

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Milica B. Lučić

**UTICAJ ULTRAZVUČNOG I TOPLOTNOG
PREDTRETMANA NA TEHNOLOŠKA I FUNKCIONALNA
SVOJSTVA SUŠENE KONZUMNE I ZAČINSKE PAPRIKE**

Doktorska disertacija

Beograd, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Milica B. Lučić

**INFLUENCE OF ULTRASOUND AND HEAT
PRETREATMENT ON TECHNOLOGICAL AND
FUNCTIONAL PROPERTIES OF DRIED BELL AND
PAPRIKA PEPPER**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022.

Mentori

dr Ivana Sredović Ignjatović, docent
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

dr Steva Lević, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

Članovi komisije

dr Mališa Antić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

dr Predrag Vukosavljević, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet

dr Antonije Onjia, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Tehnološko-metalurški fakultet

Datum odbrane doktorske disertacije: _____

Ova doktorska disertacija urađena je u okviru projekta integrisanih i interdisciplinarnih istraživanja „Nove tehnologije za monitoring i zaštitu životnog okruženja od štetnih hemijskih supstanci i radijacionog opterećenja“ (evidencioni broj projekta III43009) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Eksperimentalni deo rada u okviru ove disertacije urađen je na Poljoprivrednom fakultet Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, Naučnom Institutu za prehrambene tehnologije u Novom Sadu i u laboratoriji Anahem d.o.o. Beograd.

Zahvalnica

Veliku zahvalnost dugujem svojim mentorima dr Ivani Sredović Ignjatović, docentu Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Stevi Leviću, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Hvala na ukazanom poverenju, pruženim prilikama, brojnim savetima, prenetom znanju i veštinama, kao i neizmernoj podršci tokom izrade ove doktorske disertacije.

Neizmernu zahvalnost dugujem dr Antoniju Onjiji, redovnom profesoru Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, za nesebično preneto znanje, savete, podršku i pomoć pri eksperimentalnom radu, pisanju naučnih radova i same doktorske disertacije. Hvala Vam za vetar u leđa i veliku dozu optimizma koju ste preneli na mene.

Zahvaljujem dr Slađani Đurđić, naučnom saradniku Hemijskog fakulteta u Beogradu i dr Mioni Belović, višem naučnom saradniku Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu na pomoći pri izvođenju dela eksperimenata kao i pomoći prilikom pisanja naučnih radova.

Zahvaljujem laboratoriji ANAHEM d.o.o., stručnom osoblju, a posebno Aleksandri Savić na pomoći pri analizi uzoraka.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Ivanu Zlatanoviću, vanrednom profesoru Mašinskog Fakulteta u Beogradu, dr Vladimiru Pavloviću, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu, dr Aleksandri Torbici, naučnom savetniku Naučnog instituta za prehrambene tehnologije u Novom Sadu, dr Zori Dajić, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu, dr Ilinki Pečinar, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu i Stefanu Kolašincu, studentu doktorskih studija na Poljoprivrednom fakulteta u Beogradu za veliku pomoć u eksperimentalnom radu, zahvaljujući čemu je ova disertacija kompletirana.

Zahvaljujem dr Mališi Antiću, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Predragu Vukosavljeviću, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu za pomoć pri izradi ove disertacije.

Zahvaljujem dr Vesni Rakić, redovnom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Vladislavu Racu, vanrednom profesoru Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji su mi omogućili izradu dela disertacije u laboratorijama Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu. Zahvaljujem se za savete i podršku, bez kojih ova disertacija ne bi ni postojala.

Zahvaljujem gospodinu Fedoru Danku koji je obezbedio plodove začinske paprike za eksperimentalni deo rada ove disertacije, kao i kompaniji Z.A. Fruit Koceljeva i njihovom tehnologu Draganu Matiću koji su obezbedili liofilizaciju jednog dela uzoraka.

Veliku zahvalnost dugujem saradnicima u visokom obrazovanju i tehničarima Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu Branki Matijašević, Luciji Milovanović, Dušici Vranić i Veroslavi Marković Ivanović. Hvala Vam za pomoć, podršku i prijateljstvo.

Zahvaljujem se za pomoć, savete i podršku kolegama i prijateljima Andrijani Miletić, Jeleni Lukić, Željku Ćiroviću, Tamari Tadić i Aleksandri Ćirković.

