prilikom zamesa (Tabela 3). Komponente skroba mogu intereagovati sa proteinima i fenolnim komponentama usled čega može biti povećano formiranje amid III strukture proteina, kako su u radu detaljnije objasnili Schefer i sar. (2021). Klosok i sar. (2021) amid III struktura može dati informacije o vodoničnim vezama koje se formiraju prilikom zamesa testa. Prema istim autorima, amid III struktura ukazuje na to da agrerirane strukture pomenutih uzoraka, mogu se objasniti vodoničnim vezama pretežno β -okreta i antiparalelnih β -okreta koji su nastali kao rezultat interakcije između lanaca glutenskih proteina ili polisaharidnih lanaca i proteina glutena, a što može uticati na strukturu gotovog hleba.

Talasi broj 1330 cm^{-1} ukazuje na α -heliks strukturu amid III kao dominantnu u uzorcima. Na strukturu proteina amid III značajan uticaj ima količina vode koja se dodaje prilikom mešenja testa, i vreme mešenja (Seabourn i sar., 2008). Hlebovi sa 10% udela pogača bili su približnog intenziteta sa K, kod hlebova sa 20% udelom izdvajao se Dh20, a kod hlebova supstituisanih sa 30% pogača, izdvajao se Šh30. Dh20 se karakterisao većim sadržajem skroba, u poređenju sa ostalim hlebovima sa 20% udelima pogača, i većom količinom dodate vode prilikom zamesa, čime se moglo objasniti njegovo isticanje na ovom talasnom broju. Usled veće količine vode prilikom zamesa (Tabela 3) i većim sadržajem skroba (Tabela 26), prilikom mešenja moglo se pretpostaviti da je došlo do pojačanih interakcija između komponenti skroba, vode i proteina, koje su pod uticajem toplote tokom pečenja dovele do većeg formiranja uređenih proteinskih struktura (α -heliks) (Klosok i sar., 2021). Izdvajanje Šh30 moglo se prema literaturnim podacima objasniti različitim aminokiselinskim sastavom ispitivanih pogača semena (Wieser i sar., 2022). Takođe, potrebna količina dodate vode za zames kod hlebova sa 30% udelima bila je najveća kod Šh30 (Tabela 3). Šh30 imao je najveći sadržaj ukupnih fenolnih komponenti (Tabela 27), što je prema radu Schefer i sar. (2021) moglo imati uticaja na promene u sekundarnoj strukturi proteina (pored faktora kao što su temperatura pečenja, pH testa, količina dodate vode i aminokiselinski sastav).

Pik na 1375 cm^{-1} može se koristiti za identifikaciju piranoznog prstena glukoze u amilozi i amilopektinu kao sastavnim komponentama skroba (Czekus i sar., 2019). Na Slika 28 videlo se da hlebovi sa 10% udelima pogača imaju približno iste intenzitete pikova na ovom talasnom broju, a kod hlebova sa 20% udelom isticao se Dh20, a kod hlebova sa 30% udelom pogača isticao se Šh30, u odnosu na druge uzorke. Najviši intenzitet Dh20 u odnosu na ostale uzorke mogao se objasniti najvećim sadržajem skroba (Tabela 26) u poređenju sa K i hlebovima sa 20% udelima pogača. Istanje Šh30 može se objasniti pretpostavkom da je pogača šljive imala najveći sadržaj amigdalina, pri čemu se usled razlaganja ovog jedinjenja oslobađaju molekuli glukoze, koji su gradivni elementi ovog jedinjenja. Strukturu amigdalina čine benzaldehid, cijanovodonična kiselina i dva molekula glukoze (Barakat i sar., 2022). Sadržaj amigdalina može varirati u semenu šljive zavisno od sorte ovog voća, a u radu Bolarinwa i sar. (2014) sadržaj amigdalina u semenu šljive bio je od $1,54\text{ mg/g}$ do $17,49\text{ mg/g}$, dok je u semenu višnje bio od $2,68\text{ mg/g}$ do $3,89\text{ mg/g}$, takođe u zavisnosti od sorte višnje.

U svim hlebovima bio je zastupljen pik srednjeg intenziteta na 1451 cm^{-1} (Slika 28). Kod hlebova obogaćenih 10% udelima pogača, intenzitet pikova bio je najniži, dok je sa povećanjem udela dodatih pogača intenzitet rastao. Izdvajali su se uzorci Dh20 i Šh30. U radu Sivam i sar. (2011) pik na 1455 cm^{-1} bio je povezan sa formiranjem β -ploča amida I ili savijajućim vibracijama povezanim sa polisaharidima, što je ukazivalo na zastupljenost skroba i glutena. Dh20 imao je najveći sadržaj skroba u poređenju sa ostalim hlebovima obogaćenim 20% udelima pogača (Tabela 26) i prilikom zamesa bila je dodata veća količina vode u odnosu na hlebove obogaćene 20% udelima pogača i kontrolu (Tabela 3), te je verovatno došlo do većeg formiranja vodoničnih veza usled hidratacije i polimerizacije (Klosok i sar., 2021) što se odrazilo izdvajanjem ovog uzorka na talasnom broju 1451 cm^{-1} . Na sličan način moglo se objasniti izdvajanje Šh30 na 1451 cm^{-1} , kom je prilikom zamesa bila potrebna najveća

količina vode u odnosu na druge uzorke (Tabela 3), a gotov hleb je imao nešto veći sadržaj proteina u odnosu na druge hlebove obogaćene 30% udelima pogača.

U svim uzorcima bio je detektovan pik na 1656 cm^{-1} (Slika 28). Ovi pikovi mogli su se pripisati amidnim vibracijama proteina sa neuređenom i α -heliks sekundarnom strukturom, a koji potvrđuju prisustvo proteina prema Farber i sar. (2019). Kao sastavni deo sekundarne strukture proteina, α -heliks doprinosi funkcionalnosti glutena i poboljšava viskoelastična svojstva testa. α -heliks je sastavni deo glutena koji doprinosi performansama pečenja hleba (Farber i sar., 2019). Obogaćivanje hlebova pogačama, naročito pogačom semena višnje uticalo je na povećano formiranje α -heliksa, što se moglo videti u teksturi hleba (Vh10, Vh20 i Vh30 su prilikom ocenjivanja imali kompaktnu, ujednačenu strukturu sredine).

Na 1700 cm^{-1} primećeni su bili pikovi malog intenziteta. Na ovom talasnom broju isticali su se hlebovi obogaćeni pogačom semena šljive (Šh10, Šh20 i Šh30), pri čemu se isticao Šh30 kao što je prikazano na Slika 28. Pik na ovom talasnom broju odgovarao je sekundarnoj strukturi proteina, konkretno β -okreti prema literaturnim podacima (Fetouhi i sar., 2021; Sadat i Joye, 2020; Boyaci i sar., 2015). Dodavanje pogača različitog semena voća uticalo je na formiranje hidratisanih produženih lanaca i pseudo- β -ravni (agregiranih struktura) na račun vodoničnih veza β -okreti i antiparalelnih- β -ploča. Povećanje udela dodatih pogača dovelo je do povećanja količine agregiranih struktura (Nawrocka i sar., 2023). Takođe, promena u strukturi proteina može se objasniti uticajem toplote prilikom postupka pečenja, kada se redukuje sadržaj α -heliksa, a povećava sadržaj β -ploče i β -okreti (Boyaci i sar., 2015). Hleb obogaćen pogačom šljive imao je najveći sadržaj proteina, ali i najveći sadržaj vode (Tabela 25).

Talasni broj 1723 cm^{-1} koji je bio prisutan kod svih vrsta hlebova (Slika 8), uključujući kontrolu, po radu Chalapud i sar. (2022) odgovarao je karboksilnim grupama. Karboksilne grupe mogle su se formirati usled hidratacije testa, fermentacije, mlečnokiselinskog vrenja i aktivnosti enzima kao proizvodi pomenutih procesa. Identifikovano je preko 300 isparljivih organskih jedinjenja koja pripadaju različitim hemijskim grupama, kao što su organske kiseline, aldehidi, ketoni, alkoholi, estri i sulfidna jedinjenja, koja nastaju tokom fermentacije i pečenja hleba kako su potvrdili De Luca i sar. (2021). Najintenzivniji pik bio je primećen kod hlebova obogaćenih 10, 20 i 30% udelom pogače šljive, pri čemu se izdvajao Šh30 (Slika 28 C)). Ova pojava mogla se po literaturnim podacima objasniti time što je seme šljive bogato amigdalinom u odnosu na druge vrste pogača koje su ispitivane u ovom istraživanju (Jaszczak-Wilke i sar., 2021; Savić i Savić-Gajić, 2022). To je bilo potvrđeno i primetnom gorčinom prilikom senzorne ocene hleba u odnosu na druge uzorke, a pretpostavljalo se da gorčina potiče od amigdalina.

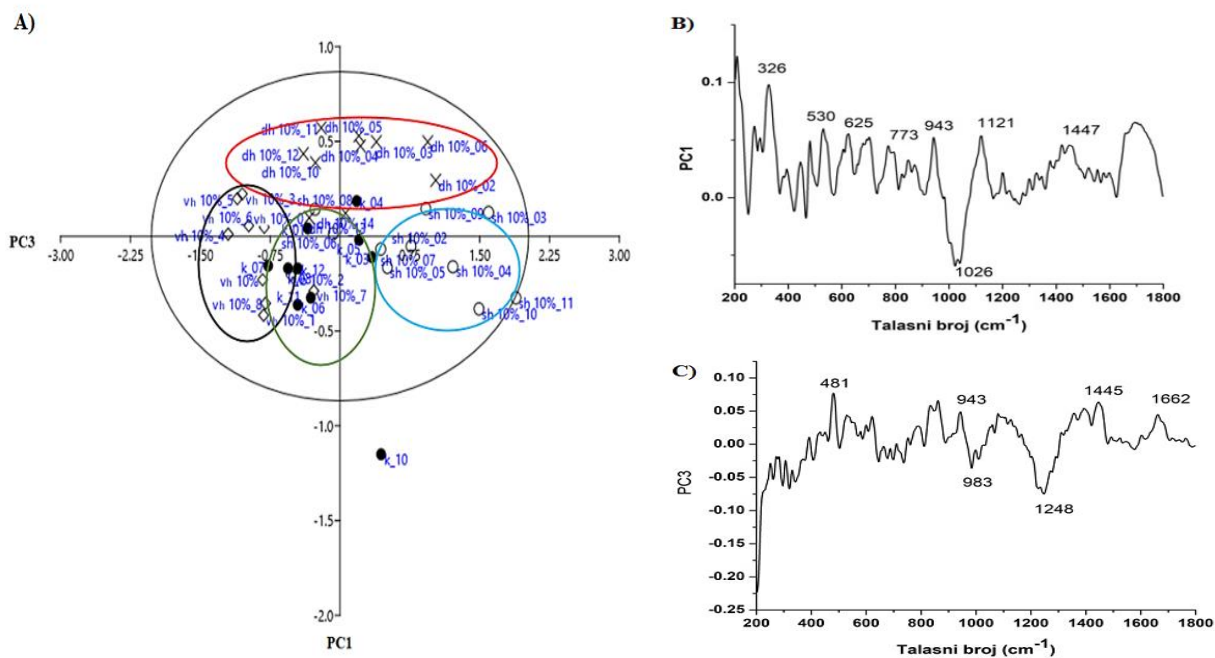
PCA i klaster analiza Ramanovih spektara obogaćenih hlebova i kontrole

Hlebovi sa udelima pogača od 10%

Obogaćivanje hleba sa udelima pogača semena dunje, šljive i višnje od 10% imalo je uticaj na hemijski sastav i ostale parametre kvaliteta hleba zbog čega je urađena PCA (Principal component analysis). Na Slici 29 A) prikazana je PCA hlebova obogaćenih sa udelima ispitivanih pogača od 10%. Rezultati PCA pokazali su da su se izdvojile dve glavne komponente (PC1 i PC3). U odnosu na prvu glavnu komponentu (PC1) hlebovi su se razdvojili na grupu kojoj su pripadali Vh10, deo Dh10 i K, i na grupu kojoj su pripadali Šh10 i deo Dh10. Prema trećoj glavnoj komponenti (PC3) uzorci su se grupisali na Dh10, a drugoj grupi pripadali su veći deo uzoraka Vh10, K i Šh10. Varijable na osnovu kojih su se uzorci grupisali prikazane su na Slici 29 B) i C), analizom opterećenja.

Projekcije varijabli na prvoj glavnoj komponenti (PC1) (Slika 29 B)) pokazale su koji su pikovi najviše doprineli razlikama između uzoraka Vh10, deo Dh10 i K u odnosu na Šh10 i deo Dh10. Veći intenziteti pikova sa pozitivnom ili negativnom vrednošću podrazumevali su veći uticaj na razdvajanje

uzoraka. Traka najvećeg intenziteta pozitivne vrednosti bila je na 326 cm^{-1} , koja je odgovarala kako su naveli Nakajima i sar. (2022) amorfnom skrobu, a traka najvećeg intenziteta negativne vrednosti na 1026 cm^{-1} , koja je prema literaturnim podacima (Gieroba i sar., 2022; Mikkelsen i sar., 2010; Boyaci i sar., 2015) odgovarala vibracijama skroba, njegovim gradivnim komponentama, vezama kojima su osnovne jedinice skroba povezane i njihovim položajima. Dijagrami opterećenja po prvoj glavnoj komponenti pokazali su trake na 530 cm^{-1} , što je prema Klosok i sar. (2021) odgovaralo različitim konformacijama disulfidnih mostova, konkretno za ovaj talasni broj trans-gauche-trans (t-g-t), što ukazuje na to da je u hlebovima obogaćenima sa udelima od 10% pogača bila dominantna ova konformacija disulfidnih mostova. Trake na 625 cm^{-1} su se prema Fetouhi i sar. (2021) mogle pripisati amid IV strukturi proteina, dok je traka na 773 cm^{-1} odgovarala inozitol prstenu (Pezzotti, 2021). α -1,4-glikozidnim vezama prema Gieroba i sar. (2023) odgovarala je traka na 943 cm^{-1} , a 1121 cm^{-1} bilo je pripisano glikozidnim vezama u ugljenim hidratima i polisaharidima kako su naveli Boyaci i sar. (2023). Traka na 1447 cm^{-1} ukazivala je na strukturu proteina (Rodriguez i Kurouski, 2023). Prema PC1 uzorci su grupisali na pomenute dve grupe uzoraka, u najvećoj meri na osnovu proteinske strukture i skroba i skrobnih komponenti.



Slika 29. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima od 10% pogače dunje, šljive i višnje i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.

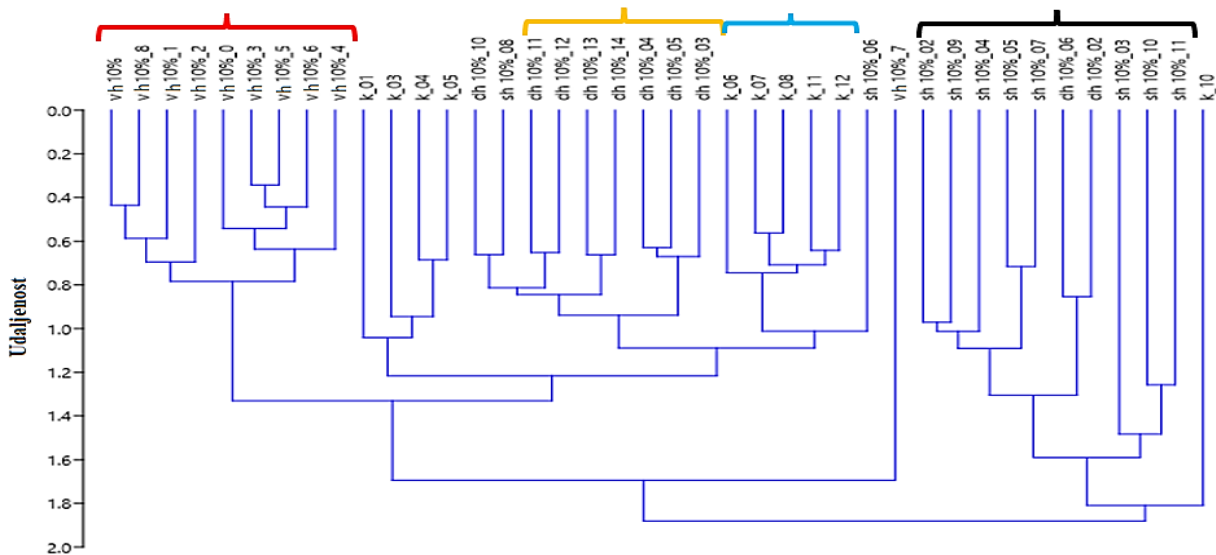
Skraćenice: **K**-kontrola; **Dh10**-hleb sa 10% pogače semena dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače semena šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače semena višnje.

Posmatrano po PC3 dijagram opterećenja na Slici 29 C) pokazao je koje su promenljive najviše uticale na razlike između uzoraka Dh10 i većeg dela uzoraka Vh10, K i Šh10. Najveće uticaj na razdvajanje grupa imali su pikovi na poziciji 481 cm^{-1} , a sa negativnom vrednošću pik na 1248 cm^{-1} . Traka na 481 cm^{-1} mogla se pripisati vibracijama skroba (Payne i Kurouski, 2021), a traka na 943 cm^{-1} prisustvu α -1,4-glikozidnih veza (Gieroba i sar., 2023). Traka na 983 cm^{-1} mogla je ukazivati na prisustvo fenilalanina (Kniese i sar., 2021). Trake na 1248 cm^{-1} , 1445 cm^{-1} i 1662 cm^{-1} su prema literaturnim podacima (Mary i sar., 2009; Sivam i sar., 2011; Kniese i sar., 2021) odnosile su se na

razlike u strukturi proteina uzoraka. Po PC3 uzorci su se najviše grupisali na osnovu skroba i veza između njegovih gradivnih jedinica, i po sadržaju fenilalanina i proteinskoj strukturi.

Klaster analiza

Klaster analiza Ramanovih spektara hlebova obogaćenih udelom pogača od 10% i kontrole pokazala je postojanje dv klastera, kao što je prikazano na Slici 30. Prvom klaseru koji je najudaljeniji od ostalih pripadao je uzorak Vh10, dok su drugom klasteru pripadali K, Dh10 i Šh10. Klasterom je potvrđena PCA analiza koja je takođe pokazala izdvajanje Vh10 od ostalih grupa uzoraka (Slika 29 A)).



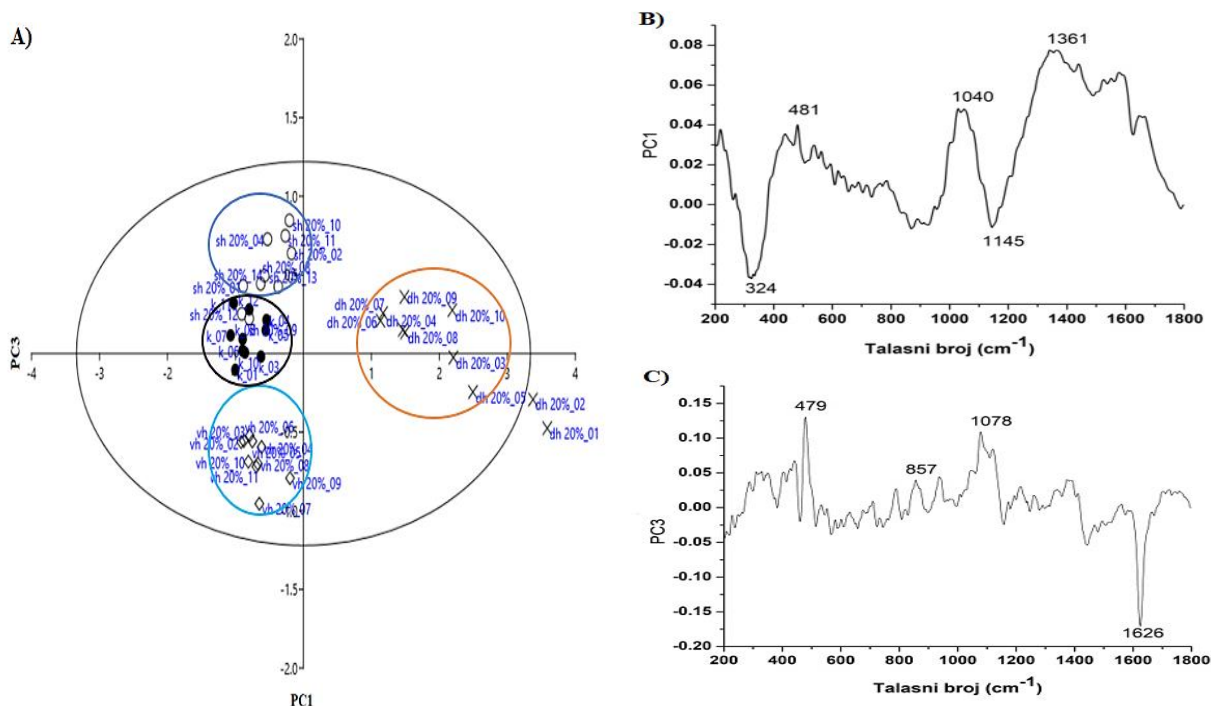
Slika 30. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih 10% udelima pogača dunje, šljive i višnje i kontrole.

Skraćenice: **K**-hleb od belog pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb obogaćen sa 10% pogače dunje; **Šh10**-hleb obogaćen sa 10% pogače šljive; **Vh10**-hleb obogaćen sa 10% pogače višnje.

Razlike u talasnim brojevima mogle su se objasniti različitim hemijskim sastavom polaznih pogača kojima su obogaćivani hlebovi i količinom vode prilikom postupka zamesa. Izdvojio se Vh10, koji je po hemijskoj karakterizaciji imao najniži sadržaj skroba i saharoze, dok između ostalih uzoraka nije bilo značajnih razlika.

Hlebovi sa 20% udelima pogača

Na Slici 31 A) prikazani su rezultati PCA posle obogaćivanja hlebova sa udelom pogača semena dunje, šljive i višnje od 20% i kontrole. Rezultati su pokazali izdvojene dve glavne komponente, PC1 i PC3. Prema PC1 uzorci su se razdvojili na K, Šh20 i Vh20, dok je drugoj grupi pripadao Dh20. U odnosu na PC3 uzorci su bili razdvojeni na Vh20, dok su drugoj grupi pripadali veći deo Dh20, Šh20 i značajan deo K. Na osnovu PCA skoro potpuno odvojen od svih uzoraka bio je Dh20, čime je potvrđeno da je dodavanje pogače dunje u udelu od 20% značajno uticalo na hemijski sastav hleba, a sami tim kasnije i na njegov kvalitet.



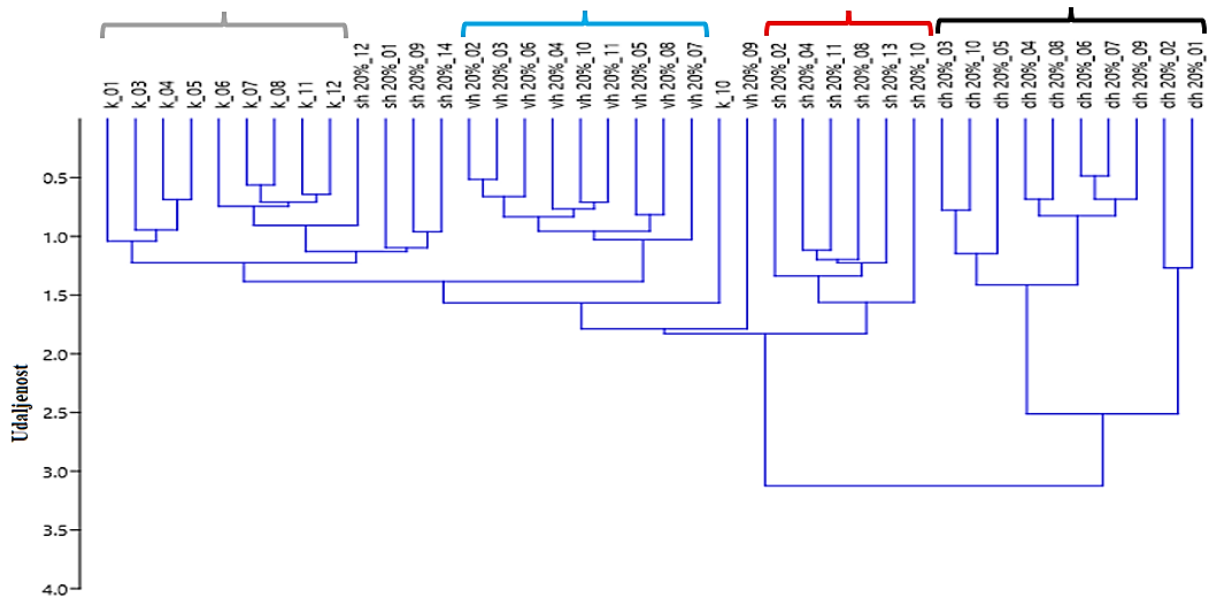
Slika 31. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima pogače dunje, šljive i višnje od 20%, i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.
 Skraćenice: **K**-kontrola; **Dh20**-hleb sa udelom pogače semena dunje od 20%; **Šh20**-hleb sa udelom pogače semena šljive od 20%; **Vh20**-hleb sa udelom pogače semena višnje od 20%.

Dijagram opterećenja po PC1 na Slici 31 B) pokazao je koje su varijable najviše uticale na razdvajanje uzoraka po grupama. Traka najvećeg intenziteta sa negativnom vrednošću bila je na 324 cm^{-1} , što je odgovaralo amorfnom skrobu (Nakajima i sar., 2022). Traka najvećeg intenziteta sa pozitivnom vrednošću bila je na 1361 cm^{-1} , koja je odgovarala amilozi i amilopektinu (Czekus i sar., 2019). Preostale trake koje je pokazao dijagram opterećenja na osnovu PC1 bile su na 481 cm^{-1} , 1040 cm^{-1} i 1145 cm^{-1} , koje su prema literaturnim podacima (Maharadika i sar., 2018; Gieroba i sar., 2022; Wang i Ting 1972) se odnosile na skrob i komponente skroba, uključujući monosaharide poput fruktoze i ksiloze.