Beskrajno se zahvaljujem svojim najmilijima, mami Slavojci, tati Branislavu, braći Blagoju i Balši (Banetu), sestri Danici i njenoj porodici. Hvala za neizmernu ljubav i podršku tokom mog života. Najveću zahvalnost dugujem Gospodu Bogu i Sv. Vasiliju Ostroškom i Tvrdoškom za pomoć u svakom danu i času.

SAŽETAK

Cilj ovoga istraživanja bio je unapređenje funkcionalnih i tehnoloških svojstava sušene konzumne i začinske paprike kroz primenu različitih predtretmana i metoda sušenja. Istraživanja su obuhvatila ispitivanje nutritivnih i antioksidativnih parametara svežih plodova i nutritivnih, antioksidativnih i fizičkih parametara prerađenih plodova konzumne i začinske paprike. Ispitan je uticaj različitih predtretmana, kao što su blanširanje, hemijski predtretman, ultrazvuk i njihove međusobne kombinacije. Dodatno, proučavan je i uticaj metoda sušenja - sušenje u tunelskoj sušari strujom toplog vazduha i sušenje postupkom liofilizacije. Glavni cilj je bio utvrđivanje najpogodnije kombinacije predtretmana i metoda sušenja za očuvanje nutritivnih, antioksidativnih i senzornih karakteristika sušene paprike. Fracioni faktorijski dizajn je upotrebljen za proučavanje uticaja ovih faktora.

U okviru prvog dela istraživanja izvršena je analiza mineralnog sastava komercijalno dostupnih svežih i prerađenih paprika kao i analiza sadržaja vitamina C kod četiri sorte konzumne paprike u tri stepena zrelosti. Takođe je izvršena i procena dijetetskog unosa minerala i zdravstvenog rizika koji potiče od toksičnih elemenata usled konzumacije plodova paprike. Rezultati ovih analiza ukazali su da plodovi paprike ne predstavljaju značajan izvor minerala, gde količine prisutne u prosečnim porcijama za decu i odrasle nisu dovoljne za zadovoljenje preporučenih dnevnih potreba. Izuzetak su bili određeni kiseli i sveži plodovi koji predstavljaju značajniji izvor Cu, Cr i Mo. Analizom sadržaja minerala u tri stepena zrelosti kod sorte *Kurtovska kapija* zapaženo je da se sadržaj minerala kontinualno menja tokom sazrevanja ploda što se ogleda u višem usvajanju K, Zn, Mg, Cu, B i gotovo stalnoj cirkulaciji Mg i Fe do pune zrelosti ploda. Rezultati ispitivanja zdravstvenog rizika su ukazali da plodovi paprike i njihovi proizvodi ne nose zdravstveni rizik za decu i odrasle usled unosa toksičnih elemenata kao što su Al, Hg, Cd i As. Većina analiziranih paprika je bila odličan izvor vitamina C sa sadržajem L-askorbinske kiseline većim od 100 mg/100 g, što znači da konzumacijom 100 g sveže paprike može se zadovoljiti preporučeni dnevni unos vitamina C.

U drugom delu istraživanja izvršena je analiza uticaja određenih predtretmana na mineralni sastav, sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja, antioksidativnu aktivnost i sadržaj L-askorbinske kiseline. U prvoj seriji eksperimenata ispitivano je ispiranje makro-, mikro- i elemenata u tragovima tokom ultrazvučnog pretretmana u vodi i rastvoru sirćetne kiseline. Za ovaj set eksperimenata upotrebljeni su plodovi sorte *Kurtovska kapija*. Do najvećih gubitaka minerala je došlo tokom prerade zelenih plodova, dok je ultrazvučni predtretman sa sirćetnom kiselinom poboljšao ekstrakciju toksičnih elemenata kao što su Al, Hg i As. Iako je ultrazvučni predtretman u rastvoru sirćetne kiseline doprineo najvećem uklanjanju toksičnih elemenata istovremeno je uticao i na značajne gubitke Fe (do 77% ukupnog gvožđa). U drugoj seriji eksperimenata ispitivan je uticaj ultrazvučnog, hemijskog i toplotnog predtretmana na sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja, antioksidativnu aktivnost i sadržaj L-askorbinske kiseline kod začinske paprike. Najveći uticaj na sadržaj ukupnih fenolnih jedinjenja i L-askorbinske kiseline od primenjenih predtretmana imala je temperatura predtretmana, gde su više temperature izazvale veće gubitke (50 i 80 °C). Primenjeni predtretmani nisu značajno uticali na antioksidativnu aktivnost prethodno tretirane začinske paprike.

U trećem delu istraživanja izvršeno je ispitivanje uticaja primenjenih predtretmana i metoda sušenja na kvalitet sušene konzumne i začinske paprike. Kod sušene začinske paprike rađene su sledeće analize: mineralni sastav, sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, antioksidativna aktivnost, sadržaj L-askorbinske kiseline, boja (CIELab i ne-enzimatski indeks tamnjenja), tekstura, morfološke karakteristike i mikrobiološka aktivnost kod sušene začinske paprike, dok je kod sušene konzumne paprike ispitivan sadržaj L-askorbinske kiseline i mikrobiološka aktivnost. Cilj je bio da se utvrdi uticaj različitih faktora (vreme predtretmana, temperatura predtretmana, primenjeni aditiv, pH vrednost rastvora za predtretman, primena ultrazvuka, masa uzorka koji se tretira, veličina komadića i način sušenja) na navedene parametre kvaliteta sušene paprike. Nekoliko faktora je značajno uticalo na kvalitet sušene začinske paprike. Metod sušenja je značajno uticao na sadržaj ukupnih polifenola i L-askorbinske kiseline, crvenu

boju (parametar a^*) i rehidraciju (u početnim fazama rehidracije). Vreme predtretmana je značajno uticalo na antioksidativnu aktivnost merenu FRAP testom, sadržaj L-askorbinske kiseline, parametre boje a^* , C^* i ne-enzimatski indeks tamnjenja. pH vrednost je imala značajan uticaj na teksturu sušenih komadića. Temperatura predtretmana je značajno uticala na sadržaj L-askorbinske kiseline. Analizom ukupnog kvaliteta, pomoću funkcije poželjnosti, koja objedinjuje sve odgovore sistema za sušenu začinsku papriku utvrđeno je da dva faktora imaju statistički značajan uticaj: ultrazvuči predtretman i vrsta primenjenog aditiva. Rezultat ove analize je ukazao da je ultrazvuk imao negativan uticaj na ukupan kvalitet sušene začinske paprike, dok je kalijum-metabisulfit bio bolji aditiv u odnosu na limunsku kiselinu. Kod plodova sušene začinske paprike utvrđeno je da metod sušenja ima statistički značajan uticaj na sadržaj L-askorbinske kiseline. Mikrobiološka analiza sušene konzumne paprike ukazala je na zadovoljavajući kvalitet svih uzoraka nakon primene predtretmana. Metod sušenja u tunelskoj sušari se pokazao kao najefikasniji za smanjenje mikrobiološke aktivnosti.

Ključne reči: Derringerova funkcija poželjnosti, faktorijski dizajn, Box-Behnken dizajn, ultrazvuk, limunska kiselina, kalijum-metabisulfit, sirćetna kiselina, procena zdravstvenog rizika, procena dijetetskog unosa, L-askorbinska kiselina

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Nauka o konzervisanju i vrenju

UDK: 635.649:664.844(043.3)

INFLUENCE OF ULTRASOUND AND HEAT PRETREATMENT ON TECHNOLOGICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF DRIED BELL AND PAPRIKA PEPPER

ABSTRACT

This thesis aimed to improve the functional and technological properties of dried bell and paprika peppers by applying different pretreatments and drying methods. The research included the examination of nutritional and antioxidant parameters of fresh peppers and nutritional, antioxidant, and physical parameters of the processed dried bell and paprika peppers. The influence of different pretreatments, such as blanching, chemical pretreatment, ultrasound and their combinations, was investigated. Additionally, the effect of drying methods was studied - drying in a tunnel dryer with hot air and freeze-drying. The main goal was to determine the most suitable combination of pretreatments and drying methods for the preservation of nutritional, antioxidant, and sensory properties of dried pepper. Fractional factorial designs were used to study the effects of these factors.