Na Slici 31 C) dijagram opterećenja po PC3 pokazao je koje su varijable najviše uticale na grupisanje uzoraka. Izdvojile su se trake najvećeg intenziteta sa pozitivnom vrednošću na 479 cm^{-1} koja je prema Payne i Kurouski (2021) označavala skrob, i sa negativnom vrednošću na 1626 cm^{-1} koja je prema Kniese i sar. (2021) ukazivala na strukturu proteina (α -heliks, amid I). Analizom opterećenja moglo se potvrditi da su ispitivani uzorci imali amid I strukturu kao dominantu i da su se razlikovali po sadržaju skroba i odnosu amiloze i amilopektina u njemu. Preostale trake bile su primećene na 857 cm^{-1} , koja je odgovarala tirozinu (Klosok i sar., 2021) i na 1078 cm^{-1} koja se prema Mikkelsen i sar. (2010) odnosila na vibracije skroba.

Klaster analiza

Dendogramaska hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih sa udelom pogača od 20% pokazala je sličnost između uzoraka Šh20 i Dh20 na Slici 32, što je bilo u saglasnosti i sa PCA rezultatima.



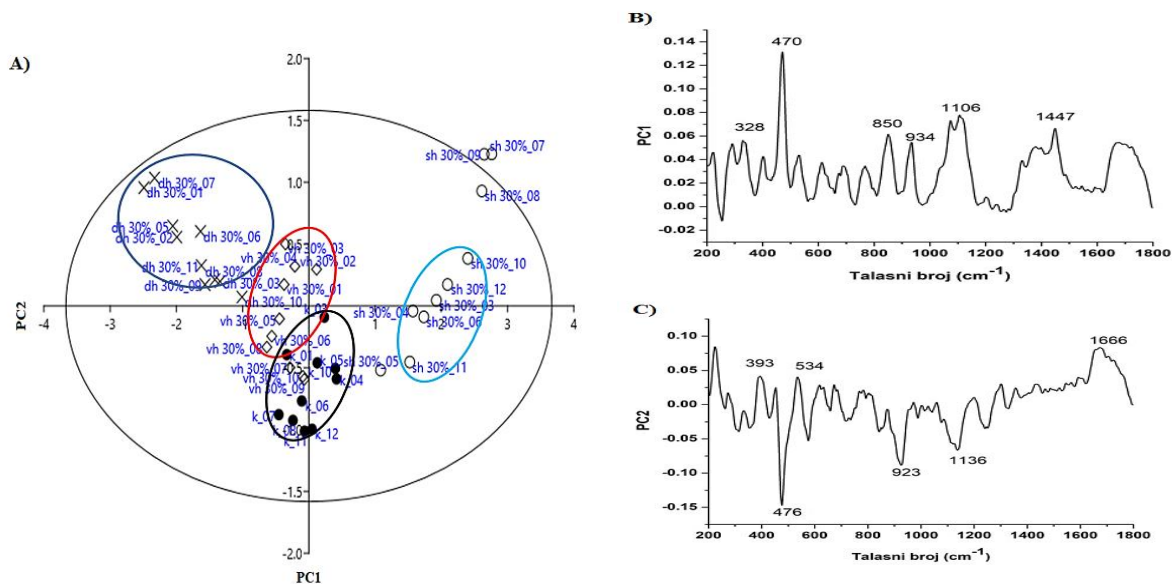
Slika 32. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih sa udelima pogača semena dunje, šljive i višnje od 20% i kontrole.

Skraćenice: **K**-hleb od belog pšeničnog brašna; **Dh20**-hleb obogaćen sa udelom pogače dunje od 20%; **Šh20**-hleb obogaćen sa udelom pogače šljive od 20%; **Vh20**-hleb obogaćen sa udelom pogače višnje 20%.

Najudaljeniji od svih uzoraka bio je K, što je bilo očekivano jer učešće pogača u udelu od 20% imalo je značajan uticaj na hemijski sastav i kvalitet gotovog hleba.

Hlebovi sa 30% udelima pogača

Na Slici 33 A) prikazani su rezultati PCA hlebova obogaćenih sa udelom pogača semena dunje, šljive i višnje od 30%. Izdvojile su se dve glavne komponente, PC1 i PC2. Na osnovu PC1 uzorci su se grupisali na Dh30 i delimično na K i Vh30, dok je drugoj grupi pripadao Šh30. Prema PC2 uzorci su se grupisali na Dh30 i delimično na Vh30 i Šh30, dok su drugoj grupi pripadali K i delimično Šh30.



Slika 33. PCA Ramanovih spektara obogaćenih hlebova sa udelima pogače dunje, šljive i višnje od 30%, i kontrole: A) PCA analiza: B) dijagram opterećenja.

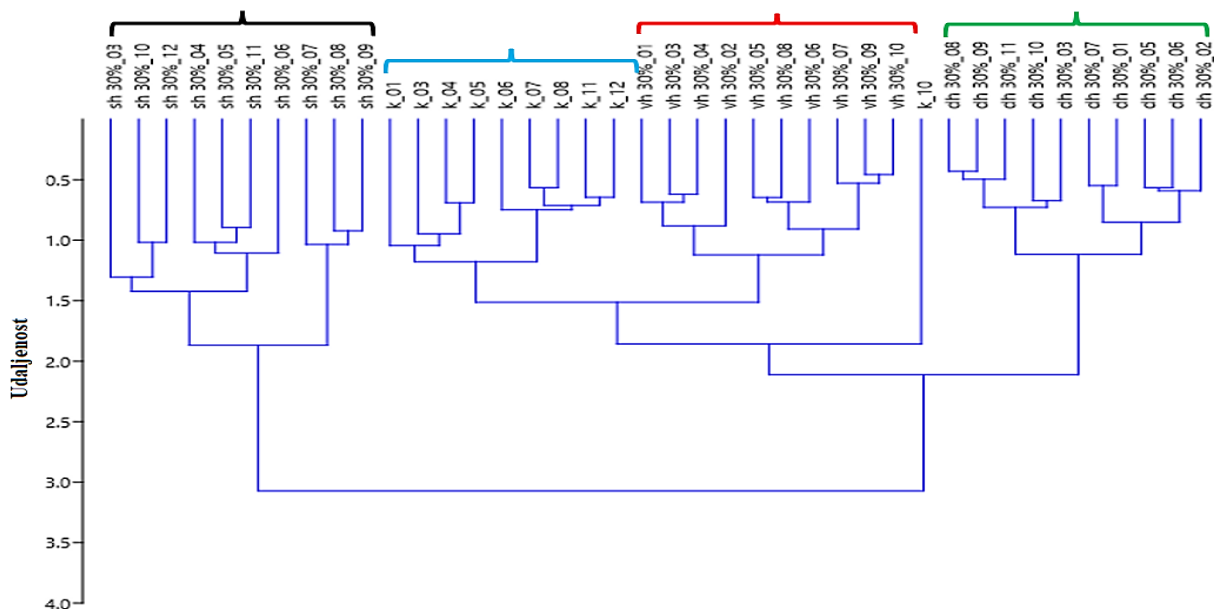
Skraćenice: **K**-kontrola; **Dh30**-hleb sa udelom pogače semena dunje od 30%; **Šh30**-hleb sa udelom pogače semena šljive od 30%; **Vh30**-hleb sa udelom pogače semena višnje od 30%.

Na Slici 33 B) dijagramom opterećenja prikazane su varijable koje su najviše uticale na razdvajanje uzoraka prema PC1. Najveći intenzitet imala je traka na 470 cm^{-1} , koja je bila pozitivna i prema Torbica i sar., (2023) odgovarala je amilozi i amilopektin. To je značilo da su se uzorci u najvećoj meri grupisali na osnovu sadržaja i odnosa amiloze i amilopektina, a moguće i zbog položaja glikozidnih veza u istim. Prmećene su trake na 328 cm^{-1} , koja je odgovarala amorfnom skrobu, kako su naveli Nakajima i sar. (2022). Traka na 850 cm^{-1} odgovarala je reziduima tirozina (Klosok i sar., 2021). Trake na 934 cm^{-1} i 1106 cm^{-1} su prema literaturnim podacima (Kizil i sar., 2002; Boyaci i sar., 2015) odgovarale glikozidnim vezama. Traka na 1447 cm^{-1} je prema Rodriguez i Kurouski (2023) mogla ukazivati na proteinsku strukturu koja je preovladavala u uzorcima, naročito na β -ploču.

Prema PC2 na Slici 33 C) prikazane su varijable koje su najviše uticale na razdvajanje uzoraka. Traka na 393 cm^{-1} označavala je prema Nakajima i sar. (2022) amorfni skrob. Najintenzivnija traka sa negativnom vrednošću bila je na 476 cm^{-1} , koja je prema Payne i Kurouski (2021) ukazivala na skrob. To je značilo da su se uzorci u značajnoj meri grupisali na osnovu sadržaja skroba. Traka na 534 cm^{-1} odnosila se na konformaciju disulfidnih mostova u proteinskoj strukturi, tj. dominantna je bila konformacija t-g-t, kako su naveli Klosok i sar. (2021). Na 923 cm^{-1} i 1136 cm^{-1} primećene su trake koje su se odnosile na saharozu i β -glukane u uzorcima (Wierchigroch i sar., 2017; Kniese i sar., 2021). Najintenzivnija traka pozitivne vrednosti bila je na 1666 cm^{-1} , koja je prema Kniese i sar. (2021) ukazivala na proteinsku strukturu uzoraka.

Klaster analiza

Na Slici 34 prikazana je hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih pogačama semena dunje, šljive i višnje u udelu od 30%.



Slika 34. Hijerarhijska klaster analiza hlebova obogaćenih sa udelima pogača semena dunje, šljive i višnje od 30% i kontrole.

Skraćenice: **K**-hleb od belog pšeničnog brašna; **Dh30**-hleb obogaćen sa udelom pogače dunje od 30%; **Šh30**-hleb obogaćen sa udelom pogače šljive od 30%; **Vh30**-hleb obogaćen sa udelom pogače višnje 30%.

Na osnovu dendogramске klaster analize uzorak Šh30 bio je najudaljeniji od ostalih. Na ovaj način je potvrđena PCA i hemijska analiza gotovih obogaćenih hlebova koja je pokazala da Šh30 isticao po svom hemijskom sastavu i antioksidativnoj aktivnosti. K je bio blizak sa Vh30, što znači da obogaćivanje hleba pogačom semena višnje nije u značajnoj meri uticalo na karakteristike hleba. Vrsta dodate pogače, kao i njen udeo imali su značajan uticaj na kvalitet obogaćenih hlebova.

5.16. Tekstura obogaćenih hlebova i kontrole

Tekstura se smatra višedimenzionalnim svojstvom. Određivanja teksture zasnivaju se obično na merenju sile. Kod hleba najčešće se određuje tvrdoća kao tekstura gotovog proizvoda, zbog povezanosti između tvrdoće sredine i percepcije svežine hleba kod potrošača (Carr i sar., 2006). Analiza teksture prvenstveno se odnosi na procenu mehaničkih karakteristika gde je materijal izložen kontrolisanoj sili iz koje se generiše kriva deformacije. Hleb dobrog kvaliteta ima visoko poroznu i finu, pravilnu strukturu gasnih ćelija u sredini. Sredina hleba je složen viskoelastičan materijal i njena tekstura je važan pokazatelj kvaliteta. Veću potražnju uglavnom imaju hlebovi mekše teksture (Korczyk-Szabó i Lacko-Bartošová, 2013).

Tvrdoća sredine hleba izražava se kao maksimalna sila potrebna za deformisanje uzorka (25%). Mala maksimalna sila ukazuje na meku teksturu sredine hleba. Prosečna tvrdoća sredine obogaćenih hlebova i kontrole prikazana je u Tabeli 29.

Tabela 29. Tekstura obogaćenih hlebova i kontrole

Uzorci	Tvrdoća 1. dan (N)	Tvrdoća 3. dan (N)	Tvrdoća 7. dan (N)	Promena svežine hleba posle 7 dana (%)
K	3,90±0,52 ^c	3,99±0,68 ^d	4,27±0,85 ^c	8,66
Dh10	6,75±1,32 ^d	8,27±1,68 ^{bc}	8,32±1,68 ^c	18
Dh20	11,05±0,42 ^c	12,26±0,86 ^{ab}	13,84±0,87 ^b	20,16
Dh30	14,96±2,41 ^a	16,32±2,15 ^a	19,01±3,77 ^a	21,30
Šh10	5,13±0,38 ^{de}	5,32±1,07 ^{cd}	6,13±1,07 ^c	16,31
Šh20	12,08±0,44 ^{bc}	14,34±0,81 ^a	14,65±0,77 ^{ab}	17,54
Šh30	14,11±0,49 ^{ab}	16,17±3,27 ^a	17,94±2,33 ^{ab}	21,34
Vh10	5,39±0,78 ^{de}	5,48±0,10 ^{cd}	5,84±0,36 ^c	7,71
Vh20	6,78±0,45 ^d	7,22±1,44 ^{cd}	8,13±1,86 ^c	16,60
Vh30	11,37±1,15 ^c	14,64±2,18 ^a	14,15±2,81 ^b	19,65

Rezultati izraženi na suhu materiju. *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje; N-njutt (jedinica).

U svežim uzorcima tvrdoća sredine hleba kretala se od 3,90±0,52 N (K) do 14,96±2,41 N (Dh30). Na ovaj parametar kvaliteta uticala je količina dodate pogače, tako što je tvrdoća rasla sa povećanjem udela pogače. Hlebovi sa 10% udelom pogača imali su približne vrednosti kao K. Izuzetak je bio Dh10 (6,75±1,32 N) koji je imao statistički značajno veću tvrdoću u odnosu na kontrolu. Isti trend bio je primećen i u uzorcima posle trećeg i sedmog dana skladištenja. Trećeg dana tvrdoća K je opet bila najniža (3,99±0,68 N), a Dh30 najviša (16,32±2,15 N). Najveća tvrdoća bila je primećena posle sedmog dana, kako se i pretpostavljalo. Kontrola se izdvajala sa najmanjom tvrdoćom (4,27±0,85 N), a Dh30 sa najvećom (19,01±3,77 N). Povećanje tvrdoće posle dodavanja pogača može se pripisati povećanom sadržaju proteina i dijetnih vlakana korišćenih pogača, kao i veličini čestica posle mlevenja. Na osnovu vrednosti promene svežine hleba posle sedam dana skladištenja, pogača višnje se izdvojila jer je pokazala najmanji uticaj u odnosu na pogače dunje i šljive. Obogaćivanje hleba pogačama imalo je uticaj na svežinu gotovog proizvoda.

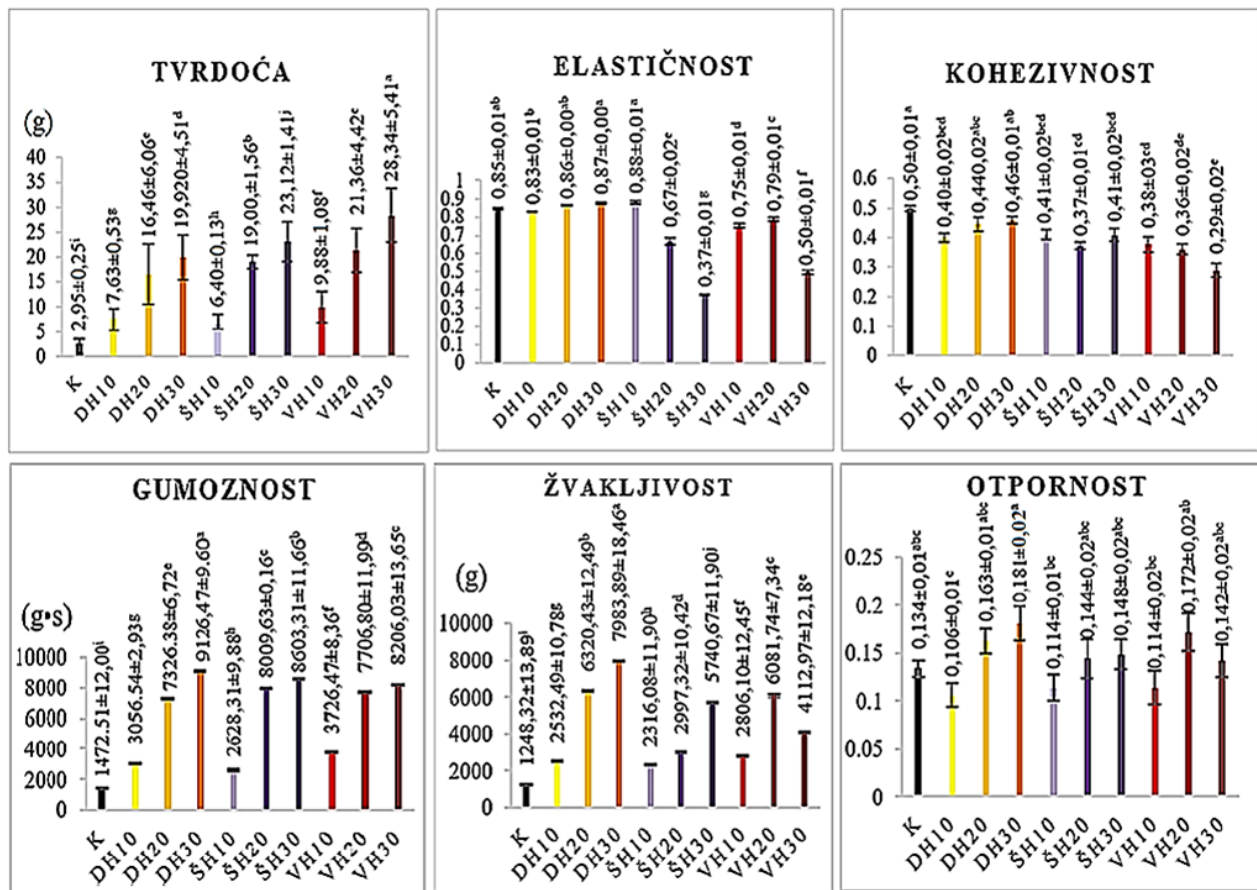
Teksturna svojstva obogaćenih hlebova i kontrole

Utvrđena teksturna svojstva, tvrdoća, elastičnost, kohezivnost, gumoznost, žvkljivost i otpornost, prikazana su u Slici 35. Tvrdoća se može definisati i kao gubitak mekoće sredine hleba (jedinica u N) (Koç i Kayabaşı, 2023). Tvrdoća, kao svojstvo teksture bila je 2,95±2,25 (K). U obogaćenim hlebovima tvrdoća se kretala od 6,40±0,13 (Šh10) do 28,34±5,41 g (Vh30). Na ovaj parametar kvaliteta dodate pogače imale su statistički značajan uticaj. Sa povećanjem udela pogače u hlebu, tvrdoća je rasla. Nagli skok primećen je kod 20% udela pogače, koji je bio skoro duplo veći u odnosu na 10% mešavine, kod svih vrsta pogača, dok su 30% udeli pokazali veću tvrdoću hleba za približno 3% kod pogače dunje, 4% kod pogače šljive i 8% kod pogače višnje. Svi obogaćeni hlebovi pokazali su veće vrednosti ovog svojstva teksture u odnosu na K.

Elastičnost se odnosi na način na koji se sredina proizvoda vraća u prvobitno stanje posle kompresije (Koç i Kayabaşı, 2023). Elastičnost ispitivanih uzoraka bila je 0,37±0,01 (Šh30) do 0,88±0,01 (Šh10). Elastičnost K bila je 0,85±0,01. Pogače dunje bez obzira na udeo i pogača šljive sa udelom od 10%, nisu uticali na elastičnost sredine hleba, tj. vrednosti su bile bliske vrednostima za K. Sa povećanjem udela, pogača šljive uticala je tako što se elastičnost smanjivala. Slično se moglo videti

kod pogače višnje, koja je imala malo odstupanje (20% udeo imao je najveću elastičnost, neznatno manju elastičnost imao je udeo od 10%, a najmanju je pokazao 30% udeo). Potrošači se obično odlučuju za hleb sa većom elastičnošću, jer se elastičnost vezuje za svežinu proizvoda (Koç i Kayabaşı, 2023).

Kohezivnost se odnosi na iznos deformacije koju materijal može da izdrži pre nego što pukne, ukupnu čvrstoću unutrašnjih veza koje drže proizvod kompaktnim (Koç i Kayabaşı, 2023). Kohezivnost K bila je $0,50 \pm 0,01$. Dodavanje pogača uticalo je na ovaj parametar kvaliteta. Svi obogaćeni hlebovi pokazali su niže vrednosti kohezivnosti u odnosu na K. Kohezivnost obogaćenih hlebova kretala se od $0,29 \pm 0,02$ (Vh30) do $0,46 \pm 0,01$ (Dh30). Sa povećanjem udela pogače dunje kohezivnost je blago rasla za 0,4 kod 20% i 0,6 kod 30% udela pogače dunje u odnosu na Dh10. Pogača šljive pokazala je identičan uticaj kod Dh10 i Dh30, dok je Dh20 imao nižu kohezivnost. Pogača višnje uticala je tako što je sa povećanjem udela kohezivnost opadala. Prema Koç i Kayabaşı (2023) opadanje kohezivnosti može biti posledica nižeg sadržaja vlage i intramolekularnih veza između komponenti hleba. Hleb visoke kohezivnosti je poželjan jer se lako formira u ustima, a ne mrvi se prilikom žvakanja, dok hleb niske kohezivnosti ima tendenciju da se mrvi, što može negativno uticati na prihvatanje od strane potrošača.



Slika 35. Teksturna svojstva kontrole i obogaćenih hlebova.

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost ± SD (n=3). Različita mala slova označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Gumoznost je svojstvo koje je blisko povezano sa tvrdoćom, i obično se definiše proizvod tvrdoće i kohezivnosti (Correa i sar., 2017). Najniža gumoznost bila je zapažena kod K ($1472,51 \pm 12,00$ gs). U obogaćenim hlebovima najniža gumoznost bila je kod Šh10 ($2628,31 \pm 9,88$ gs), a najviša kod Dh30 ($9126,47 \pm 9,60$ gs). Pogače su imale statistički značajan uticaj na gumoznost sredine hlebova. Sa povećanjem udela dodate pogače rasle su vrednosti ovog svojstva teksture. Pogače šljive i višnje imale su nagli skok vrednosti gumoznosti kod 20% udela u odnosu na 10% udele, dok su 30% udeli pogača šljive i višnje u proseku bili veći za 600 i 200 odgovarajućih jedinica u odnosu na 10% udele, redom. Pogača dunje imala je najveći uticaj, posle koje sledi pogača šljive i pogača višnje sa najnižim uticajem. Svi uzorci obogaćenih hlebova imali su veću gumoznost u odnosu na K.

Žvkljivost se odnosi na vreme potrebno da se uzorak sažvaće do konzistencije pogodne za gutanje (Lambert-Meretei i sar., 2010), ili na energiju neophodnu za žvakanje uzorka (Koç i Kayabaşı, 2023). Vrednost žvkljivosti K bila je $1248,32 \pm 13,89$ g. Pogača dunje uticala je na žvkljivost tako što je sa povećanjem udela pogače ovaj parametar rastao. Najniža vrednost žvkljivosti u obogaćenim hlebovima Šh10 ($2316,08 \pm 11,90$ g), a najviša kod Dh30 ($7983,89 \pm 18,46$ g). Dodate pogače imale su statistički značajan uticaj na svojstvo žvkljivosti. Sa povećanjem udela pogače, žvkljivost se uglavnom povećavala. Najveći uticaj na ovo svojstvo teksture imala je pogača dunje. Kod pogače šljive, primećen je bio trend rasta sa povećanjem udela pogače gde se najviše isticao Dh30. Žvkljivost je kod hlebova sa pogačom šljive bila niža u odnosu na hlebove sa pogačom dunje, skoro za 2000 g u proseku. Pogača višnje uticala je na povećanje žvkljivosti sa povećanjem udela, izuzev Vh30 koji je imao nižu žvkljivost od Vh20. Svi uzorci obogaćenih hlebova imali su minimalno duplo veću žvkljivost u odnosu na K.

Otpornost se odnosi na brzinu kojom se sredina oporavlja posle kompresije i bitna je karakteristika koja se odnosi na svežinu hleba (Koç i Kayabaşı, 2023). Otpornost K bila je $0,136 \pm 0,01$. U obogaćenim hlebovima najniža otpornost bila je $0,106 \pm 0,01$ (Dh10), a najveću otpornost pokazao je Dh30 ($0,181 \pm 0,02$). Hlebovi sa 10% udelom sve tri vrste pogača imali su manju otpornost u odnosu na K. Dh20 i Šh20 nisu se statistički značajno razlikovali od kontrole, tj. imali su sličnu otpornost dok je Vh20 imao nešto veću otpornost u odnosu na 10% udele i K. Udeo pogače dunje od 30% imao je najveći uticaj na ovo svojstvo teksture, dok su Šh30 i Vh30 imale slične vrednosti koje su bile niže u odnosu na Dh30 i nisu imale statistički značajan uticaj u poređenju sa kontrolom.

Ova varijacija je uzrokovana genotipom, klasom pšenice i sortom, kao i lokacijom uzgoja i godinom, metodom određivanja, vrstom i hemijskim sastavom brašna, primenjenom recepturom. Postupka proizvodnje, vrste pakovanja, uslova skladištenja itd.

5.18. Specifična zapremina obogaćenih hlebova i kontrole

Specifična zapremina kvantitativno se odnosi na performanse pečenja. Povećan sadržaj proteina u hlebu smanjuje zapreminu vekne hleba (Mercado i sar., 2022). Rezultati fizičkih karakteristika vekni hleba (dužina, širina i visina) i specifična zapremina, zapremina i težina vekni hleba prikazani su u Tabeli 30.