Within the first part of the research, the analysis of the mineral composition of commercially available fresh and processed peppers was performed, as well as the analysis of vitamin C content in four cultivars of bell peppers in three ripening stages. Dietary mineral intake and health risks assessment of toxic elements due to the consumption of pepper fruits were also evaluated. The results of these analyzes indicated that pepper fruits are not a significant source of minerals, where the amounts present in average portions for children and adults are not sufficient to meet the recommended daily needs. The exceptions were certain sour and fresh fruits, which are a significant source of Cu, Cr, and Mo. Analysis of mineral content in three ripening stages for the cultivar Kurtovska kapiya showed that the mineral content changes continuously during fruit ripening, which is reflected in higher absorption of K, Zn, Mg, Cu, B and almost constant circulation of Mg and Fe until full fruit maturity. The results of the health risk study indicated that pepper fruits and their products do not represent a health risk for children and adults due to the intake of toxic elements such as Al, Hg, Cd, and As. Most of the analyzed peppers were excellent sources of vitamin C with L-ascorbic content higher than 100 mg/100g, which means that eating 100 g of fresh pepper is enough to meet the recommended daily intake.

The second part of the study examined the effects of different pretreatments on mineral composition, total phenolics content, antioxidant activity, and L-ascorbic acid content. The first series of experiments investigated leaching of macro-, micro- and trace elements during ultrasound pretreatment in water and acetic acid solution. The cultivar Kurtovska kapiya was used for this set of experiments. The highest leaching of elements occurred during the processing of green fruits, while ultrasonic pretreatment with acetic acid improved the extraction of toxic elements Al, Hg and As. Although ultrasonic pretreatment with acetic acid solution contributed to the highest removal of the toxic elements, it also caused a significant loss of Fe (up to 77% of total iron). The second series of experiments investigated the effects of ultrasonic, chemical, and thermal pretreatments on the total phenolics content, antioxidant activity, and L-ascorbic acid content of paprika pepper. The pretreatment temperature highly influenced the total phenolics and L-ascorbic acid content, with higher temperatures causing higher leaching of these compounds (50 and 80 °C). The applied pretreatments did not significantly affect the antioxidant activity of previously treated peppers.

The third part of the research investigated the effects of applied pretreatments and drying methods on dried paprika and bell pepper quality. For dried paprika peppers following analyses were performed: mineral composition, total phenolics content, total carotenoids content, antioxidant activity, L-ascorbic acid content, color (CIELab and non-enzymatic browning index), texture, morphological properties, and microbiological activity, while for dried bell peppers L-ascorbic acid content and microbiological activity were investigated. The aim was to determine the influence of various factors (pretreatment time, pretreatment temperature, applied additives, pH value of pretreatment solution, application of ultrasound, mass of the treated peppers, pieces size, and drying methods) on the mentioned parameters of dried pepper quality. Several factors significantly

influenced the quality of dried paprika peppers. The drying methods significantly affected total phenolics and L-ascorbic acid content, red color (parameter a*), and rehydration ratio (in the initial stages of rehydration). The pretreatment time significantly affected antioxidant activity measured by the FRAP test, L-ascorbic acid content, color parameters a*, C*, and non-enzymatic browning index. The pH value significantly affected the texture of the dried pepper. The pretreatment temperature significantly affected L-ascorbic acid content. The overall quality, studied by the desirability function, which combines all the responses for dried paprika pepper, showed that two factors have a statistically significant influence: the ultrasound pretreatment and the type of applied additive. This analysis indicated that ultrasound negatively affected the overall quality of dried paprika peppers, while potassium metabisulfite was a better additive than citric acid. The content of L-ascorbic acid of dried bell pepper was significant influence by the method of drying. Microbiological analysis of dried peppers indicated the satisfactory quality of all samples subjected to the pretreatments. The drying method in a tunnel dryer was the most effective for reducing microbiological activity.