Zapremina K bila je $1258,89 \pm 8,25$ cm³. U obogaćenim hlebovima izmerena zapremina bila je od $544,28 \pm 16,58$ cm³ (Vh30) do $909,60 \pm 11,32$ cm³ (Šh10). Obogaćeni hlebovi imali su manju zapreminu u odnosu na K najmanje za 300 cm³. Pogače su imale statistički značajan uticaj na zapreminu hleba. Sa povećanjem udela pogača zapremina hleba se smanjivala, što se moglo objasniti povećanim sadržajem proteina u pogačama. Težina vekne K bila je $302 \pm 21,38$ g. U obogaćenim hlebovima težina je bila od $300 \pm 12,53$ g (Šh10) do $317 \pm 2,64$ g (Vh20). Na težinu vekni dodate pogače nisu imale statistički značajan uticaj.

Tabela 30. Fizičke karakteristike vekni kontrole i obogaćenih hlebova (srednja vrednost \pm SD)

Uzorci	Zapremina (cm ³)	Težina (g)	Specifična zapremina (cm ³ /g)	Dužina (mm)	Visina (mm)	Širina (mm)
K	1258,89 \pm 8,25 ^a	302 \pm 21,38 ^a	4,17 \pm 0,44 ^a	138,80 \pm 5,46 ^a	128,10 \pm 1,30 ^a	88,70 \pm 0,72 ^c
Dh10	863,80 \pm 11,91 ^{bc}	317 \pm 3,61 ^a	2,72 \pm 0,23 ^{bc}	135,50 \pm 5,07 ^a	87,40 \pm 1,91 ^d	94,10 \pm 0,95 ^b
Dh20	746,15 \pm 13,04 ^d	317 \pm 13,45 ^a	2,35 \pm 0,22 ^{bcd}	132,80 \pm 6,19 ^a	104,70 \pm 1,25 ^c	103,9 \pm 1,00 ^a
Dh30	666,87 \pm 14,51 ^e	309 \pm 6,00 ^a	2,16 \pm 0,26 ^{cd}	127,00 \pm 9,81 ^a	89,80 \pm 0,89 ^d	79,70 \pm 0,85 ^e
Šh10	909,60 \pm 11,32 ^b	300 \pm 12,53 ^a	3,05 \pm 0,26 ^d	128,50 \pm 12,59 ^a	109,60 \pm 0,62 ^b	86,00 \pm 1,31 ^{cd}
Šh20	657,12 \pm 22,54 ^e	302 \pm 8,18 ^a	2,18 \pm 0,19 ^{cd}	133,80 \pm 5,45 ^a	73,70 \pm 0,92 ^f	86,60 \pm 1,25 ^{cd}
Šh30	557,43 \pm 20,34 ^f	308 \pm 9,85 ^a	1,81 \pm 0,14 ^d	133,70 \pm 6,63 ^a	68,80 \pm 0,90 ^g	85,50 \pm 1,08 ^d
Vh10	848,52 \pm 22,96 ^c	304 \pm 6,24 ^a	2,79 \pm 0,20 ^{bc}	134,50 \pm 5,60 ^a	102,30 \pm 1,04 ^c	104,90 \pm 0,78 ^a
Vh20	686,91 \pm 18,34 ^e	317 \pm 2,64 ^a	2,17 \pm 0,19 ^{cd}	133,40 \pm 3,12 ^a	83,00 \pm 1,15 ^e	94,10 \pm 0,89 ^b
Vh30	544,28 \pm 16,58 ^f	312 \pm 3,00 ^a	1,74 \pm 0,15 ^d	124,70 \pm 0,92 ^a	67,70 \pm 0,80 ^g	82,30 \pm 0,82 ^e

*Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Specifična zapremina K bila je 4,17 \pm 0,44 cm³/g. Specifična zapremina obogaćenih hlebova bila je od 1,74 \pm 0,15 cm³/g (Vh30) do 3,05 \pm 0,26 cm³/g (Šh10). Dodate pogače imale su statistički značajan uticaj na ovaj parametar kvaliteta hleba, tako što su vrednosti bile redukovane sa povećanjem udela pogača. Specifična zapremina obogaćenih hlebova bila je statistički manja u poređenju sa K. Kako su naveli Mercado i sar. (2022) veći sadržaj proteina može negativno uticati na formiranje disulfidnih veza između glutenskih proteina, što se manifestuje manjom količinom vazdušnih mehurića u mreži glutena i samim tim nižom specifičnom zapreminom vekni. Srirejeki i sar. (2018) su ustanovili da različita zapremine vode dodata brašnu prilikom zamesa i optimalno vreme mešenja može uticati na specifičnu zapreminu hleba. Optimalna količina vode formira jaku glutensku mrežu. Slaba glutenska mreža dovodi do smanjenja zapremine testa tako da se smanjuje zapremina gotovog hleba. Što gluten jače drži formirani gas CO₂, hleb će imati veću zapreminu.

Dužina vekne K bila je 138,80 \pm 5,46 mm. Obogaćeni hlebovi imali su dužinu vekni od 124,70 \pm 0,92 mm (Vh30) do 135,50 \pm 5,07 mm (Dh10). Na dužinu vekni hleba dodavanje pogača u različitim udelima nije statistički značajno uticalo u poređenju sa K. Visina vekne K bila je 128,10 \pm 1,30 mm. U obogaćenim hlebovima vrednosti visine vekni kretale su se od 67,70 \pm 0,80 mm (Vh30) do 109,60 \pm 0,62 mm (Šh10). Visina vekni obogaćenih hlebova statistički se značajno razlikovala u odnosu na K. Dodavanjem pogača u udelima 10 i 20%, visina vekni se povećavala (sa izuzetkom pogače šljive kod koje je visina opadala sa povećanjem udela pogače), a dodavanjem 30% pogače uticalo je na smanjenje visine vekni u odnosu na udele od 20%. Širina vekne K bila je 88,70 \pm 0,72 mm. U obogaćenim hlebovima širina vekni bila je od 79,70 \pm 0,85 mm (Dh30) do 104,90 \pm 0,78 mm (Vh10). Dodavanje pogača značajno je uticalo na širinu vekni, izuzev Šh10 i Šh20, u odnosu na kontrolu.

Neusklađenost sa literaturom mogla se objasniti različitim vrstom pšenice, recepturom, postupkom proizvodnje hleba, uslovima skladištenja, uslovima i tipom metode određivanja.

5.19. Boja obogaćenih hlebova i kontrole

Svaku boju karakteriše zbir talasnih dužina različitog intenziteta. Svaka obojena supstanca selektivno apsorbuje svetlost vizuelnog dela spektra. Kada bela sunčeva svetlost sija na obojeni molekul, određeni deo svetlosnog spektra se apsorbuje, dok se drugi reflektuje i stvara utisak boje u oku posmatrača. Obojeni svetlosni snop koji dopire do oka u opsegu je talasnih dužina dominantnih boja. Osvetljenost je optički kvalitet boje i predstavlja meru intenziteta osećaja boje. Osvetljenost označava prosečnu refleksiju i klasifikuje se po opsegu u kom bela boja ima najveću, a crna najmanju

vrednost. CIE sistem boja koristi se za instrumentalno određivanje boje hrane (Popov-Raljić i sar., 2009).

Boja hleba (boja sredine i kore) određena je na svežim uzorcima. Boja kore utvrđena je na površini cele vekne hleba, dok je boja sredine određena na kriškama. Rezultati kolorimetrijskog određivanja boje prikazani su u Tabeli 31.

Tabela 31. Parametri boje sredine i kore uzoraka hleba

Uzorci	Boja sredine				Boja kore			
	L ₁ *	a ₁ *	b ₁ *	WI	L ₂ *	a ₂ *	b ₂ *	BI
K	73,36±3,44 ^a	-1,41±0,04 ^h	15,76±0,56 ^{de}	69,01	60,26±4,98 ^a	15,01±1,80 ^{ab}	37,43±0,60 ^a	108,66
Dh10	65,61±1,69 ^{bc}	1,38±0,15 ^f	14,57±0,71 ^{ef}	62,63	42,79±2,67 ^{ef}	15,37±0,25 ^{ab}	26,03±1,89 ^{de}	113,66
Dh20	61,26±2,86 ^{cd}	3,35±0,48 ^d	14,84±0,58 ^{ef}	58,39	51,02±2,76 ^{bc}	13,89±1,35 ^b	30,50±0,73 ^c	105,35
Dh30	58,60±1,97 ^{de}	4,55±0,40 ^c	14,45±0,55 ^f	55,92	46,70±2,38 ^{cde}	13,88±0,87 ^b	28,98±1,28 ^{cd}	112,03
Šh10	61,75±2,25 ^{cd}	2,54±0,48 ^e	21,04±0,89 ^b	56,27	52,63±1,26 ^b	16,47±0,52 ^a	33,76±0,55 ^b	117,67
Šh20	58,89±2,08 ^{de}	6,10±0,21 ^b	25,53±0,45 ^a	51,13	48,81±1,56 ^{bcd}	16,58±0,72 ^a	31,41±1,99 ^{bc}	120,00
Šh30	54,41±2,98 ^e	6,89±0,26 ^a	25,70±0,22 ^a	47,30	43,54±1,37 ^{def}	15,29±1,37 ^{ab}	30,02±0,46 ^c	131,45
Vh10	67,82±2,20 ^b	0,10±0,02 ^g	16,45±0,59 ^d	63,86	40,57±2,45 ^f	15,90±0,44 ^{ab}	23,40±2,62 ^e	109,42
Vh20	62,92±1,47 ^{bcd}	1,47±0,22 ^f	19,00±0,66 ^c	58,35	48,10±1,82 ^{bcd}	16,57±0,51 ^a	31,17±1,26 ^{bc}	121,34
Vh30	62,30±1,11 ^{cd}	2,42±0,12 ^e	20,93±0,48 ^b	56,81	46,60±1,75 ^{cde}	16,93±0,60 ^a	30,79±1,30 ^{bc}	125,53

Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje; **L***-svetloća; **a***-crven ton; **b***-žuti ton; **WI**-indeks beline; **BI**-indeks zapečenosti.

Vrsta i količina dodate pogače imale su značajan uticaj na parametar L₁*, a₁* i b₁* sredine hleba. Vrednosti parametra L₁* opadale su sa povećanjem udela dodate pogače, u slučaju sve tri vrste dodatih pogača, dok je K imala najveću vrednost u poređenju sa svim uzorcima hleba. Šh30 imao je najniže vrednosti parametra L* (54,41±2,98), a najviše vrednosti parametra L* bile su kod K (73,36±3,44). Vrednosti parametara a₁* i b₁* rasle su sa povećanjem udela pogače (u slučaju sve tri vrste pogače). Hleb Vh10 imao je najniži udeo crvenog tona (0,10±0,02), dok je najveću vrednost a₁* imao hleb Šh30 (6,89±0,26). Izdvojila se negativna vrednost a₁* kod K, koja je ukazivala na odstustvo crvenog tona u boji sredine. Najnižu vrednost parametra b₁* imao je hleb Dh10 (14,57±0,71), a najveći udeo žutog tona imao je hleb Šh30 (25,70±0,22). Vrednosti indeksa beline potvrdile su dobijene rezultate, tj. najveći WI bio je zastupljen kod K (69,01), a najniži kod Šh30 (47,30). Prema Popov-Raljić i sar. (2009) boja sredine hleba može zavisiti od veličine čestica brašna i dodatih pogača. Što je manja veličina čestica, boja sredine trebalo bi da bude svetlija i obrnuto.

Sa aspekta boje kore, vrsta i količina dodate pogače imale su statistički značajan uticaj na udeo svetloće (L₂*). Najniže vrednosti ovog parametra bile su utvrđene kod Vh10 (40,57±2,45), a najviše kod K (60,26±4,98). Kod uzoraka hlebova sa supstituisanim delom brašna, utvrđeno je da su najviše vrednosti parametra L₂* bile kod hleba sa 20% udelom pogača. Najveći udeli crvenog tona bili su utvrđeni kod uzorka Vh30 (16,93±0,60), a najniži kod Dh30 (13,88±0,87). Najniži udeo žutog tona bio je zapažen kod Vh10 (23,40±2,62), a najviši kod K (37,43±0,60). Utvrđeno je da je BI bio najniži kod Dh20 (105,35), a najviši kod Šh30 (131,45). Boja ispitivanih uzoraka prikazana je na Slici 36. Boja kore hleba u najvećoj meri zavisi od Majardovih reakcija koje se odvijaju tokom postupka pečenja (Popov-Raljić i sar., 2009).



Slika 36. Poja uzoraka hleba.

Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Pojavu povećanja udela crvenog tona sredine sa povećanjem udela dodatih pogača, Kowalczewski i sar. (2019) objasnili su povećanjem sadržaja antocijana u pogačama, što se može uzeti kao pretpostavka i u ovom istraživanju. Vrednosti parametra L^* imale su trend opadanja sa povećanjem udela dodate pogače u ovom istraživanju, što je bio slučaj i u radu pomenutih autora koji su ispitivali parametre boje sredine hleba sa 5, 10 i 15% dodate pogače maline i istih procenata pogače jagode.

Rezultati Pojić i sar. (2015) približni su vrednostima parametara boje za sredinu i koru pšeničnog hleba u ovom istraživanju. U njihovom istraživanju rezultati su bili L^* 71,58, a^* 0,73, b^* 18,61 za sredinu i L^* 56,92, a^* 12,10, b^* 30,86 za koru hleba od čistog pšeničnog brašna. U radu Ahmad i sar. (2018) koji su ispitivali proteinski hleb obogaćen sa 2, 4 i 6% semena i uljanih pogača kumina i kima može se uvideti da je povećanje nivoa supstitucije praćeno smanjenjem vrednosti L^* i povećanjem vrednosti a^* i b^* sredine hleba, što je u skladu sa ovim istraživanjem. Jahan i sar. (2023) ispitivali su parametre kvaliteta hleba sa različitim udelom praha semena urmi (1%, 5% i 10%), gde su se za boju kore i sredine vrednosti svetloće i žuti ton smanjivale, dok su se vrednosti crvenog tona povećavale sa povećanjem dodatog udela praha semena urmi. Informacije o parametrima boje hlebova obogaćenih uljanim pogačama semena dunje, šljive ili višnje nisu bili dostupni u literaturi.

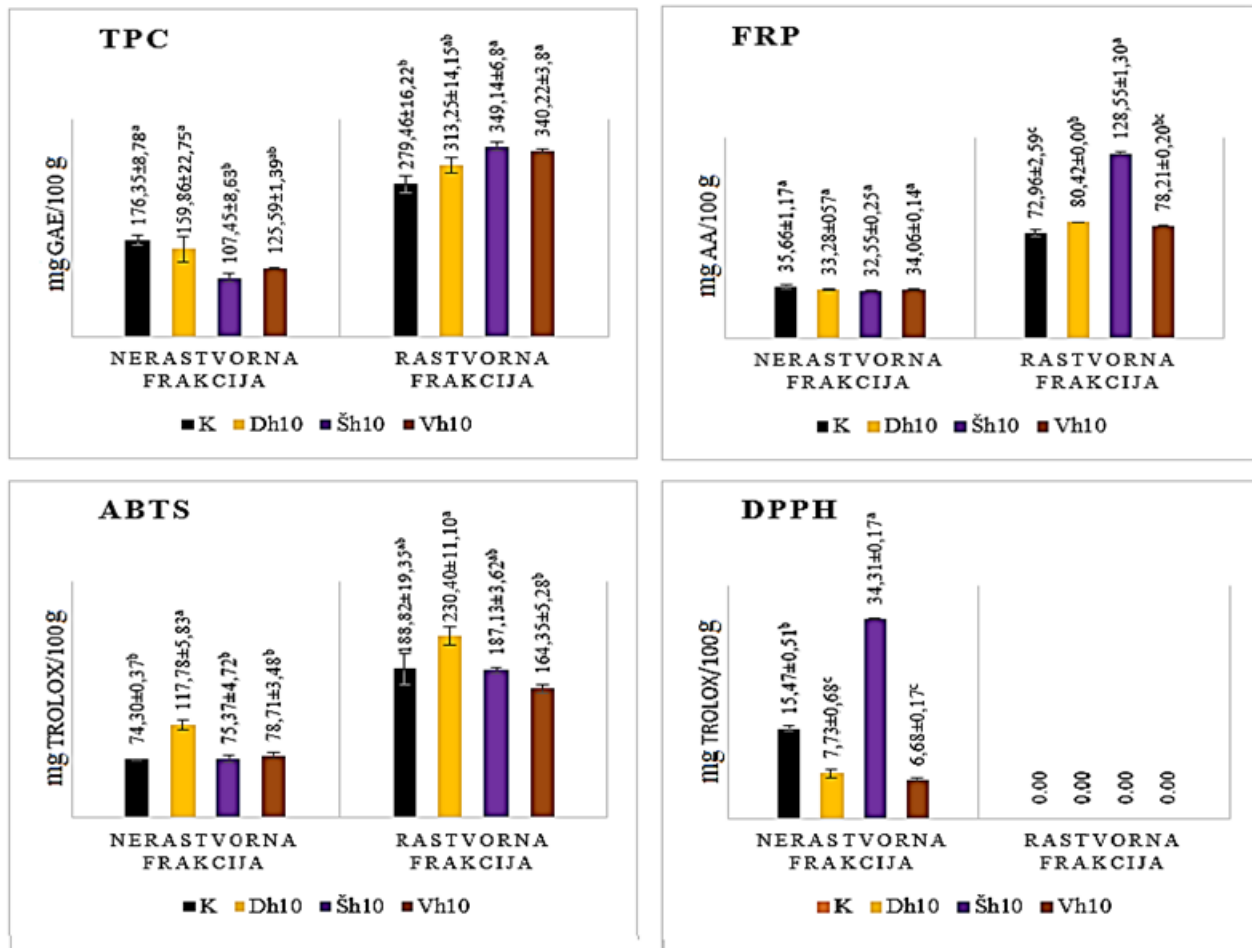
Variranja u rezultatima mogla su se objasniti recepturom hlebova, vrstom upotrebljenih uljanih pogača, tehnološkim postupkom proizvodnje i sl.

5.20. *In vitro* biodigestija obogaćenih hlebova i kontrole

Antioksidativnost posle in vitro digestije

Rezultati ukupnih fenolnih komponenti (TPC) prikazani su na Slici 37. Dobijene TPC vrednosti nerastvorne frakcije bile su $176,35 \pm 8,78$ mgGAE/100g (K), $159,86 \pm 22,75$ mgGAE/100g (Dh10), $107,45 \pm 8,63$ mgGAE/100g (Šh10) i $125,59 \pm 1,39$ mgGAE/100g (Vh10). Sadržaj fenolnih komponenti se razlikovao u zavisnosti od vrste dodate pogače. Statistički značajno se razlikovao Šh10 čiji je sadržaj TPC bio niži u odnosu na druge uzorke. TPC rezultati rastvorljive frakcije bili su $279,49 \pm 16,22$ mgGAE/100g (K), $313,25 \pm 14,15$ mgGAE/100g (Dh10), $349,14 \pm 6,80$ mgGAE/100g (Šh10) i $340,22 \pm 3,80$ mgGAE/100g (Vh10). K se izdvajala od obogaćenih hlebova, po tome što je sadržaj TPC bio najniži. U poređenju sa nedigestovanim hlebom (posmatrano za iste uzorke Tabela 27), posle *in vitro* digestije ukupna antioksidativnost bazirana na nerastvorljivoj i rastvorljivoj frakciji bila je nekoliko puta veća: kod K 8,08 puta, Dh10 9,35 puta, Šh10 6,99 puta, Vh10 7,57 puta. Povećanje TPC sadržaja posle *in vitro* digestije mogla se objasniti aktivnošću enzima i pH uslovima (pankreatin, žučne soli itd.) koji su omogućili oslobađanje fenolnih komponenti iz matriksa hleba. Pinto i sar. (2023) objašnjavaju povećanje TPC vrednosti posle *in vitro* gastrointestinalnog varenja tako da se

koncentracije fenola i flavonoida oslanjaju na fazu varenja, uglavnom usled nestabilnosti fenola izloženih digestivnom koktelu i pH promenama koje podržavaju njihovu degradaciju i biotransformaciju u jednostavnije i dostupne molekule.



Slika 37. Grafički prikaz TPC, FRP, ABTS•+ i DPPH• vrednosti nerastvornih i rastvornih frakcija analiziranih uzoraka hleba.

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost ± SD (n=3). *Različita mala slova u kolonama označavaju statistički značajne razlike srednjih vrednosti između uzoraka na nivou značajnosti 0,05 na osnovu Tuckey testa. Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **GAE**-galna kiselina; **AA**-askorbinska kiselina; **TPC**-sadržaj ukupnih polifenola; **FRP**-redukujuća svojstva; **ABTS•+**-sposobnost sakupljanja ABTS•+-radikala; **DPPH•**-sposobnost sakupljanja DPPH•-radikala.

Izmerena redukujuća svojstva (FRP) nerastvorne frakcije ispitivanih uzoraka bila su 35,36±1,17 mgAA/100g (K), 33,28±0,57 mgAA/100g (Dh10), 32,55±0,25 mgAA/100g (Šh10) i 34,06±0,14 mgAA/100g (Vh10). Između ispitivanih uzoraka nije bilo značajne vrednosti, tj. vrednosti redukujućeg svojstva bila su slična. Kod nerastvorne frakcije utvrđen je bio statistički značajan uticaj na FRP vrednosti. Izmerene vrednosti bile su 72,96±2,59 mgAA/100g (K), 80,42±0,00 mgAA/100g (Dh10), 128,55±1,30 mgAA/100g (Vh10) i 78,21±0,20 mgAA/100g (Vh10). K i Vh10 imale su približne vrednosti, što znači da su pogača dunje i šljive statistički značajno uticale na FRP. Vrednosti nerastvorne frakcije svih uzoraka bile su niže u poređenju sa nedigestivnim uzorcima, dok su vrednosti rastvorne frakcije bile skoro duplo više u odnosu sa nedigestivnim uzorcima (Tabela).

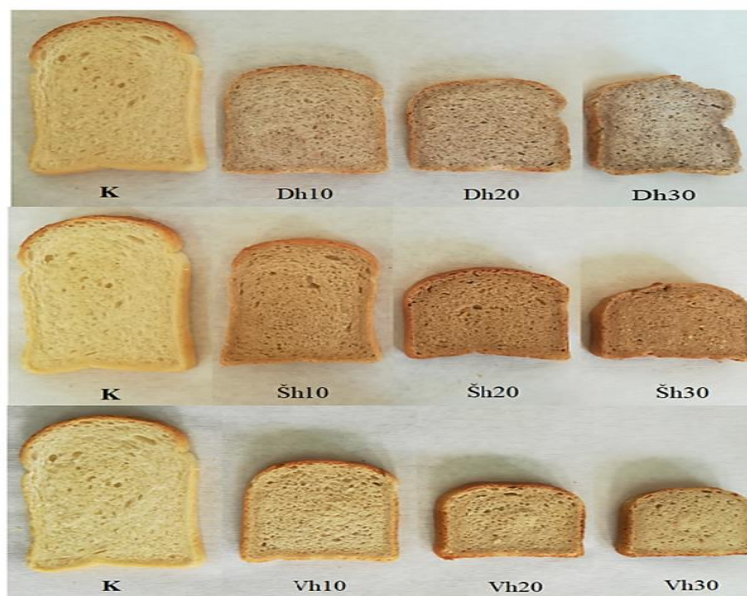
Vrednosti ABTS⁺ nerastvorne frakcije ispitivanih uzoraka bile su 74,30±0,37 mgTrolox/100g (K), 117,78±5,83 mgTrolox/100g (Dh10), 75,37±4,72 mgTrolox/100g (Šh10) i 78,71±3,48 mgTrolox/100g (Vh10). Statistički značajno izdvojio se Dh10, dok su ostali uzorci imali približne ABTS⁺ vrednosti i između njih nije bilo statistički značajne razlike. U poređenju sa nedigestivnim uzorcima, ABTS⁺ posle *in vitro* digestije bile su veće 2,37 puta (K), 4,64 puta (Dh10), 2,43 puta (Šh10) i 2,89 puta (Vh10). Vrednosti nerastvorne frakcije bile su znatno više u odnosu sa nerastvornom. Utvrđene ABTS⁺ vrednosti rastvorne frakcije bile su 88,82±19,35 mgTrolox/100g (K), 230,40±11,10 mgTrolox/100g (Dh10), 187,13±3,62 mgTrolox/100g (Šh10) i 164,35±5,28 mgTrolox/100g (Vh10). Statistički značajno se razlikovao uzorak Dh10, dok su ostali uzorci imali približne vrednosti. Vrednosti ABTS⁺ rastvorne frakcije u odnosu na nedigestivne uzorke bile su veće 2,83 puta (K), 9,08 puta (Dh10), 6,03 puta (Šh10) i 6,03 puta (Vh10).

Utvrđene DPPH[•] vrednosti nerastvorne frakcije bile su 15,47±0,51 mgTrolox/100g (K), 7,73±0,68 mgTrolox/100g (Dh10), 34,31±0,17 mgTrolox/100g (Šh10) i 6,68±0,17 mgTrolox/100g (Vh10). Izdvojili su se uzorci K i Šh10 koji su se statistički značajno razlikovali međusobno i od ostalih uzoraka, a Dh10 i Vh10 su imali približne vrednosti. U poređenju sa nedigestivnim uzorcima DPPH[•] nerastvorna frakcija K je posle *in vitro* digestije bila veća 1,49 puta, Dh10 bila je 1,31 puta manja, Šh10 3,05 puta veća i Vh 1,32 puta manja. Nepostojanje rastvorne frakcije moglo se objasniti time da u uzorcima nisu postojali lipofilni antioksidanti, tj. da su enzimi uticali na oslobađanje hidrofилnih antioksidativnih jedinjenja sa kojima DPPH[•] radikal mogao da reaguje.

U literaturi nema dovoljno podataka o primenjenoj metodi na ovoj vrsti uzoraka, te nije bilo moguće poređenje podataka.

5.21. Senzorna ocena obogaćenih hlebova i kontrole

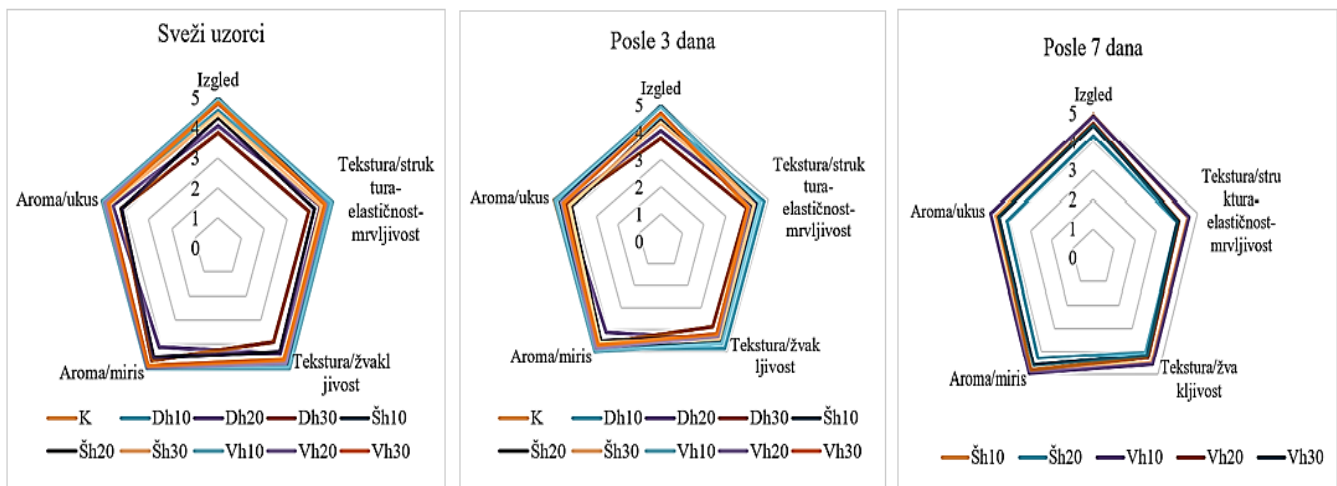
Izgled kontrole i obogaćenih hlebova prikazan je na Slici 38. Potrošači su sve zahtevniji u pogledu kvaliteta, svežine, nutritivnih i senzornih svojstava hleba. Čulna percepcija ima važnu ulogu u preferencijama potrošača i prodaji hleba. Primena tehnika senzorne analize važan je alat u pekarskoj industriji s obzirom na to da ova industrija nudi proizvod garantovanog kvaliteta koji je poznat i definisan na razumljiv način za potrošače. Precizna senzorna karakterizacija olakšava formulaciju novih proizvoda (Elía, 2011). Rezultati senzorne procene kontrolnog i obogaćenih hlebova prikazani su na Slici 39.



Slika 38. Izgled kontrolnog i obogaćenih hlebova

Senzorna analiza pokazala je da su kontrolni i obogaćeni hlebovi vrlo dobrog do odličnog kvaliteta. Ocene su se kod svežih uzoraka kretale od 4,11 (Dh30) do 4,98 (Vh10). Kontrola je bila ocenjena 4,82. Pojedinačno po svojstvima, izgled je bio najbolji kod Šh10 (4,975), a najmanje privlačan kod Dh30 (3,825). Na Slici 38 vidi se da Dh30 imao malu zapreminu vekne, slaninaste slojeve, nepravilan oblik i pukotine na spoljašnjoj strani. Po strukturi isticao se Vh10 (4,95) koji je imao kompaktnu strukturu, prijatnu boju a najniže ocenjenu strukturu imao je Dh30 (3,92). Po žvakljivosti isticao se Vh10 (5,00), a najmanje prihvatljivu žvakljivost pokazao je Dh30 (3,90). Najbolje ocenjen miris imao je uzorak Vh10 (5), a najmanje privlačan Dh20 (4,40). Po ukusu su se isticali K (5) i Vh10 (5), dok je Dh20 imao najniže ocenjen ukus (4,12).

Najizraženiji utisak koji je K ostavila na ocenjivače ticao se izgleda proizvoda. Osam od deset ocenjivača prokomentarisalo je da je zapremina vekne velika i da im odaje utisak da je hleb pun aditiva. Za Dh10 važno je mišljenje da ga karakteriše neutralan miris i blag ukus koji je veoma sličan kontroli, i ujednačena struktura. Kod uzorka Dh20 preovladavao je i bio je usaglašen utisak da je hleb primetno žilav i da ima osetnu aromu na kvasac, vrenje. Svojstva Dh30 bila su veoma izražena: izgled je opisan kao tigrast, neujednačene boje, miris je bio izražen na amigdalini i marcipanu (kod 7 od 10 ocenjivača) i ukus je podsećao na marcipan koji je zaostajao posle gutanja. Aroma Šh10 ocenjivače je asocijirala na polubeli hleb, sa neutralnim mirisom, šest od deset ocenjivača je primetilo blagu prijatnu kiselost, sa blago suvim ivicama. Kod Šh20 utisci ocenjivača bili su usaglašeni, primećeno je bilo blago odvajanje slojeva i mala gorčina na ukusu. Po izgledu Šh30 je ocenjivače podsećao na ražani hleb, ukus je bio prijatan sa blagom gorčinom, a preovladavao je utisak da su tekstura i aroma mnogo bolje u poređenju Šh20. Vh10 izdvajao se aromom, osetio se blagi miris na seme višnje, izrazito prijatne arome, izraženog i kolačastog ukusa. Kod Vh20 ocenjivači su se složili oko ujednačenog izgleda, mrvljive strukture i izraženog mirisa. Vh30 se izdvajao intenzivnijim ukusom marcipana (9 od 10 ocenjivača).



Slika 39. Rezultati senzorne analize kontrolnog hleba i obogaćenih hlebova. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost \pm SD ($n=10$).

Skraćenice: **K**-hleb od pšeničnog brašna; **Dh10**-hleb sa 10% pogače dunje; **Dh20**-hleb sa 20% pogače dunje; **Dh30**-hleb sa 30% pogače dunje; **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Šh30**-hleb sa 30% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

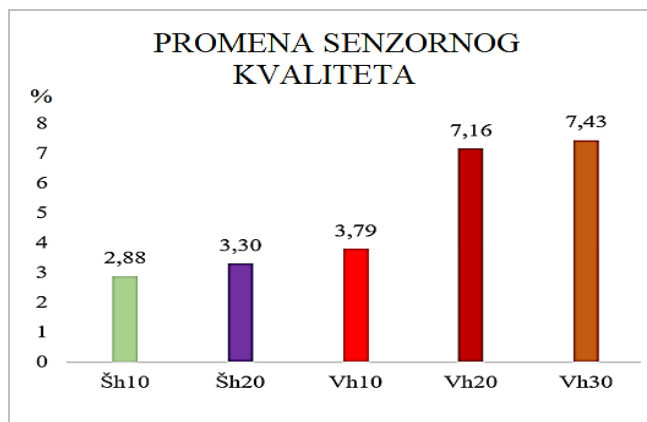
Posle tri dana skladištenja hlebovi su zadržali vrlo dobar do odličan kvalitet sa ocenama od 4,17 (Dh30) do 4,82 (Vh10). Najniže ocenjen izgled imao je Dh30 (3,80), a najbolji izgled bio je kod Šh10 (4,95) što se poklapalo sa ocenama kod svežih uzoraka. Skladištenje od tri dana nije imalo značajan uticaj na izgled hlebova u poređenju sa svežim. Struktura je bila najmanje prihvatljiva kod Dh30 (3,97),

a najprihvatljivija kod Dh10 (4,77). Žvakljivost je bila najbolja kod Dh10 (4,82) a najniže ocenjeno svojstvo žvakljivosti bilo je kod Dh10 (3,87). Miris je najniže ocenjen kod Dh20 (4,10), a najbolji miris bio je utvrđen kod Vh10 (4,97). Kontrolni uzorak je prednjačio sa svojstvom ukusa (4,95).

Kod K utisci ocenjivača bili su usaglašeni da je mrvljivost izraženija nego kod svežeg uzorka, bolja žvakljivost u poređenju sa svežom K, odlična elastičnost, svojstvenog mirisa (10 od 10 ocenjivača). Dh10 se izdvojio aromom, kao pravi hleb po mirisu i ukusu. Za Dh20 nije bilo deskriptivnih komentara. Utisci za Dh30 bili su da je žvakljivost bila bolja u odnosu na svež uzorak, zaostaje malo na nopcima, tigrast izgled. Šh10 bio je okarakterisan izrazito suvljom teksturom u odnosu na svež uzorak (7 od 10 ocenjivača), blagim mirisom i malom mrvljivošću. Kod Šh20 dominantan je bio gorkast ukus (6 od 10 ocenjivača), zapremina je bila primetno manja, sa suvom sredinom i ravnomerno raspoređenim porama. Šh30 se izdvojio izraženom gorčinom i mirisom na benzaldehid. Dominantno svojstvo kod Vh10 bilo je mrvljivost, a kod Vh20 izražena mrvljivost. Vh30 se karakterisao ujednačenim i ravnomerno raspoređenim porama, prijatnim kiselkastim ukusom i intezivnim mirisom, i primetnom mrvljivošću.

Posle sedmog dana skladištenja senzorni kvalitet hleba je opao. Značajan deo uzoraka nije bilo moguće oceniti jer ih je napala plesan. Od uzoraka koji nisu bili plesnivi, najbolje se pokazala Vh10 (4,79), a najniži kvalitet bio je kod Šh20 (4,13). Po izgledu se izdvajao Šh10 (4,92), a sa najlošijim izgledom izdvojio se Šh20 (4,22). Vh10 je prednjačio po strukturi (4,57), a najniže ocenjenu strukturu imao je Šh20 (4,02). Po žvakljivosti takođe se isticala Vh10 (4,57), a najlošiju žvakljivost imao je Šh20 (4,05). Najbolji miris i dalje je bio kod Vh10 (4,95), a najniže ocenjen miris bio je kod Šh20 (4,3). Ukus je najbolje ocenjen kod Vh10 (4,90), a najlošije kod Šh20 (4,12).

Uzorak Šh10 je posle sedam dana skladištenja zadržao odličnu boju sredine koja je ocenjivačima ličila na polubeli hleb (7 od 10), sa blago kiselim ukusom (6 od 10), primetnom mrvljivošću i malo suvljim ivicama. Za Šh20 preovladavao je utisak suvoće (9 od 10 ocenjivača) i bila je primećena blaga gorčina na ukusu. Vh10 isticao se svojstvom arome koja je bila okarakterisana blagim i prijatnim mirisom, odličnim ukusom sa nagoveštajem na višnje. Kod Vh20 i Vh30 usaglašeno je bilo da je izražena mrvljivost.



Slika 40. Promena senzornih karakteristika u% posle 7 dana skladištenja.

Skraćenice: **Šh10**-hleb sa 10% pogače šljive; **Šh20**-hleb sa 20% pogače šljive; **Vh10**-hleb sa 10% pogače višnje; **Vh20**-hleb sa 20% pogače višnje; **Vh30**-hleb sa 30% pogače višnje.

Dodavanje pogača uticalo je na senzorna svojstva hlebova i nutritivni kvalitet. Ukupna promena senzornih karakteristika posle 7 dana skladištenja na sobnoj temperaturi prikazana je na Slici 40. Najviše promena primćeno je kod Vh30, kod kog se senzorni kvalitet smanjio za 7,43%. Najmanje promena bilo je zapaženo kod Šh10, čiji se senzorni kvalitet smanjio za 2,88%. Kao najbolje ocenjeni

hlebovi izdvojili su se Dh10, Šh10 i Vh10. Dodavanje 10% udela sve tri vrste pogača pored senzorne prihvatljivosti, nutritivno su značajno obogatili hleb, naročito u smislu dijetnih vlakana i proteina.

5.22. PCA obogaćenih hlebova i kontrole

Bartlett-ov test i Kajzer-Mejer-Olkinov (KMO) test, na datom setu podataka o hlebu, ukazali su na opravdanost primene PCA. Vrednost koeficijenta KMO iznosila je 0,71, a pokazatelj Bartlett-ovog testa bio je značajan ($p=0,000$).

Tabela 32. KMO i Bartlett-ov test

Kaiser-Meyer-Olkin pokazatelj adekvatnosti uzorka	0,709
Bartlett-ov test sferičnosti	15266,223
Approx. Chi-Square	,891
df	,000
Sig	

Korelaciona matrica polaznih varijabli (Tabela 32) potvrdila je prikladnost i opravdanost podataka za sprovođenje postupaka PCA analize. Zbog njene dimenzije matrica je data u Prilogu. Na osnovu izračunate ukupne objašnjene varijanse ispitivanih promenljivih (Tabela 33) i Kajzerovog kriterijuma izdvojilo se šest glavnih komponenti.

Tabela 33. Ukupno objašnjena varijansa

Komponenta	Početne sopstvene vrednosti			Ekstrakcija suma učitanih kvadrata		
	Ukupno	% od varijanse	Kumulativno%	Ukupno	% od varijanse	Kumulativno%
1	21,916	49,809	49,809	21,916	49,809	48,809
2	8,945	20,329	70,138	8,945	20,329	70,138
3	4,376	9,946	80,084	4,376	9,946	80,084
4	2,996	6,808	86,893	2,996	6,808	86,893
5	2,501	5,685	92,578	2,501	5,685	92,578
6	1,365	3,103	95,681	1,365	3,103	95,681
7	,745	1,694	97,375			
8	,698	1,587	98,961			
9	,457	1,039	100,000			
10	1,063E-15	2,415 E-15	100,000			
11	7,806 E-16	1,774 E-15	100,000			
12	6,416 E-16	1,458 E-15	100,000			
13	6,059 E-16	1,377 E-15	100,000			
14	5,185 E-16	1,178 E-15	100,000			
15	4,951 E-16	1,125 E-15	100,000			
16	4,747 E-16	1,079 E-15	100,000			
17	3,841 E-16	8,729 E-16	100,000			
itd.						

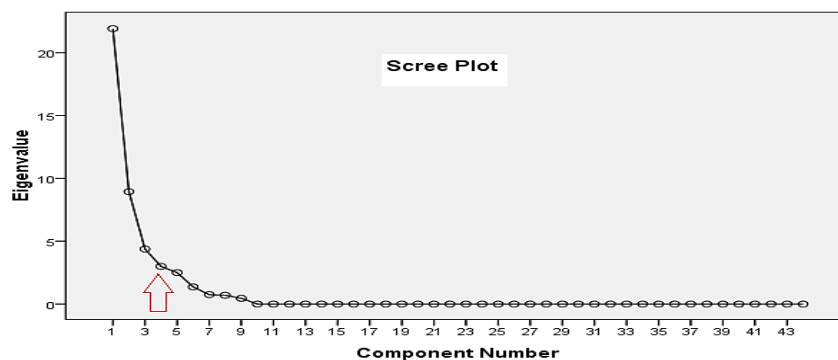
Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti.

Prvih šest komponenti imale su karakteristične vrednost iznad 1, (21,916, 8,945, 4,376, 2,996, 2,501 i 1,365). Ove komponente su objasnile ukupno 95,681% svih varijansi. Prva komponenta objasnila je 49,809%, druga 20,329%, treća 9,946%, četvrta 6,808%, peta 5,685% i šesta glavna komponenta 3,103% ukupnih varijansi posmatranih polaznih promenljivih (Tabela 34).

Tabela 34. Kriterijum za broj komponenata za ekstrakciju

Faktori	Karakteristični koreni	Procenat ukupnog variranja	Kumulanta (%)
1	21,916	49,809	49,809
2	8,945	20,329	70,138
3	4,376	9,946	80,084
4	2,996	6,808	86,893
5	2,501	5,685	92,681
6	1,365	3,103	95,681

Međutim, *Cattelijev scree dijagram* (Scree plot) ukazao je da bi četiri glavne komponente bile mnogo bolje rešenje.



Slika 41. Cattelijev scree dijagram posmatranih komponenti

Kao što se videlo iz Tabele 36, prva i druga komponenta objašnjavaju daleko već deo varijanse od preostale četiri komponente. To je ukazalo da je posmatranje šest glavnih komponenti prevelik broj. Međutim, u daljoj proceduri PCA analize krenulo se od šest izdvojenih glavnih komponenti i za njih su izračunata težinska opterećenja promenljivih nerotirane matrice (Tabela 35) kako bi se utvrdilo da li je primena Kajzerovog jediničnog kriterijuma bila opravdana. Posmatrajući vrednosti u Tabeli 35 jasno je bilo da su komponente izdvojene po njihovoj važnosti, i gotovo svaka varijabla u prvoj kombinaciji imala je visoko opterećenje. Zato se prva komponenta mogla posmatrati kao najbolja linearna kombinacija posmatranih varijabli. Svaka sledeća komponenta objašnjavala je sve manji deo varijanse. Ovom matricom ostvaren je cilj redukcije podataka, ali nije se dobila konačna informacija koju svaka varijabla ima u izdvojenoj komponenti. Stoga je bilo poželjno izvršiti rotiranje komponenti, jer se time varijansa preraspodelila s komponente koja je prva po redu, na one kasnije. Tako se dobila jednostavnija struktura, koja se lakše tumači, a da se pri tom ne promeni ukupna varijansa.

Tabela 35. Matrica faktorskih opterećenja pre rotiranja

	1	2	3	4	5	6
vlaga	-.409	-.006	-.259	-.346	.780	.143
pepeo	-.923	.208	-.143	-.117	.058	.233
proteini	-.975	.107	-.071	-.129	.044	-.016
masti	-.731	.521	-.181	.066	.271	-.082
ugljenihidrati	.868	-.278	.186	.134	-.328	-.023
saharoza	-.892	-.218	.254	-.203	.111	-.180
skrob	.660	-.585	-.192	.285	-.215	.031
TPC	-.764	.591	.214	.070	.069	-.032
DPPH	-.844	.353	.140	.230	.214	.064
ABTS	-.649	.606	.312	.237	.111	.048
FRP	-.723	.516	.426	.072	-.138	-.013
zapremina	.846	-.280	.376	.147	.190	-.031
specifzapremina	.831	-.251	.410	.185	.179	-.066
težina	-.174	-.194	-.596	-.451	.136	.475
dužina	.529	-.075	.428	-.256	.014	.351
T1prvidan	-.948	-.063	.010	-.210	-.123	-.140
T1trecidan	-.951	-.105	.022	-.157	-.063	.035
T1sedmidan	-.958	-.070	.038	-.207	-.006	-.141
tvrdoca	-.487	-.169	-.688	.459	-.045	.070
elasticnost	.545	-.741	-.117	.185	-.140	-.132
kohezivnost	.250	-.654	.635	-.178	.204	-.086
gumoznost	-.503	-.421	-.615	.398	-.098	.014
žvakljivost	-.436	-.639	-.526	.275	-.116	-.034
otpornost	-.694	-.424	-.129	.115	.390	.134
Lsredina	.868	-.144	-.089	.142	.314	.035
asredina	-.830	.025	.518	-.033	-.180	.008
bsredina	-.487	.676	.348	.308	-.251	.106
Wlsredina	.843	-.309	-.193	.014	.324	.000
Lkora	.254	-.361	.465	.611	.334	.264
akora	.102	.762	-.258	.526	-.195	.031
bkora	.025	-.096	.527	.649	.384	.269
Blkora	-.533	.786	.073	.063	.070	.015
Izgledprvidan	.560	.680	-.251	.187	-.116	.201
TS1	.768	.612	-.126	-.054	.124	-.009
TŽ1	.681	.623	-.185	-.162	-.129	.244
AM1	.523	.639	-.111	-.048	.413	-.321
AU1	.713	.581	-.086	-.111	.333	-.085
PO1	.757	.527	-.179	-.130	.123	.233
Izgledtrecidan	.592	.706	-.185	.276	-.169	.001
TS3	.805	.088	.262	-.382	-.317	.069
TŽ3	.810	.248	.189	-.286	-.270	.270
AM3	.586	.492	-.144	.099	.156	-.529
AU3	.938	.027	-.179	-.112	.229	-.120
PO3	.938	.314	-.049	-.099	-.034	-.073

Definisana korelaciona matrica izdvojenih komponenti (Tabela 36) ukazuju da ne postoji odnos između komponenti te je korišćena VARIMAX rotacija.

Tabela 36. Korelacija komponenti

		REGR factor score 1 for analysis 1	REGR factor score 2 for analysis 1	REGR factor score 3 for analysis 1	REGR factor score 4 for analysis 1	REGR factor score 5 for analysis 1	REGR factor score 6 for analysis 1
REGR factor score 1 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	1 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10
REGR factor score 2 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	,000 1,000 10	1 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10
REGR factor score 3 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	,000 1,000 10	,000 1,000 10	1 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10
REGR factor score 4 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	1 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10
REGR factor score 5 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	1 10	,000 1,000 10
REGR factor score 6 for Correlation Analysis 1	Pearson Sig. (2-tailed) N	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	,000 1,000 10	1 10

Kako su peta i šesta glavna komponenta određene samo sa po jednom promenljivom to je ukazalo na to da je šest glavnih komponenata nerealno rešenje i da je Scree plot dao bolju ocenu broja glavnih komponenata, tj. četiri.

Tabela 37. Matrica faktorskih opterećenja nakon Varimax rotacije

	Component					
	1	2	3	4	5	6
vлага	.211	-.159	-.109	-.034	.947	.051
pepeo	.744	-.343	-.321	-.201	.309	-.276
protein	.711	-.511	-.317	-.245	.235	-.067
masli	.812	-.010	-.359	-.113	.311	.159
ugljenihidrat	-.733	.271	.323	.180	-.492	-.020
saharoza	.497	-.827	-.072	-.104	.188	.096
skrob	-.882	.101	-.147	.186	-.295	-.110
TPC	.980	-.115	-.082	-.008	.041	.086
DPPH	.871	-.253	-.280	.179	.162	.021
ABTS	.952	-.027	-.056	.206	-.017	.067
FRP	.951	-.220	.070	.026	-.190	.010
zapremina	-.664	.219	.451	.498	-.123	.191
sepecifzapremina	-.627	.218	.450	.520	-.166	.228
težina	-.154	-.029	-.215	-.392	.607	-.527
dužina	-.298	.138	.663	.212	7.255E-5	-.257
T1prvidan	.581	-.680	-.241	-.343	.080	-.034
T1brecidan	.572	-.674	-.255	-.219	.148	-.170
T1sedmidan	.591	-.694	-.225	-.278	.169	.010
brđoca	.076	-.094	-.952	-.050	.071	-.171
elasbnost	-.908	-.139	-.112	.146	-.231	.032
kohezivnost	-.475	-.545	.547	.366	.026	.136
guminoznost	-.076	-.322	-.913	-.062	.030	-.172
žvklivost	-.259	-.490	-.790	-.087	.026	-.159
otpornost	.170	-.605	-.455	.196	.458	-.103
Lsredina	-.695	.498	.160	.330	.123	.149
asredina	.704	-.669	.086	.040	-.171	-.099
bsredina	.900	.110	-.005	.143	-.366	-.081
Wisredina	-.826	.378	.123	.207	.214	.139
Lkora	-.248	-.092	.047	.943	-.061	-.038
akora	.418	.752	-.339	.069	-.333	.036
bkora	.108	-.060	.025	.955	-.031	-.002
Blkora	.924	.210	-.061	-.065	.057	.076
Izgledprvidan	.046	.944	.031	-.008	-.156	-.091
TS1	-.135	.919	.313	-.035	.027	.186
TŽ1	-.076	.905	.318	-.186	-.050	-.157
AM1	.037	.751	.214	-.024	.220	.557
AU1	-.114	.841	.347	.010	.202	.320
PO1	-.188	.899	.322	-.033	.134	-.058
Izgledbrecidan	.050	.939	.025	.005	-.306	.094
TS3	-.444	.389	.713	-.165	-.285	-.100
TŽ3	-.336	.577	.648	-.078	-.224	-.244
AM3	-.123	.677	.086	-.081	-.092	.652
AU3	-.674	.616	.278	.017	.128	.254
PO3	-.445	.766	.404	-.053	-.134	.169

Metod Rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom

a. Rotacija konvergirana u 6 iteracija

Procedura PCA analize je ponovljena i dobijena su rešenja za četiri komponente (Tabela 39).

Vrednosti koeficijenta komunaliteta (h^2) zadate četiri komponente pokazale su koliko izdvojenih glavnih komponenti objašnjavaju varijacije ispitivanih početnih pokazatelja. Npr. varijabilitet prve varijable (vлага) četiri izdvojene grupe objašnjene su sa 35,42%, druge varijable (% pepeo) 92,9%, itd. (Tabela 38).

Tabela 38. Vrednost koeficijenata komunaliteta (h2) posle Varimax rotacije

Ekstrakcija			
vлага	,354	otpornost	,691
pepeo	,929	L sredina	,802
proteini	,984	a sredina	,959
masti	,843	b sredina	,910
ugljeni hidrati	,883	WI sredina	,843
saharoza	,948	L kora	,785
skrob	,897	a kora	,933
TPC	,983	b kora	,709
DPPH	,909	BI kora	,910
ABTS	,942	Izgled prvi dan	,873
FRP	,975	TS1	,982
zapremina	,956	TŽ1	,912
specif.zapremina	,957	AM1	,696
težina	,626	AU1	,866
dužina	,534	PO1	,901
T1 prvi dan	,948	Izgled treći dan	,959
T1 treći dan	,941	TS3	,870
T1 sedmi dan	,968	TŽ3	,835
tvrdoca	,950	AM3	,616
elastičnost	,894	AU3	,925
kohezivnost	,926	PO3	,991
gumoznost	,967		
žvkljivost	,951		

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti

Komunaliteti za svaku varijablu, predstavljali su obim varijanse koji je objašnjen pomoću PCA rešenja za svaku varijablu. Poželjno je bilo da sve varijable imaju komunalitet veći od 0,50, kako bi bile dovoljno objašnjene, što je u ovom istraživanju bilo ispoštovano. Sa povećanjem broja komponenti rasla je i vrednost koeficijenata komunaliteta (h2).