Keywords: *Derringer desirability function, factorial design, Box-Behnken design, ultrasound, citric acid, potassium-metabisulfite, acetic acid, health risk assessment, dietary intake assessment, L-ascorbic acid*

Scientific field: Technological engineering

Scientific subfield: The science of food preservation and fermentation

UDK: 635.649:664.844(043.3)

Sadržaj:

UVOD	1
1. TEORIJSKI DEO	4
1.1. PAPRIKA	4
1.1.1. Paprika – poreklo, vrste i svojstva	4
1.1.2. Fizičko-hemijski sastav ploda paprika.....	5
1.1.2.1. Plod paprike – morfologija i anatomija	5
1.1.2.2. Minerali	6
1.1.2.3. Vitamini	6
1.1.2.4. Karotenoidi	8
1.1.2.5. Fenolna jedinjenja.....	11
1.1.2.6. Kapsaicinoidi i kapsinoidi	13
1.2. PRERADA PLODOVA PAPRIKE	15
1.2.1. Sušenje paprike	15
1.2.2. Predtretmani.....	15
1.2.2.1. Fizički predtretmani.....	16
1.2.2.1.1. Ultrazvučni predtretman	16
1.2.2.2. Hemijski predtretmani	17
2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA	18
3. MATERIJAL I METODE	19
3.1. MATERIJALI.....	19
3.1.1. Sirovine.....	19
3.1.2. Karakteristike plodova sorti koje su upotrebljene za analizu	19
3.1.3. Hemikalije.....	20
3.2. PREDTRETMANI I SUŠENJE PLODOVA KONZUMNE I ZAČINSKE PAPRIKE	22
3.2.1. Eksperimentalni dizajn	22
3.2.1.1. Eksperimentalni dizajn za konzumnu papriku	22
3.2.1.2. Eksperimentalni dizajn za začinsku papriku.....	25
3.3. ANALIZA MAKROELEMENATA I ELEMENATA U TRAGOVIMA	28
3.3.1. Priprema uzoraka	28
3.3.2. Instrumentalno merenje	28
3.3.3. Procena dijetetskog unosa.....	28
3.3.4. Procena zdravstvenog rizika	29
3.3.4.1. Procenjeni sedmični i dnevni unos za toksične elemente	29
3.3.4.2. Ne-kancerogeni rizik	29

3.3.4.3. Kancerogeni rizik.....	30
3.4. ANALIZA L-ASKORBINSKE KISELINE TEČNOM HROMATOGRAFIJOM VISOKIH PERFORMANSI	30
3.4.1. Ekstrakcija vitamina C iz uzoraka paprike	30
3.4.2. Instrumentalno merenje	30
3.4.3. Validacija metode	31
3.5. ANALIZA SADRŽAJA UKUPNIH POLIFENOLA.....	31
3.6. ANALIZA SADRŽAJA UKUPNIH KAROTENOIDA	31
3.7. ANTIOKSIDATIVNI TESTOVI	32
3.7.1. DPPH test.....	32
3.7.2. FRAP test.....	32
3.8. ANALIZA BOJE.....	32
3.8.1. CIE Lab boja.....	32
3.8.2. Ne-enzimatski indeks tamnjenja.....	33
3.9. ANALIZA SPOSOBNOSTI REHIDRATACIJE.....	33
3.10. ANALIZA TEKSTURNIH SVOJSTVA	33
3.11. MORFOLOŠKA SVOJSTVA.....	34
3.12. MIKROBIOLOŠKA ANALIZA	34
3.13. FUNKCIJA POŽELJNOSTI	35
3.14. STATISTIČKA ANALIZA.....	36
4. REZULTATI I DISKUSIJA.....	37
4.1. UTICAJ PREDTRETMANA NA SADRŽAJ ELEMENATA U PAPRICI	37
4.1.1. Elementarni sastav paprike	37
4.1.1.1. Korelaciona analiza	39
4.1.1.2. Analiza glavnih komponenti.....	41
4.1.1.3. Klaster analiza	41
4.1.1.4. Uticaj stepena zrelosti na elementarni sastav plodova paprike.....	42
4.1.1.5. Dijetetski unos esencijalnih elemenata i elemenata u tragovima.....	44
4.1.1.6. Procena zdravstvenog rizika za toksične elemente u tragovima.....	46
4.1.1.6.1. Procenjeni sedmični i dnevni unos	47
4.1.1.6.2. Ne-kancerogeni rizik	48
4.1.1.6.3. Kancerogeni rizik.....	48
4.1.2. Izluživanje elemenata iz konzumne paprika tokom predtretmana.....	49
4.1.2.1. Vodena ekstrakcija podpomognuta ultrazvukom.....	49
4.1.2.2. Ekstrakcija sirćetnom kiselinom podpomognuta ultrazvukom.....	53