Tabela 39. Matrica faktorskih opterećenja nakon Varimax rotiranja komponenti

	Komponenta								
	1	2	3	4					
vлага	.196	-.224	-.122	-.501	žvkljivost	-.262	-.526	-.767	-.127
pepeo	.732	-.384	-.334	-.365	otpornost	.158	-.671	-.456	-.085
proteini	.718	-.512	-.306	-.335	Lsredina	-.710	.471	.143	.235
masti	.811	-.005	-.365	-.229	asredina	.719	-.648	.096	.117
ugljenihidrati	-.730	.290	.327	.398	bsredina	.894	.130	-.030	.304
saharoza	-.522	-.804	-.041	-.165	WIsredina	-.837	.350	.117	.081
skrob	-.890	.079	-.142	.280	Lkora	-.277	-.159	.011	.826
TPC	.983	-.093	-.092	-.007	akora	.399	.765	-.371	.228
DPPH	.863	-.267	-.296	.077	bkora	.077	-.121	-.018	.829
ABTS	.946	-.018	-.079	.201	Blkora	.920	.229	-.081	-.065
FRP	.959	-.186	.064	.131	Izgledprvidan	.020	.932	-.011	.059
zapremina	-.667	.219	.445	.515	TS1	-.145	.937	.288	-.014
specifzapremina	-.627	.226	.445	.561	TŽ1	-.097	.895	.281	-.151
težina	-.183	-.130	-.237	-.721	AM1	.045	.804	.211	-.049
dužina	-.312	.101	.635	.154	AU1	-.120	.862	.327	-.044
T1 prvidan	.802	-.654	-.211	-.335	PO1	-.212	.875	.282	-.101
T1 trecidan	.581	-.682	-.240	-.284	Izgledtrecidan	.036	.964	-.003	.171
T1 sedmidan	.612	-.674	-.197	-.317	TS3	-.437	.418	.710	-.002
tvrdoca	.057	-.143	-.955	-.120	TŽ3	-.347	-.572	.622	.021
elastičnost	-.901	-.141	-.088	.234	AM3	-.101	.768	.104	.070
kohezivnost	-.458	-.538	-.567	.324	AU3	-.675	-.627	.276	-.017
gumoznost	-.087	-.365	-.902	-.110	PO3	-.445	.796	.395	.049

Matrica transformacije komponenti (Tabela 40) ukazuje na jačinu veze izdvojenih glavnih komponenta i opravdanost primene Varimax metode.

Tabela 40. Matrica transformacije komponenti

Component	1	2	3	4
1	-.385	.307	.355	.190
2	.380	.320	.119	-.072
3	.259	-.303	.308	.481
4	.035	.144	-.299	.287

Metod Ekstrakcije: Analiza Glavnih Komponenti

Metod rotacije: Varimax sa Kaiser-ovom normalizacijom

Prva komponenta obuhvata hemijske karakteristike hleba (izuzev vlage), sva svojstva koja prate antioksidativnost i spoljašnji izgled hleba (sem dužine i težine) i karakteristike koje opisuju boju sredine hleba.

Druga komponenta obuhvata kombinaciju karakteristika: saharoza, sve karakteristike teksture 1 i senzornih ocena prvog dana.

Treća glavna komponenta predstavlja linearnu kombinaciju varijabli: karakteristike koje izražavaju teksturu 2, teksturu kroz strukturu i žvakljivost (senzorne ocene trećeg dana).

Četvrta komponenta obuhvata najmanje osobina hleba: vlagu, težinu hleba, karakteristike boje kore L i b.

6. ZAKLJUČAK

Seme šljive se isticalo po sadržaju vlage i ulja, dok se seme dunje izdvajalo po sadržaju minerala i proteina što je ukazivalo na njihov potencijal kao alternativnih izvora za dobijanje hladno presovanog ulja visokog kvaliteta. Dobar kvalitet dobijenih hladno presovanih ulja potvrdile su vrednosti kiselinskog i peroksidnog broja po kojima se izdvojilo ulje semena višnje sa najnižim vrednostima ovih parametara. U uljima je detektovano oko 15 različitih masnih kiselina, od kojih su se izdvojile oleinska i linolna kiselina. Oleinska kiselina se ubraja u mononezasićene masne kiseline, koje doprinose stabilnosti ulja, senzornim karakteristikama i nutritivnoj vrednosti i imaju brojne benefite po ljudsko zdravlje. Linolna kiselina je esencijalna masna kiselina koja spada u grupu polinezasićenih masnih kiselina koje su odgovorne za rok trajanja ulja (osetljivije na oksidaciju od zasićenih masnih kiselina, ali manje osetljive od mononezasićenih) i brojne benefite po ljudsko zdravlje. Indeks aterogenosti i indeks trombogenosti su u ispitivanim uljima bili niski čime je utvrđeno da su ulja bezbedna za ljudsku upotrebu i da predstavljaju manji rizik od kardiovaskularnih oboljenja. Ulje semena dunje imalo je najveći sadržaj α -tokoferola, dok je ulje semena višnje prednjačilo sadržajem β + γ - i δ -tokoferola i sadržajem β -sitosterola. Najveći sadržaj ukupnih polifenola imalo je ulje semena dunje, koje je imalo i najveću redukujuću sposobnost. Testom ABTS•+ izdvojilo se ulje semena šljive, a DPPH• testom ulje semena višnje. Oksidativna stabilnost bila je najbolja kod ulja semena šljive koja je bila skoro 15 puta veća u odnosu na ulje semena višnje i skoro 8 puta veća od oksidativne stabilnosti ulja semena dunje.

Dodavanje pogača pšeničnom brašnu u udelima od 10, 20 i 30% značajno je uticalo na hemijski sastav mešavina. Sadržaj vlage i skroba su opadali sa povećanjem udela dodatih pogača, dok je sadržaj mineralnih materija, proteina i lipida rastao. Pogača semena šljive prednjačila je po sadržaju mineralnih materija i proteina, pogača semena dunje po sadržaju proteina, a najveći sadržaj lipida zaostao je u pogači semena višnje. Pogača dunje imala je najveći sadržaj dijetnih vlakana, a samim tim su se time karakterisale i mešavine sa pogačom dunje, dok su pogača višnje i njene mešavine imale najniže koncentracije istih. Određivanje sadržaja dijetnih vlakana je značajno jer ona utiču na tehnološke i funkcionalne karakteristike brašna i određuju mogućnosti primene brašna i mešavina. Prilikom određivanja antioksidativne aktivnosti pogača, najveća antioksidativna aktivnost pogače šljive potvrđena je svim primenjenim testovima (TPC, ABTS^{•+}, DPPH[•] i FRP), a najmanju antioksidativnu aktivnost imala je pogača višnje. Vrednosti antioksidativne aktivnosti pogača bile su čak i nekoliko desetina puta veće u odnosu na pšenično brašno. Antioksidativni kapaciteti mešavina brašna određeni FRP testom povećavali su se sa povećanjem udela pogače u mešavinama. Antioksidativna aktivnost DPPH[•] testom povećavala se sa porastom udela dodatih pogača. Najniže vrednosti ABTS[•] su generalno imale 10% mešavine. Na povećanje sadržaja ukupnih fenolnih komponenti uticala je supstitucija pšeničnog brašna pogačama sa udelom od 20% i 30%. Ramanovom spektroskopijom utvrđen je bogat biohemijski sastav mešavina i pšeničnog brašna, kojom su potvrđene druge analize da najveći uticaj na obogaćivanje mešavina imaju mešavine sa udelom pogača od 30%. Povećanjem udela dodatih pogača mešavinama brašna rasle su vrednosti tehnoloških i funkcionalnih karakteristika, po čemu se isticala pogača dunje i njene mešavine.

Dodavanje pogača pšeničnom brašnu u udelima od 10, 20 i 30% značajno je uticalo na hemijski sastav hleba. Sa povećanjem udela pogača rastao je sadržaj mineralnih materija, proteina, lipida i dijetnih vlakana, a sadržaj ugljenih hidrata je opadao. Najveći uticaj na sadržaj ukupnih fenola imao je 30% udeo pogače šljive koji je bio veći 1,82 puta od kontrole, kao i na FRP gde je imao 3,71 puta veću vrednost u odnosu na kontrolu. Isti uzorak se istakao i u ABTS•+ testu gde je imao 1,45 puta veću vrednost od kontrole, i u DPPH• testu gde je vrednost bila 2,54 puta veća u odnosu na kontrolu. 1. Tvrdoća hleba se povećavala sa povećanjem udela pogača i dužim stajanjem na sobnoj temperaturi. Najmanju elastičnost imao je hleb sa udelom pogače šljive od 30%. Sa povećanjem udela dodate

pogače rasle su vrednosti gumoznosti i žvkljivosti se uglavnom povećavala, a isticali su se hlebovi sa pogačom dunje. Najveći udeli crvenog tona bili su utvrđeni kod uzorka sa 30% udelom pogače višnje, a žuti ton najviši kod kontrole. Najniža specifična zapremina vekne bila je kod hleba sa 30% udelom pogače višnje, a najviša kod kontrolnog uzorka. Posle *in vitro* digestije ukupna antioksidativnost bila je nekoliko puta veća, a najizraženija razlika bila je kod hleba sa 10% udelom pogače dunje. Po senzornim karakteristikama izdvojili su se hlebovi sa udelom pogača od 10%, pri čemu je najveći utisak po mišljenju ocenjivača ostavio hleb obogaćen sa udelom pogače višnje od 10%. Najveće promene posle 7 dana skladištenja bile su zapažene kod hlebova sa dodatom pogačom višnje, a najmanje kod hlebova sa dodatom pogačom šljive.

7. LITERATURA

- Abdollahi, H. (2019): A review on history, domestication and germplasm collections of quince (*Cydonia oblonga* Mill.) in the world. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66: 1041–1058. doi: 10.1007/s10722-019-00769-7.
- Afonso, S., Oliveira, V. I., Meyer, S. A., Aires, A., Maria José Saavedra, J. M., Gonçalves, B. (2020): Phenolic Profile and Bioactive Potential of Stems and Seed Kernels of Sweet Cherry Fruit. *Antioxidants (Basel)*, 9(12): 1295. doi: 10.3390/antiox9121295.
- Aghalari, Z., Dahms, H. U., Sillanpää, M. (2022): Evaluation of nutrients in bread: a systematic review. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 41:50. doi: 10.1186/s41043-022-00329-3.
- Ahmad, S. B., Talou, T., Straumite, E., Sabovics, M., Kruma, Z., Saad, Z., Hijazi, A., Merah, O. (2018): Protein Bread Fortification with Cumin and Caraway Seeds and By-Product Flour. *Foods*, 7(3):28. doi: 10.3390/foods7030028.
- Akalan, M., Başıyigit, B., Yücepete, M., Karakuş, S. M., Akay, B. K., Karaaslan, A., Karaaslan, M. (2024): Sour cherry seed proteins devoted to covalently bonded carbohydrate moieties: efficacy of transaction and carbohydrate type on amino acid distribution and emulsifier behavior. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18:2685-2699. doi: 10.1007/s11694-023-02347-z.
- Akar, Z., Küçük, M., Doğan, H. (2017): A new colorimetric DPPH• scavenging activity method with no need for a spectrophotometer applied on synthetic and natural antioxidants and medicinal herbs. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1):640-647. doi: 10.1080/14756366.2017.1284068.
- Alagappan, S., Ma, S., Nastasi, R. J., Hoffman, C. L., Cozzolino, D. (2024): Evaluating the Use of Vibrational Spectroscopy to Detect the Level of Adulteration of Cricket Powder in Plant Flours: The Effect of the Matrix. *Sensors*, 24(3):924. doi: 10.3390/s2403092.
- Alegria, A., Garcia-Llatas, G., Cilla, A. (2015): Chapter 1: Static Digestion Models: General Introduction. The Impact of Food Bioactives on Health: *in vitro* and *ex vivo* models, Springer. doi: 10.1007/978-3-319-16104-4_1.
- Ali, A., Muhammad, N. M., Muhammad, N. A. (2014): A review on the utilization of sesame as a functional food. *American Journal of Food and Nutrition*, 4(1):21-34.
- Alkurd, R., Takruri, H., Muwalla, M., Arafat, T. (2020): The Nutritional Value, Energy and Nutrient Contents and Claims of Marketed Multi-grain Breads. *Journal of Food and Nutrition Research*, 8(10): 600-605. doi: 10.12691/jfnr-8-10-9.
- Almeida, R. M., Alves, S. R., Nascimbem, R. L. B. L., Stephani, R., Poppi, J. R., Oliveira, C. L. F. (2010): Determination of amylose content in starch using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis. *Anal Bioanal Chem*, 397:2693–2701. doi: 10.1007/s00216-010-3566-2.
- Al-Zughbi, I., Krayem, M. (2022): Quince fruit *Cydonia oblonga* Mill nutritional composition, antioxidative properties, health benefits and consumers preferences towards some industrial quince products: A review. *Food Chemistry*, 393:133362. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133362.
- Amah, J. U., Okogeri, O. (2019): Nutritional and Phytochemical Properties of Wild Black Plum (*Vitex doniana*) Seed from Ebonyi State. *International journal of Horticulture, Agriculture and Food science(IJHAF)*, 3(1):32-36. doi: 10.22161/ijhaf.3.1.5.
- Ananth, A. D., Deviram, G., Mahalakshmi, V., Sivasudha, T., Tietel, Z. (2019): Phytochemical composition and antioxidant characteristics of traditional cold pressed seed oils in South India. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17:416-421. doi: 10.1016/j.bcab.2018.12.018.
- Anwar, F., Manzoor, M., Hussain Bukhari, I., Aladedunye, F. (2014): Physico-chemical attributes of fruit seed oils from different varieties of peach and plum. *Journal of Advances in Biology*, 4(2). doi: 10.24297/jab.v4i2.5580.
- AOCS Cd-12b (1992): American Oil Chemists' Society. Sampling and analysis of commercial fats and oils; Oil Stability Index.
- Ashraf, U. M., Muhammad, G., Hussain, A. M., Bukhari, A. N. S. (2016): *Cydonia oblonga* M., A Medicinal Plant Rich in Phytonutrients for Pharmaceuticals. *Frontiers in Pharmacology* 7:163. doi: 10.3389/fphar.2016.00163.

- Atik, I., Karasu, S., Sevik, R. (2022): Physicochemical and bioactive properties of cold press wild plum (*Prunus spinosa*) and sour cherry (*Prunus cerasus*) kernel oils: Fatty acid, sterol and phenolic profile. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse* 2021:1-10.
- Aura, A. M., Härkönen, H., Fabritius, M., Poutanen, K. (1993): Development of an In Vitro Enzymic Digestion Method for Removal of Starch and Protein and Assessment of its Performance Using Rye and Wheat Breads. *Journal of Cereal Science*, 29(2):139-152. doi: 10.1006/jcrs.1998.0229.
- Awuchi, C. G., Igwe, V. S., Echeta, C. K. (2019): The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research, Sciences, Technology and Engineering*, ISSN: 2488-9849 5(11).
- Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, M. C., Tárrega, A. (2023): Techno-Functional and Rheological Properties of Alternative Plant-Based Flours. *Foods*, 12:1411. doi: 10.3390/foods12071411.
- Barakat, H., Aljutaily, T., Almujaaydil, S. M., Algheshairy, M. R., Alhomaid, M. R., Almutairi, S. A., Alshimali, I. S., Abdellatif, A. H. A. (2022): Amygdalin: A Review on Its Characteristics, Antioxidant Potential, Gastrointestinal Microbiota Intervention, Anticancer Therapeutic and Mechanisms, Toxicity, and Encapsulation. *Biomolecules*, 12(10):1514. doi: 10.3390/biom12101514.
- Barbarisia, C., De Vito, V., Pellicano, M. P., Boscaino, F., Balsamo, S., Laurino, C., Sorrentino, G., Volpea, G. M. (2019): Bread chemical and nutritional characteristics as influenced by food grade sea water. *International Journal of Food Properties*, 22(1): 280-289. doi: 10.1080/10942912.2019.1579837.
- Bárta, J., Bártová, V., Jarošová, M., Švajner, J., Smetana, P., Kadlec, J., Filip, V., Kyselka, J., Berčíková, M., Zdráhal, Z., Bjelková, M., Kozak, M. (2021): Oilseed Cake Flour Composition, Functional Properties and Antioxidant Potential as Effects of Sieving and Species Differences. *Foods*, 10(11):2766. doi: 10.3390/foods10112766.
- Bartlett, M. S. (1954): A note on the multiplying factors for various chi square approximations. *Journal of Royal Statistical Society*, 16 (Series B):296-298.
- Bekhit, A. E. D. A., Shavandi, A., Jodjaja, T., Birch, J., Teh, S., Ahmed, I. A. M., Al-Juhaimi, F. Y., Saeedi, P., Bekhit, A. A. (2018): Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13:129-152. doi: 10.1016/j.bcab.2017.11.017.
- Bele, C., Matea, C. T., Răducu, C., Mireșan, V., Negrea, O. (2013): Tocopherol content in vegetable oils using a rapid HPLC fluorescence detection method. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41:93-96. doi: 10.15835/nbha4119027.
- BeMiller, N. J., Whistler, L. R., Barkalow, G. D. (1993): Aloe, Chia, Flaxseed, Okra, Psyllium seed, Quince seed, and Tamarind Gums. *Industrial Gums (Third Edition) Polysaccharides and Their Derivatives*, 9:227-256. doi: 10.1016/B978-0-08-092654-4.50013-9.
- Berggren, S. (2017): Water holding capacity and viscosity of ingredients from oats; The effect of β -glucan and starch content, particle size, pH and temperature. Bachelor thesis project in chemistry. Sweden.
- Berton, B., Scher, J., Villieras, F., Hardy, J. (2002): Measurement of hydration capacity of wheat flour: influence of composition and physical characteristics. *Powder Technology*, 128(2-3): 326-331. doi: 10.1016/S0032-5910(02)00168-7.
- Bhosale, S., Halundi, S., Chougule, S., Malgave, S. S., Wadkar, S., Shete, C., Ghosh, J. (2017): Designing and Characterization of different Multigrain Breads prepared from Combination of Composite Flours. *Nutrition and Food Toxicology*, 1(6):205-215.
- Blando, F., Oomah, D. B. (2019): Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*. 86:517-529. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.052.
- Blicharz-Kania, A., Pecyna, A., Zdybel, B., Andrejko, D., Marczuk, A. (2023): Sunflower seed cake as a source of nutrients in gluten-free bread. *Scientific Reports*, 13:10864. doi: 10.1038/s41598-023-38094-w.
- Bolarinwa, F. I., Orfila, C., Morgan, A. R. M. (2014): Amygdalin Content of Seeds, Kernels and Food Products Commercially-available in the UK. *Food Chemistry*, 152:133-139. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.00.
- Boyaci, H. I., Temiz, T. H., Geniş, E. H., Soykut, A. E., Yazgan, N. N., Güven, B., Uysal, S. R., Bozkurt, G. A., İlaslan, K., Torun, O., Şeker, D. C. F. (2015): Dispersive and FT-Raman Spectroscopic Methods in Food Analysis. *The Royal Society of Chemistry*, Department of Food Engineering. Beytepe, 06800 Ankara, Turkey.
- Budžaki, S., Strelec, I., Krnić, M., Alilović, K., Tišma, M., Zelić, B. (2018): Proximate analysis of cold-press oil cakes after biological treatment with *Trametes versicolor* and *Humicola grisea*. *Engineering in Life Sciences*, 18(12):924-931. doi: 10.1002/elsc.201800033.

- Cai, S., Singh, B. R. (1999): Identification of beta-turn and random coil amide III infrared bands for secondary structure estimation of proteins. *Biophysical Chemistry*, 80(1):7-20. doi: 10.1016/s0301-4622(99)00060-5.
- Çakaloğlu, B., Özyurt, H. V., Ötleş, S. (2018): Cold press in oil extraction. A review. *Food Technology*, 7(4):640-654. doi: 10.24263/2304-974X-2018-7-4-9.
- Callejo, M. J. (2011): Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *Journal of Sensory Studies*, 26(4):255-268. doi: 10.1111/j.1745-459X.2011.00341.x.
- Carpenter, A., P. (1979): Determination of tocopherols in vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 56(7):668-671. doi: 10.1007/BF02660070.
- Carr, G. L., Rodas, A. B. M., Della Torre, C. M. J., Tadini, C. C. (2006): Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. *LWT - Food Science and Technology*, 39(5):540-547. doi: 10.1016/j.lwt.2005.03.012.
- Cauvain, P. S., Young, S. L. (2007): *Technology of Breadmaking*, Second Edition. Springer Science+Business Media, LLC.
- Çelik, M., Güzel, M., Yildirim, M. (2019): Effect of pH on protein extraction from sour cherry kernels and functional properties of resulting protein concentrate. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6):3023-3032. doi: 10.1007/s13197-019-03785-8.
- Chalapud, C. M., Bäuml, R. E., Carelli, A. A., de la Paz Salgado-Cruz, M., Morales-Sánchez, E., Rentería-Ortega, M., Calderón-Domínguez, G. (2022): Pectin Films with Recovered Sunflower Waxes Produced by Electrospinning. *Membranes*, 12(6):560. doi: 10.3390/membranes12060560.
- Chandra, S. & Samsher (2013): Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38):4849-4852. doi: 10.5897/AJAR2013.6905.
- Chen, J., Liu, H. (2020): Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5695. doi: 10.3390/ijms21165695.
- Chen, Y., Dai, J., Zhou, X., Liu, Y., Zhang, W., Peng, G. (2019): Raman Spectroscopy Analysis of the Biochemical Characteristics of Molecules Associated with the Malignant Transformation of Gastric Mucosa. *PLoS One*, 9(4):e93906. doi: 10.1371/journal.pone.0093906.
- Chernykh, V., Baluyan, K. (2023): Methodology of instrumental control of bakery crumb characteristics. *Web of Conferences* 64, 01017. doi: 10.1051/bioconf/20236401017.
- Chivandi, E., Davidson, C. B., Erlwanger, H. K. (2012): Red Sour Plum (*Ximenia caffra*) Seed: A Potential Non-conventional Energy and Protein Source for Livest. *International Journal of Agriculture & Biology*, 14:540–544.
- Choe, E., Min, D. B. (2006): Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4):169-186. doi: 10.1111/j.1541-4337.2006.00009.x.
- Chowdhury K, Banu LA, Khan S, Latif A (2007). Studies on the Fatty Acid Composition of Edible Oil. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*. 42(3)311-316. doi: 10.3329/bjsir.v42i3.669.
- Chuang, C.-H., Chen, Y.-T. (2008): Raman scattering of L-tryptophan enhanced by surface plasmon of silver nanoparticles: vibrational assignment and structural determination. *Journal of Raman Spectroscopy*, 40:150-156. doi: 10.1002/jrs.2097.
- Chylińska, M., Szymańska-Chargot, M., Zdunek, A. (2014): Imaging of polysaccharides in the tomato cell wall with Raman microspectroscopy. *Plant Methods*, 10(1):14. doi: 10.1186/1746-4811-10-14.
- Coelho, M. S., Salas-Mellado, M. M. (2015): Effects of substituting chia (*Salvia hispanica L*) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT-Food Science and Technology*, 60, 729-736. doi: 10.1016/j.lwt.2014.10.033.
- Comandini, P., Verardo, V., Maiocchi, P., Caboni, M. F. (2009): Accelerated oxidation: comparative study of a new reactor with oxidation stability instrument. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111:933–940. doi: 10.1002/ejlt.200900009.
- Correa, J. M., Salinas, V. M., Carbas, B., Ferrero, C., Brites, C., Puppo, C. M. (2017): Technological quality of dough and breads from commercial algarroba–wheat flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7):2104–2114. doi: 10.1007/s13197-017-2650-4.
- Cruz-Lopes, L., Dulyanska, Y., Domingos, I., Ferreira J., Fragata A., Guiné, R., Esteves, B. (2022): Influence of Pre-Hydrolysis on the Chemical Composition of *Prunus avium* Cherry Seeds. *Agronomy*, 12(2):280. doi: 10.3390/agronomy12020280.

- Cusack, L. K., Fernandez, M. L., Volek, J. S. (2013): The food matrix and sterol characteristics affect the plasma cholesterol lowering of phytosterol/phytostanol. *Advances in Nutrition*, 4(6):633-643. doi: 10.3945/an.113.004507.
- Czekus, B., Pećinar, I., Petrović, I., Paunović, N., Savić, S., Jovanović, Z., Stikić, R. (2019): Raman and Fourier transform infrared spectroscopy application to the Puno and Titicaca cvs. of quinoa seed microstructure and perisperm characterization. *Journal of Cereal Science*, 87:25–30. doi: 10.1016/j.jcs.2019.02.011.
- Čakarević, C. J., Vidović, S. S., Vladić, Z. J., Jokić D. S., Pavlović S. N., Popović M. Lj. (2019): Plum oil cake protein isolate: a potential source of bioactive peptides. *Food and Feed Research*, 46 (2):171-178. doi: 10.5937/FFR1902171C.
- Da Silva, C. E., Vandenabeele, P., Edwards, H. G., de Oliveira, L. F. (2008): NIR-FT-Raman spectroscopic analytical characterization of the fruits, seeds, and phytotherapeutic oils from rosehips. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 392:1489–1496. doi: 10.1007/s00216-008-2459-0.
- Dávila León, R., González-Vázquez, M., Lima-Villegas, K. E., Mora-Escobedo, R., Calderón-Domínguez, G. (2024): In vitro gastrointestinal digestion methods of carbohydrate-rich foods. *Food Science & Nutrition*, 12:722–733. doi: 10.1002/fsn3.3841.
- De Escalada Pla, F. M., Uribe, M., Fissore, N. E., Gerschenson, N. L., Rojas, M. A. (2010): Influence of the isolation procedure on the characteristics of fiber-rich products obtained from quince wastes. *Journal of Food Engineering*, 96:239–248. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.07.018.
- De Gelder, J., De Gussem, K., Vandenabeele, P., Moens, L. (2007): Reference database of Raman spectra of biological molecules. *Journal of Raman Spectroscopy*, 38: 1133–1147. doi: 10.1002/jrs.173.
- De Luca, L., Aiello, A., Pizzolongo, F., Blaiotta, G., Aponte, M., Romano, R. (2021): Volatile Organic Compounds in Breads Prepared with Different Sourdoughs. *Applied Sciences*, 11(3):1330. doi: 10.3390/app11031330.
- Deineka, V. I., Gabruk, N. G., Deineka, L. A., Manokhina, L. A. (2002): Trygliceride composition of oil from stones of nine Rosaceae plants. *Chemistry of Natural Compounds*, 38, 410–412. doi: 10.1023/A:1022147207053.
- Deng, Y., Huang, L., Zhang, C., Xie, P. (2020): Chinese quince seed proteins: sequential extraction processing and fraction characterization. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2):764–774. doi: 10.1007/s13197-019-04109-6.
- Deng, Y., Huang, L., Zhang, C., Xie, P., Cheng, J., Wang, X., Li, S. (2019): Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. *Food Chemistry*, 283:539-548. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.083.
- Dhakal, S., Chao, K., Schmidt, W., Qin, J., Kim, M., Chan, D. (2016): Evaluation of Turmeric Powder Adulterated with Metanil Yellow Using FT-Raman and FT-IR Spectroscopy. *Foods*, 5:36. doi: 10.3390/foods5020036.
- Dhen, N., Ben Rejeb, I., Boukhris, H., Damergi, C., Gargouri, M. (2018): Physicochemical and sensory properties of wheat - Apricot kernels composite bread. *LWT - Food Science and Technology*, 95: 262-267. doi: 10.1016/j.lwt.2018.04.068.
- Dijkstra, J. A. (2016): Vegetable Oils: Composition and Analysis. Reference Module in Food Science- Encyclopedia of Food and Health, 357-364. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00708-X.
- Dimić, E. (2005). Hladno ceđena ulja, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad, pp. 226-230
- Dimić, E., Premović, T., Vujasinović, V., Takači A. (2016): Uticaj kvaliteta semena na kiselost i sadržaj vlage hladno presovanog ulja suncokreta. *Uljarstvo*, 47(1):15-17. Novi Sad.
- Dimić, E., Škorić, D., Romanić, R., Jocić, S. (2003): Kvalitet i tehničko-tehnološke karakteristike semena oleinskog suncokreta. *Uljarstvo*, 34(1-2):45-50. Novi Sad.
- Dimić, E., Turkulov, J. (2000): Kontrola kvaliteta u tehnologiji jestivih ulja. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet. Novi Sad, str. 32-33.
- Dimić, I., Pavlić, B., Rakita, S., Cvetanović Kljakić, A., Zeković, Z., Teslić, N. (2023): Isolation of Cherry Seed Oil Using Conventional Techniques and Supercritical Fluid Extraction. *Foods*, 12(1):11. doi: 10.3390/foods12010011.
- Djordjević, M., Šoronja-Simović, D., Nikolić, I., Djordjević, M., Šereš, Z., Milašinović-Šeremešić, M. (2019): Sugar beet and apple fibres coupled with hydroxypropylmethylcellulose as functional ingredients in gluten-

- free formulations: Rheological, technological and sensory aspects. *Food Chemistry*, 295:189-197. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.066.
- Drkenda, P., Music, O., Oras, A., Haracic, S., Haseljic, S., Blanke, M., Hudina, M. (2022): Sugar, Acid and Phenols in Fruit of the Sharka-Tolerant Autochthonous Plum Genotype 'Mrkosljiva'. *Erwerbs-Obstbau*, 64: 569–580. doi: 10.1007/s10341-022-00743-1.
- Duliński, R., Cielecka, E-K., Pierzchalska, M., Żyła, K. (2015): Phytases Improve Myo-Inositol Bioaccessibility in Rye Bread: A Study Using an *In Vitro* Method of Digestion and a Caco-2 Cell Culture Model. *Food Technology and Biotechnology*, 53(1):66–72. doi: 10.17113/ftb.53.01.15.3764.
- Dumouilla, V., Dussap, C-G. (2021): Online analysis of D-glucose and D-mannose aqueous mixtures using Raman spectroscopy: an in silico and experimental approach. *Bioengineered*, 12(1):4420-4431. doi: 10.1080/21655979.2021.1955550.
- Durazzo, A., Ramadan, F. M., Lucarini, M. (2021): Cold Pressed Oils: A Green Source of Specialty Oils. *Frontiers in Nutrition*, 8: 836651. doi: 10.3389/fnut.2021.836651.
- Durham, C. T., Mizik, T. (2021): Comparative Economics of Conventional, Organic, and Alternative Agricultural Production Systems. *Economies*, 9(2):1-22. doi: 10.3390/economies9020064.
- Duyvejonck, E. A., Lagrain, B., Dornez, E., Delcour, A. J., Christophe M. Courtin, M. C. (2012): Suitability of solvent retention capacity tests to assess the cookie and bread making quality of European wheat flours. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1):56-63. doi: 10.1016/j.lwt.2012.01.002.
- Egan, H., Kirk, R., Sawyer, R. (1981): The Luff Schoorl method. Sugars and preserves. In *Pearson's chemical analysis of foods*. 8:152-153. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK.
- Elía, M. (2011): A procedure for sensory evaluation of bread: protocol developed by a trained panel. *Journal of Sensory Studies*, 26(4):269-277. doi: 10.1111/j.1745-459X.2011.00342.x.
- Emide, D., Magni, C., Saitta, F., Cardone, G., Botticella, E., Fessas, D., Iametti, S., Lafiandra, D., Sestili, F., Marti, A., Barbiroli, A. (2023): Molecular insights into the role of amylose/amylopectin ratio on gluten protein organization. *Food Chemistry*, 404, Part B:134675. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134675.
- Ergönül, P. G., Köseoğlu, O. (2014): Changes in α -, β -, γ - and δ -tocopherol contents of mostly consumed vegetable oils during refining process. *CyTA - Journal of Food*, 12: 199-202. doi: 10.1080/19476337.2013.821672.
- Esehaghbeygi, A., Pirnazari, K., Kamali, M., Razavi, J. (2013): Physical, and Mechanical Properties of Three Plum Varieties (*Prunus domestica* L.). *Thai Journal of Agricultural Science*, 46(2): 95-101.
- Fan, D., Ma, W., Wang, L., Huang, J., Zhao, J., Zhang, H., Chen, W. (2012): Determination of structural changes in microwaved rice starch using Fourier transform infrared and Raman spectroscopy. *Starch*, 64(8):598-606. doi: 10.1002/star.201100200.
- Fan, L., Li, L., Xu, A., Huang, J., Ma, S. (2022): Impact of Fermented Wheat Bran Dietary Fiber Addition on Dough Rheological Properties and Noodle Quality. *Frontiers in Nutrition*, 9:952525. doi: 10.3389/fnut.2022.952525.
- Fao Food and Nutrition Paper 77, Report of a Technical Workshop, Rome, 2003..
- FAOstat (2015): <http://www.fao.org/food-loss-and-foodwaste/en/>
- FAOstat (2017): https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- FAOstat (2017): <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>
- FAOstat (2017): <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>
- FAOstat (2022): <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>
- Farber, C., Sanchez, L., Rizevsky, S., Ermolenkov, A., McCutchen, B., Cason, J., Simpson, C., Burow, M., Kurouski, D. (2020): Raman Spectroscopy Enables Non-Invasive Identification of Peanut Genotypes and Value-Added Traits. *Scientific Reports*, 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-64730-w.
- Farber, C., Wang, R., Chemelewski, R., Mullet, J., Kurouski, D. (2019): Nanoscale Structural Organization of Plant Epicuticular Wax Probed by Atomic Force Microscope Infrared Spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 91(3):2472–2479. doi: 10.1021/acs.analchem.8b05294.
- Farhadi, S., Javanmard, M., Safavi, M. (2022): Sour-Cherry Seed Polyphenol Contents, Antioxidant Activity and Nutritional Components as a Potential Bioactive Source. *Nutrition and Food Sciences Research*, 9(1):19-29.
- Fetouhi, A., Sujak, A., Bentallah, L., Nawrocka, A., Szymańska-Chargot, M., Tomczyńska-Mleko, M., Wójtowicz, A., Zidoune, N. M. (2021): Development of New Gluten-Free Maize-Field Bean Bread Dough:

- Relationships Between Rheological Properties and Structure of Non-Gluten Proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 71(2):161–175. doi: 10.31883/pjfn/135800.
- Fierascu, C. R., Sieniawska, E., Ortan, A., Fierascu, I., Xiao, J. (2020): Fruits By-Products – A Source of Valuable Active Principles. A Short Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. Section Biomaterials; 8. doi: 10.3389/fbioe.2020.00319.
- Fotirić Akšić, M., Mesarović, J., Gašić, U., Trifković, J., Milatović, D., Meland, M. (2019): Determination of phenolic profile in kernels of different plum cultivars. *Acta horticulturae*. doi: 10.17660/ActaHortic.2019.1260.36.
- Fotirić Akšić, M., Nikolic, T., Zec, G., Cerović, R., Nikolić, M., Milivojević, J., Radivojević, D. (2016): ‘Lenka’, a new sour cherry cultivar from Serbia. *Acta Horticulturae* 1139, doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1139.17.
- Fotirić Akšić, M., Tešić, Ž., Kalaba, M., Ćirić, I., Pezo, L., Lončar, B., Gašić, U., Dojčinović, B., Tosti, T., Meland, M. (2023): Breakthrough Analysis of Chemical Composition and Applied Chemometrics of European Plum Cultivars Grown in Norway. *Horticulturae*, 9(4):477. doi: 10.3390/horticulturae9040477.
- Francesco Serrapica, F., Masucci, F., Raffrenato, E., Sannino, M., Vastolo, A., Barone, A. M. C., Di Francia, A. (2019): High Fiber Cakes from Mediterranean Multipurpose Oilseeds as Protein Sources for Ruminants. *Animals*, 9(11):918. doi: 10.3390/ani9110918.
- Garcia-Mendoza, P. M., Espinosa-Pardo, A. F., Savoie, R., Etchegoyen, C., Harscoat-Schiavo, C., Subra-Paternault, P. (2021): Recovery and antioxidant activity of phenolic compounds extracted from walnut press-cake using various methods and conditions. *Industrial Crops and Products*, 167, 113546. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113546.
- Gawron-Gzella, A., Krolikowska, A., Pietrzak, M. (2018): Antioxidant activity of teas obtained from leaves of *Camellia sinensis* (L.) Kuntze in course of various production processes available on Polish market. *Herba Pol*, 64, 60–67. doi: 10.2478/hepo-2018-0007.
- Gazdić, D., Nađ, D., Sredojević, Z. (2024): Economic Aspects Of Plum Production In The Republic Of Serbia And Worldwide. *Contemporary Agriculture*, 73(1-2):34-42. doi: 10.2478/contagri-2024-0005.
- Gebruers, K., Dornez, E., Boros, D., Fraš, A., Dynkowska, W., Bedő, Z., Rakszegi, M., Delcour, A. J., Courtin, M. C. (2008): Variation in the Content of Dietary Fiber and Components Thereof in Wheats in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21): 9740–9749. doi: 10.1021/jf800975w.
- Gieroba, B., Kalisz, G., Krysa, M., Khalavka, M., Przekora, A. (2023): Application of Vibrational Spectroscopic Techniques in the Study of the Natural Polysaccharides and Their Cross-Linking Process. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3):2630. doi: 10.3390/ijms24032630.
- Gieroba, B., Sroka-Bartnicka, A., Kazimierczak, P., Kalisz, G., Lewalska-Graczyk, A., Vivcharenko, V., Nowakowski, R., Pieta, S. I., Przekora, A. (2022): Surface Chemical and Morphological Analysis of Chitosan/1,3-β-d-Glucan Polysaccharide Films Cross-Linked at 90 °C. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11):5953. doi: 10.3390/ijms23115953.
- Gieroba, B., Sroka-Bartnicka, A., Kazimierczak, P., Kalisz, G., Lewalska-Graczyk, A., Vivcharenko, V., Nowakowski, R., Pieta, S. I., Przekora, A. (2020): Spectroscopic studies on the temperature-dependent molecular arrangements in hybrid chitosan/1,3-β-D-glucan polymeric matrices. *International Journal of Biological Macromolecules* 159, 911-921. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.15.
- Gironés-Vilaplana, A., Baenas, N., Villaño, D., Moreno, A. D. (2014): Iberian-American Fruits Rich in Bioactive Phytochemicals for Nutrition and Health. pp.143-150. CEBAS-CSIC CYTED 112RT0460 CORNUCOPIA. doi: 10.13140/2.1.4719.5209.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, A. C., Caballero, A. P., Apesteguía, A. (2003): Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216(1):51-56. doi: 10.1007/s00217-002-0632-9.
- Górnaś, P., Rudzińska, M., Raczyk, M., Mišina, I., Soliven, A., Segliņa, D. (2016): Composition of bioactive compounds in kernel oils recovered from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) by-products: Impact of the cultivar on potential applications. *Industrial Crops and Products*, 82:44–50. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.010.
- Górnaś, P., Siger, A., Juhņeviča, K., Lācis, G., Šnē, E., Segliņa, D. (2014): Cold-pressed Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach) seed oil as a rich source of α-tocopherol, carotenoids and

- phenolics: A comparison of the composition and antioxidant activity with nine other plant oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116:563–570. doi: 10.1002/ejlt.201300425.
- Górnaś, P., Siger, A., Rudzińska, M., Grygier, A., Marszałkiewicz, S., Ying, Q., Sobieszcańska, N., Segliņa, D. (2018): Impact of the Extraction Technique and Genotype on the Oil Yield and Composition of Lipophilic Compounds in the Oil Recovered from Japanese Quince (*Chaenomeles japonica*) Seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(1). doi: 10.1002/ejlt.201800262.
- Górnaś, P., Siger, A., Segliņa, D. (2013): Physicochemical characteristics of the cold-pressed Japanese quince seed oil: New promising unconventional bio-oil from by-products for the pharmaceutical and cosmetic industry. *Industrial Crops and Products*, 48:178–182. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.04.018.
- Guiné, R. P. F. (2022): Textural Properties of Bakery Products: A Review of Instrumental and Sensory Evaluation Studies. *Applied Sciences*, 12(17):8628. doi: 10.3390/app12178628.
- Gulcin, I., Alwasel, H. S. (2023): DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, 11(8): 2248. doi: 10.3390/pr11082248.
- Güngör, E., Altop, A., Öztürk, E., Erener, G. (2017): Nutritional Changes of Sour Cherry (*Prunus cerasus*) Kernel Subjected to *Aspergillus niger* Solid-state Fermentation. The Special Issue of 2nd International Balkan Agriculture Congress.
- Gupta, A., Sharma, R., Sharma, S., Singh, B. (2019): Oilseed as potential functional food Ingredient. In: *Trends & Prospects in Food Technology, Processing and Preservation*, 191-215.
- Gupta, M. K. (2005). *Frying oils*. Bailey's industrial oil and fat products, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, 4: 1. doi: 10.1002/047167849X.bio023.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2010). *Multivariate Data Analysis - A Global Perspective*. New Jersey: Pearson Education.
- Hanan, E., Hasan, N., Zahiruddin, S., Ahmad, S., Sharma, V., Ahmad, J. F. (2023): Utilization of Quince (*Cydonia oblonga*) Peel and Exploration of Its Metabolite Profiling and Cardioprotective Potential Against Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity in Wistar Rats. *ACS Omega*, 8(43):40036-40050.
- Hassanein, M. M. (1999): Studies on non-traditional oils: I. Detailed studies on different lipid profiles of some *Rosaceae* kernel oils. *Grasas y Aceites*. 50(5):379-384. doi: 10.3989/gya.1999.v50.i5.682.
- Hayta, M., Özüğür, G., Etgü, H., Şeker, T. İ. (2012): Effect of Grape (*Vitis Vinifera* L.) Pomace on the Quality, Total Phenolic Content and Anti-Radical Activity of Bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3):980-986. doi: 10.1111/jfpp.12054.
- Hniopek, J., Bocklitz, T., Schmitt, M., Popp, J. (2021): Probing Protein Secondary Structure Influence on Active Centers with Hetero Two-Dimensional Correlation (Resonance) Raman Spectroscopy: A Demonstration on Cytochrome C. *Applied Spectroscopy*, 75(8):1043–1052. doi: 10.1177/00037028211028916.
- Holder, H. B. (2012): *Characterization of Starch by Vibrational Spectroscopy*. Dissertations, Theses, & Student Research in Food Science and Technology. University of Nebraska–Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/foodscidiss/27>
- Hoxha, I., Elshani, A., Shala, N., Xhabiri, G., Pehlivani, K. (2019): Comparison of some of the cultivars that is cultivated in Kosovo for production of flours for bread. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11(4):1497-1501.
- Hu, X., Shi, J., Zhang, F., Zou, X., Holmes, M., Zhang, W., Huang, X., Cui, X., Xue, J. (2017): Determination of retrogradation degree in starch by Mid-infrared and Raman spectroscopy during storage. *Food Analytical Methods*, 10(11):3694-3705. doi: 10.1007/s12161-017-0932-0.
- Ibrahim, U. K., Salleh, R. M., Maqsood-ul-Haque, S. N. S. (2015): Bread towards Functional Food: An Overview. *International Journal of Food Engineering*, 1. doi: 10.18178/ijfe.1.1.39-43.
- Igwe, E., Charlton, K. (2016): A Systematic Review on the Health Effects of Plums (*Prunus domestica* and *Prunus salicina*). *Phytotherapy Research*, 30(5):n/a-n/a. doi: 10.1002/ptr.5581.
- ISO 10520:1997 (2019): Native starch - Determination of starch content - Ewers polarimetric method. Edition 1, page 8.
- ISO 8586-1. (1993): *Sensory Analysis - General guidance for selection, training and monitoring of assessors*. Part 1: Selected assessors.
- Iwe, M. O., Onyeukwu, U., Agiriga, A. N. (2016): Proximate, functional and pasting properties of FARO 44 rice, African yam bean and brown cowpeaseeds composite flour. *Cogent Food & Agriculture*, 2:1, 1142409. doi: 10.1080/23311932.2016.1142409.

- Jahan, E., Nupur, H. A., Majumder, S., Das, C. P., Aunsary, L., Aziz, G. M., Islam, A., Mazumder, R. A. (2023): Physico-chemical, textural and sensory properties of breads enriched with date seed powder. *Food and Humanity*, 1:165-173. doi: 10.1016/j.foohum.2023.05.012.
- Jain, V., Gupta, K. (2005): Food and Nutritional Analysis - Review. *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*, 202-211. doi: 10.1016/B0-12-369397-7/00175-8.
- Jaszczak-Wilke, E., Polkowska, Ż., Koprowski, M., Owsianik, K., Mitchell, A. E., Bałczewski, P. (2021): Amygdalin: Toxicity, Anticancer Activity and Analytical Procedures for Its Determination in Plant Seeds. *Molecules*, 26(8):2253. doi: 10.3390/molecules26082253.
- Jin, H., Lu, Q., Chen, X., Ding, H., Gao, H., Jin, S. (2016): The use of Raman spectroscopy in food processes: A review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 51(1):12–22. doi: 10.1080/05704928.2015.1087404.
- Joel, B. Johnson, B. J., Hoyos, E. B., Mani, S. J., Reynolds, M., Altvater, J., Naiker, M. (2022): Identification of phenolics responsible for the high antioxidant activity in Burdekin plum (*Pleiogynium timoriense*) fruit. *Food Chemistry Advances*, 1: 100081. doi: 10.1016/j.focha.2022.100081.
- Joseph, T., Varghese, T. H., Panicker, C. Y., Viswanathan, K., d, Dolezal, M., Van Alsenoy, C. (2017): Spectroscopic (FT-IR, FT-Raman), first order hyperpolarizability, NBO analysis, HOMO and LUMO analysis of N-[(4-(trifluoromethyl)phenyl)pyrazine-2-carboxamide by density functional methods. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(2):2281-S2294. doi: 10.1016/j.arabjc.2013.08.004.
- Jukić Špika, M., Kraljić, K., Škevin, D. (2015): Tocopherols: Chemical Structure, Bioactivity, and Variability in Croatian Virgin Olive Oils. *Products from Olive Tree*, doi: 10.5772/64658.
- Kafkas, S., Imrak, B., Kafkas, H. E., Sarier, A., Kuden, A. (2018): Quince (*Cydonia oblonga* Mill.) Breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*, 3(7):277-283. doi: 10.1007/978-3-319-91944-7_7.
- Kaiser, H., F. (1974): An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1):31-36. doi: 10.1007/BF02291575.
- Kaprelyants, V. L., Pozhitkova, G. L., Velichko, T. A., Bilyk, O. A. (2019): Wheat arabinoxylans: structure, extraction and characteristics. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 19. doi: 10.15673/gpmf.v19i2.1443.
- Karasawa, K., Miyashita, R., Otani, H. (2012): Anti-allergic properties of a fruit extract of prune (*Prunus domestica* L.) in mite-sensitized BALB/c mice. *Food Science and Technology Research*, 18:755–760. doi: 10.3136/fstr.18.755.
- Kasapoğlu, K. N., Demircan, E., Eryılmaz, H. S., Karaça, A. C., Özçelik, B. (2021): Sour Cherry Kernel as an Unexploited Processing Waste: Optimisation of Extraction Conditions for Protein Recovery, Functional Properties and In Vitro Digestibility. *Waste and Biomass Valorization*, 12:6685–6698. doi: 10.1007/s12649-021-01417-x.
- Kavrovski, Z. (1997): „Osnovi na tečna hromatografija pod visok pritisak (HPLC), InterLab, Skopje, 1997.
- Kay, R. M. (1982): Dietary fiber. *Journal of Lipid Research*, 23(2):221-242. doi: 10.1016/S0022-2275(20)38151-7.
- Kazempour-Samak, M., Rashidi, L., Ghavami, M., Sharifan, A., Hosseini, F. (2021): Sour Cherry (*Cerasus vulgaris* Miller) Kernel Oil as the Novel Functional Edible Oil: Sensory Evaluation and Antioxidant and Physicochemical Properties. *Journal of Food Quality*, (4):1-9. doi: 10.1155/2021/5529613.
- Keran, H., Salkić, M., Odošić, A., Jašić, M., Ahmetović N., Šestan, I. (2009): The Importance of Determination of some Physical – Chemical Properties of Wheat and Flour. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(3):197-200.
- Khoo, G. M., Clausen, M. R., Pedersen, H., Larsen, E. (2001): Bioactivity and total phenolic content of 34 sour cherry cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(6):772-776. doi: 10.1016/j.jfca.2011.03.004.
- Khoshbakht, K., Hammer, K. (2006): Savadkouh (Iran)—an evolutionary centre for fruit trees and shrubs. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53:641-651. doi: 10.1007/s10722-005-7467-8.
- Kiralan, M., Kayahan, M., Kiralan, S. S., Ramadan, M. F. (2018): Effect of thermal and photo oxidation on the stability of cold-pressed plum and apricot kernel oils. *European Food Research and Technology*, 244(1):31-42. doi: 10.1007/s00217-017-2932-0.
- Kizil, R., Irudayaraj, J., Seetharaman, K. (2002): Characterization of Irradiated Starches by Using FT-Raman and FTIR Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14): 3912–3918. doi: 10.1021/jf011652p.
- Klosok, K., Welc, R., Fornal, E., Nawrocka, A. (2021): Effects of Physical and Chemical Factors on the Structure of Gluten, Gliadins and Glutenins as Studied with Spectroscopic Methods. *Molecules*, 26(2):508. doi: 10.3390/molecules26020508.