4.1.3. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj elemenata u plodu začinske paprike.....	55
4.2. UTICAJ PREDTRETMANA I SUŠENJA NA ANTIOKSIDATIVNA SVOJSTVA PAPRIKE	58
4.2.1. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj L-askorbinske kiseline	58
4.2.1.1. Sadržaj vitamina C u svežim plodovima	58
4.2.1.2. Sadržaj L-askorbinske kiseline nakon fizičko-hemijskog predtretmana	59
4.2.1.3. Sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj paprici	60
4.2.2. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj ukupnih polifenola i ukupnih karotenoida.....	64
4.2.2.1. Sadržaj ukupnih polifenola nakon fizičko-hemijskog predtretmana	64
4.2.2.2. Sadržaj ukupnih polifenola i karotenoida u sušenoj paprici	65
4.2.3. Uticaj predtretmana i sušenja na antioksidativnu aktivnost.....	66
4.2.3.1. Antioksidativna aktivnost nakon fizičko-hemijskog predtretmana.....	67
4.2.3.2. Antioksidativna aktivnost nakon predtretmana u sušenoj paprici.....	67
4.3. UTICAJ PREDTRETMANA NA FIZIČKA SVOJSTVA SUŠENE PAPRIKE	71
4.3.1. Uticaj predtretmana na boju sušene paprike	71
4.3.1.1. CIE Lab boja.....	71
4.3.1.2. Ne-enzimatski indeks tamnjenja.....	71
4.3.2. Uticaj primenjenih predtretmana na rehidraciju sušene paprike.....	72
4.3.3. Uticaj primenjenih predtretmana na teksturna svojstva sušene paprike	73
4.3.4. Uticaj primenjenih predtretmana na morfološka svojstva sušene paprike.....	75
4.4. FUNKCIJA POŽELJNOSI.....	79
4.5. MIKROBIOLOŠKA SVOJSTVA OSUŠENIH PROIZVODA	82
5. ZAKLJUČAK.....	86
6. LITERATURA	90
7. PRILOZI.....	106
BIOGRAFIJA AUTORA	112
Izjava o autorstvu	113
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada	114
Izjava o korišćenju	115