- Kniese, J., Race, M. A., Schmidt, H. (2021): Classification of cereal flour species using Raman spectroscopy in combination with spectra quality control and multivariate statistical analysis. *Journal of Cereal Science*, 101:103299. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103299.
- Koç, R., Kayabaşı, A. G. (2023): Enrichment of White Wheat Bread with Pistachio Hulls and Grape Seeds: Effect on Bread Quality Characteristics. *Applied Sciences*, 13(6):3431. doi: 10.3390/app13063431.
- Korczyk-Szabó, J., Lacko-Bartošová, M. (2013): Crumb Texture Of Spelt Bread. *Journal of Central European Agriculture*, 14(4):1343-1352. doi: 10.5513/JCEA01/14.4.1352.
- Kostić, A. Ž., Milinčić, D. D., Nedić, N., Gašić, U. M., Špirović Trifunović, B., Vojt, D., Tešić, Ž. Lj., Pešić, M. B. (2021): Phytochemical Profile and Antioxidant Properties of Bee-Collected Artichoke (*Cynara scolymus*) Pollen. *Antioxidants*, 10(7). doi: 10.3390/antiox10071091.
- Kotecka-Majchrzak, K., Sumara, A., Fornal, E., Montowska, M. (2020): Oilseed proteins—Properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 160–170. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.004.
- Kovačić, Z. (1994): Multivarijaciona analiza. Ekonomski fakultet, Beograd.
- Kowalczewski, L. P., Walkowiak, K., Masewicz, L., Duda, A., Poliszko, N., Róžańska, B. M., Jeżowski, P., Tomkowiak, A., Mildner-Szkudlarz, S., Baranowska, M. H. (2019): Wheat bread enriched with raspberry and strawberry oilcakes: effects on proximate composition, texture and water properties. *European Food Research and Technology*, 245:2591-2600. doi: 10.1007/s00217-019-03370-5.
- Krulj, J., Pezo, L., Kojić, J., Bodroža-Solarov, M., Teslić, N. (2021): Quality evaluation of cold-pressed oils and semi-defatted cake flours obtained on semi-industrial scale. *Journal of Food and Nutrition Research*, 60(3):217–228, ISSN 1336-8672.
- Kumamoto, Y., Harada, Y., Takamatsu, T., Tanaka, H. (2018): Label-free molecular imaging and analysis by Raman spectroscopy, *Acta Histochem. Cytochem.* 51:101–110. doi: 10.1267/ahc.18019.
- Kumar, M., Kumari, N., Prakash, S., Sharma, N., and Panesar, P. S. (2024): Oilseed meal as a source of protein: introductory remarks, in *Oilseed meal as a sustainable contributor to plant-based protein: paving the way towards circular economy and nutritional security* (Cham: Springer International Publishing), 1–29. doi: 10.1007/978-3-031-47880-2_1.
- Kumar, S. S. M., Mawlong, I., Singh, D. (2016): Phytosterol recovery from oilseeds: Recent advances. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3):1-9. doi: 10.1111/jfpe.12466.
- Kurt, A., Atalar, I. (2018): Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 82:186-195. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.04.011.
- Kweon, M., Slade, L., Levine, H. (2011): Solvent Retention Capacity (SRC) Testing of Wheat Flour: Principles and Value in Predicting Flour Functionality in Different Wheat-Based Food Processes and in Wheat Breeding – A Review. *Cereal Chemistry*. 88(6):537–552. doi: 10.1094/CCHEM-07-11-0092.
- Laličić-Petronijević, J. (2018): Tehnologija konditorskih proizvoda – praktikum sa teorijskim osnovama, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd, str. 57-59.
- Lambert-Meretei, A., Szendrei, E., Nogula-Nagy, M., Fekete, A. (2010): Methods to evaluate the effects of bread improver additive on bread crumb texture properties. *Acta Alimentaria*, 39(2):180–191. doi: 10.1556/aalim.39.2010.2.10.
- Lampi, A-M., Heinonen, M. (2009): Berry seed and grape seed oils. In: Moreau RA and Kamal-Eldin A (Eds). *Gourmet and Health-Promoting Speciality Oil*. AOCS Press, Urbana, Illinois.
- Lau, Q. K., Sabran, R. M., Shafie, R. S. (2021): Utilization of Vegetable and Fruit By-products as Functional Ingredient and Food. *Frontiers in Nutrition*. Section Nutrition and Sustainable Diets, 8 – 2021. doi: 10.3389/fnut.2021.661693.
- Leitgeb, M., Knez, Ž., Hojnik Podrepšek, G. (2022): Enzyme Activity and Physiochemical Properties of Flour after Supercritical Carbon Dioxide Processing. *Foods*, 11(13): 1826. doi: 10.3390/foods11131826.
- Linlaud, N., Ferrer, E., Puppo, C. M., Ferrero, C. (2011): Hydrocolloid Interaction with Water, Protein, and Starch in Wheat Dough. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(2):713–719. doi:10.1021/jf1026197.
- Liu, Y., Himmelsbach, S. D., Barton, E. F. (2004): Two-Dimensional Fourier Transform Raman Correlation Spectroscopy Determination of the Glycosidic Linkages in Amylose and Amylopectin. *Applied Spectroscopy*, 58(6):745-9. doi: 10.1366/000370204873006.

- Lo, W.-L., Lai, J.-Y., Feinberg, E.-S., Izumi, K., Kao, S.-Y., Chang, C.-S., Linf, A., Chiang, H. K. (2010): Raman spectroscopy monitoring of the cellular activities of a tissue-engineered *ex vivo* produced oral mucosal equivalent. *Journal of Raman Spectroscopy*, 42:174–178. doi: 10.1002/jrs.2688.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N. (2010): Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*, 4(8):118–126. doi: 10.4103/0973-7847.70902.
- Long, G., Ji, Y., Pan, H., Sun, Z., Li, Y., Qin, G. (2015): Characterization of Thermal Denaturation Structure and Morphology of Soy Glycinin by FTIR and SEM. *International Journal of Food Properties*, 18:763–774. doi: 10.1080/10942912.2014.908206.
- Lukač Bulatović, M. (2020): The state and forecast of fruit production and processing in Serbia. *A monograph*, The University of Novi Sad, The Faculty of Agriculture, Novi Sad.
- Maharadika, A., Andriana, B. B., Susanto, AB., Matsuyoshi, H., Sato, H. (2018): Development of Quantitative Analysis Techniques for Saccharification Reactions Using Raman Spectroscopy. *Sage Journal*, 72(11). doi: 10.1177/0003702818779093.
- Mahato, N., Sinha, M., Sharma, K., Koteswararao, R., Cho, M. H. (2019): Modern Extraction and Purification Techniques for Obtaining High Purity Food-Grade Bioactive Compounds and Value-Added Co-Products from Citrus Wastes. *Foods*, 8(11):523. doi: 10.3390/foods8110523.
- Mahdad-Benzerdjeb, A., Taleb-Mokhtari, I. N., Sekkal-Rahal, M. (2007): Normal coordinates analyses of disaccharides constituted by D-glucose, D-galactose and D-fructose units. *Spectrochimica Acta Part A*, 68(2):284–299. doi: 10.1016/j.saa.2006.11.032.
- Maiti, C. N., Apetri, M. M., Zagorski, G. M., Carey, R. P., Anderson, E. V. (2004): Raman spectroscopic characterization of secondary structure in natively unfolded proteins: alpha-synuclein. *Journal of the American Chemical Society*, 126(8):2399–408. doi: 10.1021/ja0356176.
- Makarem, M., Lee, M. C., Kafle, K., Huang, S., Chae, I., Yang, H., Kubicki, D. J., Kim, H. S. (2019): Probing Cellulose Structures with Vibrational Spectroscopy. *Cellulose*, 26(1). doi: 10.1007/s10570-018-2199-z.
- Makokha, P. M., Muliro, S. P., Ngoda, N. P., Ghemoh, J. C., Subramanian, S., Xavier, C., Ochieng, O. B., Ekesi, S., Tanga, M. C. (2023): Unravelling the nutritional and health benefits of wheat bread enriched with meat powder from laying hen fed diet with insect (*Hermetia illucens*) meal. *Heliyon*, 9(10):e20506. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20506.
- Malaviya, R., Yadav, N. (2022): Exploring nutritional and functional properties of different varieties of sesame seed cakes: An industrial by-product. *Plant Archives*, 22(1):328-333. doi: 10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no1.052.
- Malomo, S. A., Eleyinmi, A. F., Fashakin, J. B. (2011): Chemical composition, rheological properties and bread making potentials of composite flours from breadfruit, breadnut and wheat. *African Journal of Food Science*, 5(7):400-410.
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., Brnčić, S. R. (2018): An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: ultrasound-, microwave-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76:28-37. doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.022.
- Marlina, D., Novita, M., Anwar, M. T., Kusumo, H., Sato, H. (2021): Raman spectra of polyethylene glycol/cellulose acetate butyrate biopolymer blend. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869. doi: 10.1088/1742-6596/1869/1/012006.
- Mary, S. Y., Ushakumari, L., Harikumar, B., Varghesed, T. H., Panicker, Y. C. (2009): FT-IR, FT-Raman and SERS Spectra of L-Proline. *Journal of Iranian Chemical Society*, 6(1):138-144.
- Matthäus, B., Özcan, M. M. (2009): Fatty acids and tocopherol contents of some Prunus spp. kernel oils. *Journal of Food Lipids*. 16(2):187 – 199. doi: 10.1111/j.1745-4522.2009.01140.x.
- Mena-García, A., Ruiz-Matute, A. I., Soria, A. C., Sanz, M. L. (2019): Green techniques for extraction of bioactive carbohydrates. *Trends in Analytical Chemistry*, 119:115612. doi: 10.1016/j.trac.2019.07.023.
- Mercado, PV. P., Mojica, L., Morales-Hernández, N. (2022): Protein Ingredients in Bread: Technological, Textural and Health Implications, *Foods*, 11(16): 2399. doi: 10.3390/foods11162399.
- Mertens, D.R. (1992). Critical conditions in determining detergent fiber. In Proceedings of the Forage Analysis Workshop (pp. C1–C8). Denver, Colorado. Omaha, NE: National Forage Testing Association.

- Messinese, E., Pitirollo, O., Grimaldi, M., Milanese, D., Sciancalepore, C., Cavazza, A. (2023): By-Products as Sustainable Source of Bioactive Compounds for Potential Application in the Field of Food and New Materials for Packaging Development. *Food and Bioprocess Technology*. doi: 10.1007/s11947-023-03158-2.
- Mierina, I., Seržane, R., Strēle, M., Moskaļuka, J., Segliņa, D., Jure, M. Extracts of Japanese Quince Seeds - Potential Source of Antioxidants. In: *6th Baltic Conference on Food Science and Technology "Innovations for Food Science and Production"*: Abstract Book, Latvia, Jelgava, 5-6 May, 2011. Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2011, pp.75-75. ISBN 978-9984-48-045-9.
- Mikkelsen, S. M., Jespersen, M. B., Møller, L. B., Lærke, N. H., Larsen, H. F., Engelsen, B. S. (2010): Comparative spectroscopic and rheological studies on crude and purified soluble barley and oat β -glucan preparations. *Food Research International*, 43: 2417–2424. doi: 10.1016/j.foodres.2010.09.016.
- Milatović, D., Đurović, D., Zec, G., Boškov, Đ., Radović, M. (2018): Evaluation of Early Plum Cultivars in the Region of Belgrade (Serbia). Proceedings of the IX *International Agricultural Symposium "Agrosym 2018"*.
- Milatović, D., Žurović, D., Zec, G. (2011): Ispitivanje stonih sorti šljive na području Beograda. *Voćarstvo*, 45, 175-176, 101-108.
- Milić, D., Radojević, V. (2003): Proizvodno-ekonomska i upotrebna vrednost voća i grožđa, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Samoizdat. ISBN - 86-904547-0-5.
- Milić, D., Vukoje, V., Sredojević, Z. (2010): Production characteristics and economic aspects of quince production. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(1): 36-39. UDK:658.14: 664.854:634.14.
- Milošević, T., Milošević, N., Mladenović, N. (2023): Diversity of plums belonging to *P. domestica* L., *P. insititia* L. and *Prunus* \times *rossica* Erem. Tree vigour, yielding and fruit quality attributes. *Scientia Horticulturae*, 320:112220. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112220.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., Marze, S., McClements, D. J., Ménard, O., Recio, I., Santos, C. N., Singh, R. P., Vegarud, G. E., Wickham, M. S. J., Weitschies, W., Brodkorb, A. (2014): A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 5(6):1174-1177.
- Mir, A. S., Masoodi, A. F., Gani, A., Ganaie, A. S., Reyaz, U., Wani, M. S. (2015): Evaluation of antioxidant properties of methanolic extracts from different fractions of quince (*Cydonia oblonga* Miller). *Advances in Biomedicine and Pharmacy*, 2(1):1-6. doi: 10.19046/abp.v02i01.01.
- Momchilova, M., Zsivanovits, G. (2016): Instrumental texture characterization of bread. *Bulgarian Chemical Communications*, 48(E):435 – 441.
- Mondal, A., Datta, K. A. (2008): Bread baking – A review. *Journal of Food Engineering*, 86(4):465-474. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014.
- Mongeau, R., Brooks, J. P. S. (2016): Dietary Fiber: Determination. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 3:1823–1832. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00228-2.
- Moreton, M., Cattaneo, C., Mosca, A. C., Proserpio, C., Anese, M., Pagliarini, E., Pellegrin, N. (2023): Identification of desirable mechanical and sensory properties of bread for the elderly. *Food Quality and Preference*, 104:104716. doi: 10.1016/j.foodqual.2022.104716.
- Morrison, F., D. (1987): *Multivariate Statistical Methods*, Third Edition. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Mratinić, E. (2010): Dunja. Partenon, Beograd.
- Muzaffar, K., Ahmad Sofi, S., Ahmad Mir, S. (2022): Handbook of Fruit Wastes and By-Products. *Chemistry, Processing Technology, and Utilization*, (1th Ed) 14(21). doi: 10.1201/9781003164463.
- Nakajima, S., Kuroki, S., Ikehata, A. (2022): Selective detection of starch in banana fruit with Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 401:134166. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134166.
- Natić, M., Dabić, D., Papetti, A., Fotirić Akšić, M., Ognjanov, V., Ljubojević, M., Tešić, Ž. (2015). Analysis and characterisation of phytochemicals in Mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia. *Food Chemistry*, 171, 128–136.
- Nawrocka, A., Antoni Miś, Niewiadomski, Z. (a) (2017): Dehydration of gluten matrix as a result of dietary fibre addition - A study on model flour with application of FT-IR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 74:86-94. doi: 10.1016/j.jcs.2017.02.001.
- Nawrocka, A., Szymańska-Chargot, M., Miś, A., Wilczewska, Z. A., Markiewicz, H. K. (2017): Effect of dietary fibre polysaccharides on structure and thermal properties of gluten proteins – A study on gluten dough with

- application of FT-Raman spectroscopy, TGA and DSC. *Food Hydrocolloids*, 69:410-421. doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.03.012.
- Nawrocka, A., Zarzycki, P., Kłosok, K., Welc, R., Wirkijowska, A., Teterycz, D. (2023): Effect of dietary fibre waste originating from food production on the gluten structure in common wheat dough. *International Agrophysics*, 37:101-109. doi: 10.31545/intagr/159236
- Nikolić, V. V., Simić, Z. M., Žilić, M. S., Kravić, B. N., Vančetović, P. J., Sečanski, D. M., Vasić, G. M. (2023): Nutritional composition and bioactive properties of the wholegrain flour obtained from maize inbred lines. *Food and Feed Research*, 50(00):26-26. doi: 10.5937/ffr0-41894.
- Nikolić, V., Simić, M., Žilić, S., Kravić, N., Babić, V., Filipović, M., Srdić, J. (2022): Quality parameters of maize hybrids intended for silage production. *Acta Agriculturae Serbica*, 27 (54), 157–163. doi: 10.5937/AASer2254157N.
- Nouska, C., Irakli, M., Palakas, P., Lytou, E. A., Bouloumpasi, E., Biliaderis, G. C., Lazaridou, A. (2024): Influence of sesame cake on physicochemical, antioxidant and sensorial characteristics of fortified wheat breads. *Food Research International*, 178:113980. doi: 10.1016/j.foodres.2024.113980.
- Okur, I., Baltacıoğlu, C., Ağçam, E., Baltacıoğlu, H., Alpas, H. (2019): Evaluation of the Effect of Different Extraction Techniques on Sour Cherry Pomace Phenolic Content and Antioxidant Activity and Determination of Phenolic Compounds by FTIR and HPLC. *Waste and Biomass Valorization*, doi: 10.1007/s12649-019-00771-1.
- Oliveira, D., Starowicz, M., Ostaszyk, A., Łopusiewicz, L., Ferreira, I. M. P. L. V. O., Pinto, E., Krupa-Kozak, U. (2023): The Improved Quality of Gluten-Free Bread Due to the Use of Flaxseed Oil Cake: A Comprehensive Study Evaluating Nutritional Value, Technological Properties, and Sensory Quality. *Foods*, 12(23):4320. doi: 10.3390/foods12234320.
- Onyango, C. (2016): Starch and modified starch in bread making: A review. *African Journal of Food Science*, 10(12):344-351. doi: 10.5897/AJFS2016.1481.
- Özbek, Z. A., Ergönül, P. G. (2022): “Chapter 3. Utilisation of oilseed meals in food industry,” in *Waste to Food: returning nutrients to the food chain* (Wageningen Academic Publishers), 79–84. doi: 10.3920/978-90-8686-929-9_3.
- Pang, J., Zhang, Y., Tong, X., Zhong, Y., Kong, F., Li, D., Liu, X., Qiao, Y. (2023): Recent Developments in Molecular Characterization, Bioactivity, and Application of Arabinoxylans from Different Sources. *Polymers*, 15(1):225. doi: 10.3390/polym15010225.
- Panpraneecharoen, S., Chumanee, S. (2022): Comparison of Tocopherol Contents in 13 Cold-Pressed Vegetable Oils Extracted from the Mini Screw Press Model T3 by RP-HPLC/FLD. *Science & Technology Asia*, 27(3):27-36. doi: 10.14456/scitechasia.2022.43.
- Pareyt, B., Finnie, M. S., Putseys, A. J., Delcour, A. J. (2011): Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3):266-279. doi: 10.1016/j.jcs.2011.08.011.
- Park, Y. E., Fuerst, P. E., Baik, B-K. (2016): Phytate Negatively Influences Wheat Dough and Bread Characteristics by Interfering with Cross-Linking of Glutenin Molecules. *Journal of Cereal Science*, 70:199-206. doi: 10.1016/j.jcs.2016.06.012.
- Patela, K. B., Waniska, D. R., Seetharaman, K. (2005): Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb. *Journal of Cereal Science*, 42(2):173-184. doi: 10.1016/j.jcs.2005.04.007.
- Patra, A., Abdullah, S., Chandra Pradhan, R. (2022): Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresources and Bioprocessing* 9:(14). doi: 10.1186/s40643-022-00498-3.
- Pawlukojć, A., Leciejewicz, J., Tomkinson, J., Parker, F. S. (2001): Neutron scattering, infra red, Raman spectroscopy and ab initio study of L-threonine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57(12):2513-2523. doi: 10.1016/S1386-1425(01)00508-X.
- Payne, Z. W., Kourouski, D. (2021): Raman spectroscopy enables phenotyping and assessment of nutrition values of plants: a review. *Plant Methods*, 17:78. doi: 10.1186/s13007-021-00781-y.
- Peña, E., Bernardo, A., Soler, C., Jouve, N. (2006): Do tyrosine crosslinks contribute to the formation of the gluten network in common wheat (*Triticum aestivum* L.) dough? *Journal of Cereal Science*, 44(2):144-153. doi: 10.1016/j.jcs.2006.05.003.

- Perry, J., Hao, Z., Luther, M., Su, L., Zhou, K., Yu, L. (2006): Characterization of cold-pressed onion, parsley, cardamom, mullein, roasted pumpkin, and milk thistle seed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(10):847–854. doi: 10.1007/s11746-006-5036-8.
- Petraru, A., Ursachi, F., Amariei, S. (2021): Nutritional Characteristics Assessment of Sunflower Seeds, Oil and Cake. Perspective of Using Sunflower Oilcakes as a Functional Ingredient. *Plants*, 10(11): 2487. doi: 10.3390/plants10112487.
- Pezzotti, G. (2021): Raman spectroscopy in cell biology and microbiology. *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(12):2348-1443. doi: 10.1002/jrs.6204.
- Pezzotti, G., Zhu, W., Chikaguchi, H., Marin, E., Masumura, T., Sato, Y., Nakazaki, T. (2021): Raman spectroscopic analysis of polysaccharides in popular Japanese rice cultivars. *Food Chemistry*, 354:129434. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129434.
- Piçurić-Jovanović, K., Milovanović, M. (2005): Autooksidacija lipida i prirodni antioksidanti flore Srbije. Poljoprivredni fakultet, Zemun.
- Pinto, D., Ferreira, A. S., Lozano-Castellón, J., Laveriano-Santos, P. E., Lamuela-Raventós, M. R., Vallverdú-Queralt, A., Delerue-Matos, C., Rodrigues, F. (2023): Exploring the Impact of In Vitro Gastrointestinal Digestion in the Bioaccessibility of Phenolic-Rich Chestnut Shells: A Preliminary Study. *Separations*, 10(9):471. doi: 10.3390/separations10090471.
- Piot, O., Autran, J. C., Manfait, M. (2001): Investigation by Confocal Raman Microspectroscopy of the Molecular Factors Responsible for Grain Cohesion in the Triticum aestivum Bread Wheat. Role of the Cell Walls in the Starchy Endosperm. *Journal of Cereal Science*, 34(2):191-205. doi: 10.1006/jcrs.2001.0391.
- Pojić, M., Dapčević Hadnađev, T., Hadnađev, M., Rakita, S., Brlek, T. (2015): Bread supplementation with hemp seed cake: a by-product of hemp oil processing. *Journal of Food Quality*, 38(6):431–440. doi: 10.1111/jfq.12159.
- Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Bulut, S., Romanić, R., Lazić, V. (2020): Valorization of by-products from the production of pressed edible oils to produce biopolymer films. *Cold Pressed Oils*, 3:15-30. doi: 10.1016/B978-0-12-818188-1.00003-7.
- Popov-Raljić, V. J., Mastilović, S. J., Laličić-Petronijević, G. J., Popov, S. V. (2009): Investigations of Bread Production with Postponed Staling Applying Instrumental Measurements of Bread Crumb Color. *Sensors (Basel)*, 9(11): 8613–8623. doi: 10.3390/s91108613.
- Pravilnik a): Pravilnik o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutih testa (Službeni list SFRJ, 74/88, član 30).
- Pravilnik b): Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za jestiva biljna ulja i masti, margarin i druge masne namaze, majonez i srodne proizvode. "Službeni glasnik RS", br.43/2013.
- Pravilnik c): Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina. „Službeni glasnik RS“, br. 68/2016 i 56/2018.
- Pu, D., Zhang, Z., Sun, B., Ren, F., Zhang, H., Chen, H., Tang, Y. (2021): Characterization of the key taste compounds during bread oral processing by instrumental analysis and dynamic sensory evaluation. *LWT*, 138:110641. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110641.
- Purić, M., Rabrenović, B., Rac, V., Pezo, L., Tomašević, I., Demin, M. (2020): Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread. *LWT*, 130(4):109391. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109391.
- Rabrenović, B. B., Vujasinović, B. V. (2022): Industrial hempseed oil and lipids: Processing and properties. Chapter in a book: *Industrial Hemp*. Academic Press, 2022. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00003-8.
- Rabrenović, B., Demin, M., Basić, M., Pezo, L., Paunović, D., Sovtić, F. (2021): Impact of plum processing on the quality and oxidative stability of cold-pressed kernel oil. *Grasas y Aceites*, 72(1):e395. doi: 10.3989/GYA.0100201.
- Rabrenović, B.B., Dimić, B.E., Novaković, M.M., Tešević, V.V., Basić, N.Z. (2013): The most important bioactive components of cold pressed oil from different pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds. *Lwt-Food Science and Technology*, 55(2):521-527. doi: 10.1016/j.lwt.2013.10.019.
- Radović, A., Nikolić, D., Milatović, D., Đurović, D., Đorđević, B. (2015): Osobine ploda sorti dunje u beogradskom Podunavlju. *Voćarstvo*, 49:189-190, 15-19.

- Radović, A., Nikolić, D., Milatović, D., Đurović, D., Trajković, J. (2016): Investigation of pollen morphological characteristics in some quince (*Cydonia oblonga* Mill.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40: 441-449. doi: 10.3906/tar-1511-76.
- Radović, A., Nikolić, D., Milatović, D., Rakonjac, V., Bakić, I. (2016): Growth and yield characteristics of quince cultivars. *Acta Horticulturae* 1139, 209-212. doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1139.36.
- Rakita, S., Kokić, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A., Ottoboni, M., Cheli, F., Pinotti, L. (2023): Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review. *Foods*, 12(3):432. doi: 10.3390/foods12030432.
- Ranjan, A., Denis, D. M., Singh, I., Lal, K. (2018): Technology for production of edible grade de-oiled cake from groundnut and its diversified use in baked products. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3): 1392-1397.
- Rather, A. J., Yousuf, S., Ashraf, S. Q., Mir, A. S., Makroo, A. H., Majid, D., Barba, J. F., Dar, B. N. (2023): Nutritional and bioactive composition, nutraceutical potential, food and packaging applications of *Cydonia oblonga* and its byproducts: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 115(1):105000. doi: 10.1016/j.jfca.2022.105000.
- Reis, S. F., Rai, D. K., Abu-Ghannam, N. (2012): Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods; *International Conference on Food Safety, Quality and Nutrition*, Manchester, UK, 61-66, 11-13.
- Roach, A. C., Simpson, V. J., JiJi, D. R. (2012): Evolution of quantitative methods in protein secondary structure determination via deep-ultraviolet resonance Raman spectroscopy. *Analyst*, 137:555-562. doi: 10.1039/c1an15755h.
- Rodriguez, A., Kurouski, D. (2023): Raman spectroscopy enables non-invasive and quantitative assessment of macronutrients in baked foods. *Journal of Raman Spectroscopy*, 54(9):899-904. doi: 10.1002/jrs.6528.
- Rohman, A., Che Man, Y. B. (2012): Analysis of pig derivatives for halal authentication studies. *Food Reviews International*, 28(1):97-112. doi: 10.1080/87559129.2011.595862.
- Rojas-Bonzi, P., Vangsøe, T. C., Nielsen, L. K., Lærke, N. H., Hedemann, M. S., Knudsen, B. E. K. (2020): The Relationship between *In Vitro* and *In Vivo* Starch Digestion Kinetics of Breads Varying in Dietary Fibre. *Foods*, 9(9):1337. doi:10.3390/foods9091337.
- Rosell, M. C. (2011): Chapter 1 - The Science of Doughs and Bread Quality. *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*, 3-14. doi: 10.1016/B978-0-12-380886-8.10001-7.
- Ruiz Rodríguez, L. G., Manuel Zamora Gasga, V., Pescuma, M., Van Nieuwenhove, C., Mozzi, F., Alberto Sánchez Burgos, J. (2021): Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. *Food Research International*, 140; 109854. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109854.
- Rustagi, S. (2020): Food Texture and Its Perception, Acceptance and Evaluation. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 17(3):651-658. doi: 10.13005/bbra/2869.
- Sabir, S., Qureshi, R., Arshad, M., Shoib Amjad, M., Fatima, S., Masood, M., Saboon, Khalil Chaudhari, S. (2015): Pharmacognostic and clinical aspects of *Cydonia oblonga*: A review. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(11):850-855. doi: 10.1016/S2222-1808(15)60934-3.
- Sadat, A., Joye, J. I. (2020): Peak Fitting Applied to Fourier Transform Infrared and Raman Spectroscopic Analysis of Proteins. *Applied Sciences*, 10:5918. doi: 10.3390/app10175918.
- Savić, M. I., Savić Gajić, M. I. (2022): Determination of Physico-Chemical and Functional Properties of Plum Seed Cakes for Estimation of Their Further Industrial Applications. *Sustainability*, 14(19):12601; doi: 10.3390/su141912601.
- Savić, M. I., Savić Gajić, M. I., Gajić, D. (2020): Physico-Chemical Properties and Oxidative Stability of Fixed Oil from Plum Seeds (*Prunus domestica* Linn.). *Biomolecules*, 10(2). doi: 10.3390/biom10020294.
- Sawicka, B. (2020): Post-Harvest Losses of Agricultural Produce. *Zero Hunger*, 654-669. doi: 10.1007/978-3-319-95675-6_40.
- Schefer, S., Oest, M., Rohn, S. (2021): Interactions between Phenolic Acids, Proteins, and Carbohydrates-Influence on Dough and Bread Properties. *Foods*, 10(11):2798. doi: 10.3390/foods10112798.
- Schuster, C. K., Ehmoser, H., Gapes, R. J., Lendl, B. (2000): On-line FT-Raman spectroscopic monitoring of starch gelatinisation and enzyme catalysed starch hydrolysis. *Vibrational Spectroscopy*, 22(1):181-190. doi: 10.1016/S0924-2031(99)00080-6.

- Schwartz, H., Ollilainen, V., Piironen, V., Lampi, A. (2008): Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21:152-161. doi: 10.1016/j.jfca.2007.07.012.
- Seabourn, W. B., Chung, K. O., Seib, A. P., Mathewson R. P. (2008): Determination of Secondary Structural Changes in Gluten Proteins during Mixing Using Fourier Transform Horizontal Attenuated Total Reflectance Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:4236-4243. doi: 10.1021/jf703569b.
- Sha, M., Zhang, D., Zhang, Z., Wei, J., Chen, Y., Wang, M., Liu, J. (2019): Improving Raman spectroscopic identification of rice varieties by feature extraction. *Journal of Raman Spectroscopy*, 51(4):702-710. doi: 10.1002/jrs.5828.
- Shahidi, F., Camargo, A. C. (2016): Tocopherols and Tocotrienols in Common and Emerging Dietary Sources: Occurrence, Applications, and Health Benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10): 1745. doi: 10.3390/ijms17101745.
- Shetty, N., INDU. (2020): Analysis of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Prunus cerasus (sour cherry). *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 12(2):4-5. doi: 10.22159/ijcpr.2020v12i2.37476.
- Shintani, K., Miyagawa, Y., Adachi, S. (2021): Maltose formation during the isothermal rest of wheat dough. *Food Bioscience*, 42:101116. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101116.
- Sievert, D., Hosney, R. C., Delcour, A. J. (2007): Bread and Other Baked Products. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. doi: 10.1002/14356007.a04_331.pub2.
- Siger, A., Nogala-Kalucka, M., Lampart-Szczapa, E. (2008): The Content and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds in Cold-Pressed Plant Oils. *Journal of Food Lipids*, 15:137-149. doi: 10.1111/j.1745-4522.2007.00107.x.
- Silva, M. B., Andrade, B. P., Ferreres, F., Seabra, M. R., Oliveira, P. P. B. M., Ferreira, A. M. (2005): Composition of Quince (*Cydonia oblonga* Miller) Seeds: Phenolics, Organic Acids and Free Amino Acids. *Natural Product Research*, 19(3): 275-281. doi: 10.1080/14786410410001714678.
- Silva, V., Silva, A., Ribeiro, J., Aires, A., Carvalho, R., Amaral, S. J., Barros, L., Igrejas, G., Poeta, P. (2023): Screening of Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities in Pomegranate, Quince, and Persimmon Leaf, Peel, and Seed: Valorization of Autumn Fruits By-Products for a One Health Perspective. *Antibiotics*, 12(7):1086. doi: 10.3390/antibiotics12071086.
- Singh, R., Langyan, S., Sangwan, S., Rohtagi, B., Khandelwal, A., Shrivastava, M. (2022): Protein for human consumption from oilseed cakes: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 856401. doi: 10.3389/fsufs.2022.856401.
- Singh, S., Singh, H., Karthick, T., Tandon, P., Dethe, H. D., Erande, D. R. (2017): Conformational Study and Vibrational Spectroscopic (FT-IR and FT-Raman) Analysis of an Alkaloid-Borreverine Derivative. *Analytical Sciences*, 33:99-104.
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Perera, C. O., Waterhouse, G. I. N. (2011): Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*, 50(2):574-585. doi: 10.1016/j.foodres.2011.03.039.
- Sjöberg, B., Foley, S., Cardey, B., Enescu, M. (2014): An experimental and theoretical study of the amino acid side chain Raman bands in proteins. *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 128:300-311. doi: 10.1016/j.saa.2014.02.080.
- Smeu, I., Dobre, A. A., Cucu, E. M., Mustăţea, G.; Belc, N., Ungureanu, E. L. (2022): Byproducts from the Vegetable Oil Industry: The Challenges of Safety and Sustainability. *Sustainability*, 14, 2039. doi: 10.3390/su140420.
- Sottile, F., Caltagirone, C., Giacalone, G., Peano, C., Barone, E. (2022): Unlocking Plum Genetic Potential: Where Are We At? *Horticulturae*, 8(2);128. doi: 10.3390/horticulturae8020128.
- Sousa, D., Salgado, M. J., Cambra-López, M., CP A., Belo I. (2021): Degradation of lignocellulosic matrix of oilseed cakes by solid-state fermentation: fungi screening for enzymes production and antioxidants release. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(4). doi: 10.1002/jsfa.11490.
- Srirejeki, S., Manuhara, J. G., Amanto, S. B., Atmaka, W., Laksono, W. P. (2018): The effect of water volume and mixing time on physical properties of bread made from modified cassava starch-wheat composite flour. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 333:012072. doi: 10.1088/1757-899X/333/1/012072.

- SRPS EN ISO 12966-1:2015. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla – Gasna hromatografija metil-estara masnih kiselina - Deo 1: Vodič za modernu gasnu hromatografiju metil-estara masnih kiselina.
- SRPS EN ISO 12966-2:2017. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla – Gasna hromatografija metil-estara masnih kiselina - Deo 2: Priprema metil-estara masnih kiselina.
- SRPS EN ISO 3960:2017. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla – Određivanje peroksidnog broja. Institut za standardizaciju Srbije..
- SRPS EN ISO 659:2011. Određivanje sadržaja ulja (referentna metoda). Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS EN ISO 660:2015. Ulja i masti biljnog i životinjskog porekla – Određivanje kiselinskog broja i kiselosti. Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS EN ISO 665:2020. Određivanje sadržaja vlage i isparljivih materija. Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS EN ISO 712:2012. Žitarice i proizvodi od žitarica - Određivanje sadržaja vlage. Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS ISO 1871:2013. Opšta uputstva za određivanje azota metodom po Kjeldalu. Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS ISO 1871:2013. Opšta uputstva za određivanje azota metodom po Kjeldalu. Institut za standardizaciju Srbije.
- SRPS ISO 749:2014. Određivanje ukupnog pepela. Institut za standardizaciju Srbije.
- Stawoska, I., Wesełucha-Birczyńska, A., Skoczowski, A., Dziurka, M., Waga, J. (2021): FT-Raman Spectroscopy as a Tool to Study the Secondary Structures of Wheat Gliadin Proteins. *Molecules*, 26(17):5388. doi: 10.3390/molecules26175388.
- Stikić R, Milinčić D, Kostić A, Jovanović Z, Gašić U, Tešić Z, Djordjević N, Savić S, Czekus B, Pešić M (2020): Polyphenolic profiles, antioxidant, and in vitro anticancer activities of the seeds of *Puno* and *Titicaca* quinoa cultivars. *Cereal Chemistry*, 97(3):626-633. doi: 10.1002/cche.10278.
- Stikić, R., Glamočlija, Dj., Demin, M., Vucelic-Radović, B., Jovanović, Z., Milojković-Opsenica, Z., Jacobsen, S. E., Milovanović, M. (2012): Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55(2): 132-134. doi: 10.1016/j.jcs.2011.10.010.
- Stylianopoulos, C. (2013): Carbohydrates: Chemistry and Classification. *Encyclopedia of Human Nutrition* (Third Edition), 265-271. doi: 10.1016/B978-0-12-375083-9.00041-6.
- Subiria-Cueto, R., Coria-Oliveros, J.A., Wall-Medrano, A., Rodrigo-García, J., González-Aguilar, A. G., Martínez-Ruiz, R. N., Alvarez-Parrilla, E. (2021): Antioxidant dietary fiber-based bakery products: a new alternative for using plant-by-products. *Food Science and Technology (Campinas)*, 42(1). doi: 10.1590/fst.57520.
- Sun, Q., Gong, M., Li, Y., Xiong, L. (2014): Effect of dry heat treatment on the physicochemical properties and structure of proso millet flour and starch. *Carbohydrate Polymers*, 110:128–134. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.090.
- Sunil, L., Prakruthi, A., Prasanth Kumar, P. K., Gopala Krishna, A. G. (2016): Development of Health Foods from Oilseed Cakes. *Journal of Food Processing & Technology*, 7:11. doi: 10.4172/2157-7110.1000631.
- Suwannarong, S., Wongsagonsup, R., Suphantharika, M. (2020): Effect of spent brewer's yeast β -D-glucan on properties of wheat flour dough and bread during chilled storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156:381-393. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.001.
- Symoniuk, E., Ratusz, K., Ostrowska-Ligeza, E., Krygier, K. (2018): Impact of Selected Chemical Characteristics of Cold-Pressed Oils on their Oxidative Stability Determined Using the Rancimat and Pressure Differential Scanning Calorimetry Method. *Food Analytical Methods*, 11:1095–1104. doi: 10.1007/s12161-017-1081-1.
- Szychowski, J. P., Munera-Picazo, S., Szumny, A., Carbonell-Barrachina, A. A., Hernández, F. (2014): Quality parameters, bio-compounds, antioxidant activity and sensory attributes of Spanish quinces (*Cydonia oblonga* Miller). *Scientia Horticulturae*, 165:163–170. doi: 10.1016/j.scienta.2013.11.028.
- Škrobot, D. (2016): Senzorski, nutritivni i funkcionalni profil integralne testenine sa dodatkom heljdinog brašna, doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- Švarc-Gajic, J., Rodrigues, F., Moreira, M. M., Spigno, G., Delerue-Matos, C., Morais, S., Doresh, O., Silva, M. A., Bassani, A., Dzedik, V. (2022): Chemical composition and bioactivity of oilseed cake extracts obtained

- by subcritical and modified subcritical water. Research Article, Research Square, doi: 10.21203/rs.3.rs-1838648/v1.
- Švarc-Gajić, J., Rodrigues, F., Moreira, M. M., Delerue-Matos, C., Morais, S., Dorosh, O., Silva, M. A., Bassani, A., Dzedik, V., Spigno, G. (2022): Chemical composition and bioactivity of oilseed cake extracts obtained by subcritical and modified subcritical water. *Bioresources and Bioprocessing*, 9:114. doi: 10.1186/s40643-022-00603-6.
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2007): Using multivariate statistics (5th ed.). Boston: Allyn and Bacon.
- Talaikis, M., Strazdaitė, S., Žiaunys, M., Niaura, G. (2020): Far-Off Resonance: Multiwavelength Raman Spectroscopy Probing Amide Bands of Amyloid- β (37–42) Peptide. *Molecules*, 25(15):3556. doi: 10.3390/molecules25153556.
- Teh, S. S., Bekhit, A. D. (2015): Utilization of Oilseed Cakes for Human Nutrition and Health Benefits. In: Hakeem, K., Jawaid, M., Y. Alothman, O. (eds) Agricultural Biomass Based Potential Materials. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-13847-3_10
- Teh, S. S., Bekhit, E. D. A., Birch, J. (2014): Antioxidative Polyphenols from Defatted Oilseed Cakes: Effect of Solvents. *Antioxidants*, 3:67-80. doi: 10.3390/antiox3010067.
- Teshome, E., Teka, A. T., Nandasiri, R., Rout, R. J., Harouna, V. D., Astatkie, T., Urugo M. M. (2023): Fruit By-Products and Their Industrial Applications for Nutritional Benefits and Health Promotion: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 15(10), 7840. doi: 10.3390/su15107840.
- Tomić, J., Štampar, F., Glišić, I., Jakopič, J. (2019): Phytochemical assessment of plum (*Prunus domestica* L.) cultivars selected in Serbia. *Food Chemistry*, 299:125113. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125113.
- Tomić, M. J., Torbica, M. A., Belović, M. M., Popović, M. Lj., Čakarević, C. J., Savanović, M. D., Novaković, R. A., Mocko Blažek, A. K. (2018): Potential of pumpkin oil cake protein isolate in production of millet bread. *Food and Feed Research*, 45(2):139-147. doi: 10.5937/FFR1802139T.
- Topp, L. B., Russell, M. D., Neumüller, M., Dalbó, A. M., Liu, W. (2012): Plum. Fruit Breeding. *Handbook of Plant Breeding*, 8(571). doi: 10.1007/978-1-4419-0763-9_15.
- Torbica, A., Pećinar, I., Lević, S., Belović, M., Jovičić, M., Dajić Stevanović, Z., Nedović, V. (2023): Insight in changes in starch and proteins molecular structure of non-wheat cereal flours influenced by roasting and extrusion treatments. *Food Hydrocolloids*, 140:108591. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108591.
- TP Mall (2020): Nutrimental and Ethnomedicinal Potential Plants of the Qur'an: An Overview - IV. *International Journal of Food, Nutrition and Dietetics*, 8(1):29–43. doi: 10.21088/ijfnd.2322.0775.8120.5.
- Ubaoji, K. I., Ezea, V. N., Umerie, S.C. (2020): Palm Kernel De-Oiled Cake: A Potential Source of Cellulose for the Production of Carboxymethyl Cellulose for Industrial Uses. *Open Access Library Journal*, 7: e6810. doi:10.4236/oalib.1106810.
- Ulbricht, T. L., Southgate, D. A. (1991): Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773):985-92. doi: 10.1016/0140-6736(91)91846-m.
- Uluata, S., Ozdemir, N. (2017): Evaluation of Chemical Characterization, Antioxidant Activity and Oxidative Stability of Some Waste Seed Oil. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(1):48. doi: 10.24925/turjaf.v5i1.48-53.909.
- Urbanavičiūtė, I., Rubinskiene, M., Viškelis, P. (2019): The fatty acid composition and quality of oils from post-industrial waste of quince *Chaenomeles japonica*. *Chemistry & Biodiversity*, 16(9):e1900352. doi: 10.1002/cbdv.201900352.
- Usenik, V., Štampar, F., Veberič, R. (2009): Anthocyanins and fruit colour in plums (*Prunus domestica* L.) during ripening. *Food Chemistry*, 144(2):529–534. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.083.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. (1980): System of analysis for evaluating fibrous feeds. In W. J. Pigden, C. C. Balch & M. Graham (Eds.), Standardization of analytical methodology in feeds, 49-60. Ottawa, Canada: International Research Development Center.
- Van Velzen, J. J. E., van Duynhoven, M. P. J., Pudney, P., Weegels, L. P., van der Maas, H. J. (2003): Factors Associated with Dough Stickiness as Sensed by Attenuated Total Reflectance Infrared Spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 80(4):378–382.
- Vavilov, N. I. (1949): The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica*, 13:1–366. doi: 10.1093/aibsbulletin/2.1.10-g.
- Verleyen, T. (2002): Stability of minor components during vegetable oil refining. PhD Thesis, Ghent, Belgium.

- Vichare, A. S., Morya, S. (2024): Exploring waste utilization potential: nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Frontiers in Food Science and Technology*, Sec. Food Characterization, 4. doi: 10.3389/frfst.2024.1441029.
- Vinardell, P. M., Mitjans, M. (2017): Lignins and Their Derivatives with Beneficial Effects on Human Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(6): 1219. doi: 10.3390/ijms18061219.
- Vladić, J., Gavarić, A., Jokić, S., Pavlović, N., Moslavac, T., Popović, Lj., Matias, A., Agostinho, A., Banožić, M., Vidović, S. (2020): Alternative to Conventional Edible Oil Sources: Cold Pressing and Supercritical CO₂ Extraction of Plum (*Prunus domestica* L.) Kernel Seed. *Acta Chimica Slovenica*, 67: 778–784. doi: 10.17344/acsi.2019.5690.
- Vuolo, M.M., Lima, V.S., Junior, M.R.M. (2019): Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In *Bioactive compounds* (pp. 33–50). Woodhead Publishing.
- Wagner, J. M., Lucas, T., Le Ray, D., Trystram, G. (2007): Water transport in bread during baking. *Journal of Food Engineering*, 78(4): 1167–1173. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.029.
- Wang, I-C., Ting, C-H. (1972): Raman spectra of carbohydrates. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 19:63-71.
- Wang, L., Wu, M., Liu, H. M., Ma, Y. X., Wang, X. D., Qin, G. Y. (2017): Subcritical Fluid Extraction of Chinese Quince Seed: Optimization and Product Characterization, *Molecules*, 2017, 22(4):528. doi: 10.3390/molecules22040528.
- Wiercigroch, E., Szafraniec, E., Czamara, K., Pacia, Z. M., Majzner, K., Kochan, K., Kaczor, A., Baranska, M., Malek, K. (2017): Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 185:317-335, doi: 10.1016/j.saa.2017.05.045.
- Wieser, H., Koehler, P., Scherf, A. K. (2022): Chemistry of wheat gluten proteins: Qualitative composition. *Cereal Chemistry*, 100(1):23-35. doi: 10.1002/cche.10572.
- Wojtunik-Kulesza, K., Oniszczuk, A., Oniszczuk, T., Combrzyński, M., Nowakowska, D., Matwijczuk, A. (2020): Influence of *In Vitro* Digestion on Composition, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols—A Non-Systematic Review. *Nutrients*, 12(5):1401. doi: 10.3390/nu12051401.
- Wong, H.-W., Choi, S.-M., Phillips, D. L., Ma, C.-Y. (2009): Raman spectroscopic study of deamidated food proteins. *Food Chemistry*, 113(2):363-370. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.09.027.
- Wu, H., Shi, J., Xue, S., Kakuda, Y., Wang, D., Jiang, Y., Ye, X., Li, Y., Subramanian, J. (2011): Essential oil extracted from peach (*Prunus persica*) kernel and its physicochemical and antioxidant properties. *LWT*, 44(10):2032-2039. doi: 10.1016/j.lwt.2011.05.012.
- Xie, W. Q., Gong, Y. X., Yu, K. X. (2017): Quantitative analysis of total starch content in wheat flour by reaction headspace gas chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry volume*, 409:5195–5200. doi: 10.1007/s00216-017-0494-4.
- Yadav, R., Kumar Singh, V., Akbar, Z. (2024): A Review on Phytochemical and Pharmacological Activities of *Prunus Cerasus*. *YMER*, 23(3): 330-339.
- Yang, D., Ying, Y. (2011): Applications of Raman Spectroscopy in Agricultural Products and Food Analysis: A Review. *Applied Spectroscopy Reviews*, 46(7):539-560. doi: 10.1080/05704928.2011.593216.
- Yang, R., Xue, L., Zhang, L., Wang, X., Qi, X., Jiang, J., Yu, L., Wang, X., Zhang, W., Zhang, Q., Li, P. (2019): Phytosterol Contents of Edible Oils and Their Contributions to Estimated Phytosterol Intake in the Chinese Diet. *Foods*, 8(8):334. doi: 10.3390/foods8080334.
- Yarilgac, T., Fikret Balta, M., Ozrenk, K., Muradoglu, F. (2005): Indigenous Sour Cherry (*Prunus cerasus* L.) Germplasm of Lake Van Basin. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4: 558-561. doi: 10.3923/ajps.2005.558.561.
- Yarilgac, T. (2001): Some Characteristics of Native Sour Cherry Genotypes Grown by Seed in Van Region. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), Tarım Bilimleri Dergisi (The Journal of Agricultural Science)*. 11(2):13-17.
- Yilmaz, C., Gökmen, V. (2013): Compositional characteristics of sour cherry kernel and its oil as influenced by different extraction and roasting conditions. *Industrial Crops and Products*, 49:130–135. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.04.048.
- Yilmaz, E., Keskin, O., Ok, S. (2020): Valorization of sour cherry and cherry seeds: cold press oil production and characterization. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 26(3):228-240.

- Yilmaz, F. M., Görgüç, A., Karaaslan, M., Vardin, H., Ersus Bilek, S., Uygun, Ö., Bircan, C. (2018): Sour Cherry By-products: Compositions, Functional Properties and Recovery Potentials - A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(22):3549-3563. doi: 10.1080/10408398.2018.1496901.
- Yousuf, S., Maktedar, S. S. (2023): Utilization of quince (*Cydonia oblonga*) seeds for production of mucilage: functional, thermal and rheological characterization. *Sustainable Food Technology*, 1:107-115. doi: 10.1039/D2FB00010E.
- Zain, N. Z. M., Shori, A. B., Baba, A. S. (2022): Potential Functional Food Ingredients in Bread and their Health Benefits. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(5):6533 – 6542. doi: 10.33263/BRIAC125.65336542.
- Zhang, Y., Hong, H., Cai, W. (2010): Imaging with Raman Spectroscopy, *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(6):654–661. doi:10.2174/138920110792246483.
- Zhang, Z.-J., Gui, D.-D., Sha, M., Liu, J., Wang, H.-Y. (2019): Raman chemical feature extraction for quality control of dairy products. *Journal of Dairy Science*, 102(1):68-76. doi: 10.3168/jds.2018-14569.
- Zhu, G., Zhu, X., Fan, Q., Wan, X. (2011): Raman spectra of amino acids and their aqueous solutions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 78(3): 1187-1195. doi: 10.1016/j.saa.2010.12.079.
- Zhu, N., Wu, D., Chen, K. (2018): Label-free visualization of fruit lignification: Raman molecular imaging of loquat lignified cells. *Plant Methods*, 14(58). doi: 10.1186/s13007-018-0328-1.
- Zlatanović, S., Kalušević, A., Micić, D., Laličić-Petronijević, J., Tomić, N., Ostojić, S., Gorjanović, S. (2019): Functionality and storability of cookies fortified at the industrial scale with up to 75% of apple pomace flour produced by dehydration. *Foods*, 8(11), 561. doi: 10.3390/foods8110561.

Internet linkovi:

- <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/hardware/measuring-instruments/colour-measurement/chromameters/cr-400-cr-410>

BIOGRAFIJA AUTORA

Aleksandra Ćirković rođena je 02.07.1991. godine u Beogradu, Republika Srbija. Srednju školu je završila u Valjevu, medicinska škola „dr Miša Pantić“, smer fizioterapeutski tehničar, u periodu od 2006-2010. godine. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, smer Prehrambena tehnologija, modul Tehnologija ratarskih proizvoda upisala je 2010. godine. Osnovne akademske studije završila je 2014. godine sa prosečnom ocenom 9,07 odbranivši završni rad pod nazivom „Nutritivni i zdravstveni potencijal heljde i njena upotreba u ishrani“ sa ocenom 10.

Školske 2014/2015 upisala je master akademske studije na studijskom programu Prehrambena tehnologija, osek Mikrobiologija hrane i životne sredine. Iste je završila sa prosečnom ocenom 9,67. U decembru 2015. godine odbranila je master rad sa temom „Primena gljive Ganoderma lucidum u proizvodnji peciva“ sa ocenom 10.

Doktorske akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Prehrambena tehnologija upisala je školske 2016/2017 godine. Položila je sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija sa prosečnom ocenom 9,43.

U aprilu 2016. godine radila kao volonter (zamena profesora) u ekonomskoj školi „Valjevo“. U periodu septembar-decembar 2018. godine radila kao profesor predmeta prehrambene struke u Poljoprivrednoj školi sa domom učenika „Valjevo“.

Od maja 2018. angažovana je kao istraživač-pripravnik na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Preko Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije angažovana je na projektu „Ispitivanje mogućnosti korišćenja kontaminiranih voda, za gajenje alternativnih zdravstveno bezbednih žita“ (evidentacioni broj TR 31006).

Oktobra 2018. godine izabrana je u zvanje istraživač-pripravnik u oblasti Biotehničkih nauka, grana Prehrambeno inženjerstvo, naučna disciplina Tehnologija biljnih proizvoda, uža naučna disciplina Tehnologija žita i brašna. Kandidat je tokom doktorski studija angažovan u naučno-istraživačkom radu. Dobro govori engleski jezik.

U saradnji sa drugim autorima objavila je jedan rad u časopisu od međunarodnog značaja (M22), jedan rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), rad u naučnom časopisu (M53), tri saopštenja na međunarodnim naučnim skupovima štampani u izvodu (M34) i jedno saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63).

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora Aleksandra L. Ćirković

Broj indeksa TH 160006

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Upotreba mlevenih uljanih pogača od semenki i jezgra različitog voća u proizvodnji pekarskih proizvoda

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Aleksandra L. Ćirković

Broj indeksa TH 160006

Studijski program Prehrambena tehnologija

Naslov rada Upotreba mlevenih uljanih pogača od semenki i jezgra različitog voća u proizvodnji pekarskih proizvoda

Mentori dr Mirjana Demin i dr Biljana Rabrenović

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Upotreba mlevenih uljanih pogača od semenki i jezgra različitog voća u proizvodnji pekarskih proizvoda

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo-nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo-nekomercijalno-bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo-nekomercijalno-deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo-bez prerade (CC BY-SA)
6. Autorstvo-deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerade.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.