LISTA SLIKA U TEKSTU

Slika 1. 1. Raspodela proizvodnje sveže i sušene paprike po zemljama sveta (FAOSTAT, 2019)	4
Slika 1. 2. Morfološke karakteristike ploda konzumne i začinske paprike (Mühlbauer & Müller, 2020a, 2020b), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier	5
Slika 1. 3. Hemijska struktura L-askorbinske kiseline i njenih derivata (Barba et al., 2014), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier	6
Slika 1. 4. Strukturne formule tokeferola i tokotrienola (Mustacich et al., 2007), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier	8
Slika 1. 5. Strukturne formule odabranih karotenoida (Miller et al., 2014), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu izdavača Elsevier	9
Slika 1. 6. Različite boje plodova paprike uslovljene prisustvom karotenoida (Brock, 2019).....	10
Slika 1. 7. Mlevena začinska paprika (Kammar, 2020).....	10
Slika 1. 8. Šematski prikaz klasifikacije polifenola na osnovu broja fenolnih prstenova. Modifikovano na osnovu Ferrazzano et al. (2011) i Han et al. (2007) uz licencu za korišćenje CC BY 3.0 licence, https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/	11
Slika 1. 9. Mehanizam uklanjanja slobodnih radikala u reakciji sa fenolnim jedinjenjima: (1) doniranje vodonikovog atoma; (2) doniranje elektrona (Galanakis, 2018), slike preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier.....	12
Slika 1. 10. Strukturne formule najzastupljenijih kapsaicinoida i odgovarajućih kapsinoida. Modifikovano uz dozvolu od Jayaprakasha, G.K., Bae, H., Crosby, K., Jifon, J.L., Patil, B.S. (2012), Bioactive compounds in peppers and their antioxidant potential. Copyright 2012 American Chemical Society. Slike plodova paprike uz dozvolu preuzete sa https://pixabay.com (Joe, 2017; Köhler, 2014).....	13
Slika 1. 11. Korisna svojstva kapsaicinoida po ljudsko zdravlje.....	14
Slika 3. 1. a) tunelska sušara, b) zamrznuti uzorci paprike postavljeni na tacnu pre procesa liofilizacije	25
Slika 3. 2. Sušenje uzoraka začinske paprike na lesi u tunelskoj sušari	26
Slika 3. 3. Liofilizator Labconco FreeZone® 18.....	26
Slika 3. 4. TA.XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, England, UK) – levo; prikaz analize uzorka sušene paprike – desno	33
Slika 3. 5. Raspršivač Baltec scd 005	34
Slika 4. 1. Biplot analize glavnih komponenti na osnovu elementarnog sastava 28 uzoraka paprike : (1) sveže paprike, (2) prerađene paprike i (3) suve paprike.....	41
Slika 4. 2. Dendrogram klusterske analize na osnovu elementarnog sastava 28 uzoraka paprike: A – sušene paprike, B – sveže i prerađene paprike, C – sveže paprike, D – sve prerađene paprike, E – kisele paprike, F – paprike iz proizvoda paprika u pavlaci i paprika iz proizvoda „punjena paprika“ (24)	42
Slika 4. 3. Učešće pojedinačnih elemenata u ukupnom ne-kancerogenom riziku na osnovu srednjih vrednosti THQ, za decu i odrasle	48
Slika 4. 4. Učešće pojedinačnih elemenata u ukupnom kancerogenom riziku na osnovu srednjih vrednosti kancerogenog rizika (CR), za decu i odrasle	49
Slika 4. 5. Dijagrami odgovora površina za vodenu ekstrakciju zrele zelene paprike: a) ekstrakcija K u funkciji odnosa čvrsto-tečno i vremena ekstrakcije; b) ekstrakcija Mo u funkciji ekstrakcione temperature i odnosa čvrsto-tečno	51
Slika 4. 6. Dijagrami odgovora površina za vodenu ekstrakciju poluzrele paprike: a) ekstrakcija K u funkciji temperature i odnosa čvrsto-tečno; b) ekstrakcija Cu u funkciji odnosa čvrsto-tečno i vremena ekstrakcije .	52
Slika 4. 7. Dijagrami odgovora površina kod vodene ekstrakcije zrelih crvenih plodova: a) ekstrakcija K u funkciji temperature i odnosa čvrsto-tečno; b) ekstrakcija Mn u funkciji temperature i vremena ekstrakcije	53

Slika 4. 8. Dijagram odgovora površina za ekstrakciju sirćetnom kiselinom zrele crvene paprike, ekstrakcija Fe u funkciji koncentracije sirćetne kiseline i vremena ekstrakcije	54
Slika 4. 9. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj K u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)	55
Slika 4. 10. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih faktora na sadržaj K u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$).....	56
Slika 4. 11. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj Fe u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)	57
Slika 4. 12. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih faktora na sadržaj Fe u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$).....	57
Slika 4. 13. Promena sadržaja L-askorbinske kiseline sa primenom različitih predtretmana. Kontrolni uzorak – sveža paprika bez predtretmana. Uzorci od 1-28 su pripremljeni po eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.6.)	60
Slika 4. 14. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj začinskoj paprici (odgovor mg/100 g s.m., $\alpha = 0,05$)	61
Slika 4. 15. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj začinskoj paprici.....	62
Slika 4. 16 Pareto dijagram uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj konzumnoj paprici (odgovor mg/100 g s.m., $\alpha = 0,05$).....	62
Slika 4. 17. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj konzumnoj paprici.....	63
Slika 4. 18. Dijagram interakcija uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u uzorcima sušene konzumne paprike.....	64
Slika 4. 19. Sadržaj ukupnih polifenola u svežoj začinskoj paprici (uzorak 0) i u uzorcima koji su podvrgnuti predtretmanu, a pre koraka sušenja. Uzorci su pripremljeni po eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.6.).....	65
Slika 4. 20. Grafički prikaz promene antioksidativne aktivnosti i sadržaja ukupnih polifenola kod plodova začinske paprike nakon fizičko-hemijskih predtretmana	67
Slika 4. 21. FRAP test: Pareto dijagram (odgovor mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$)	68
Slika 4. 22. FRAP test: Dijagram glavnih efekata (odgovor mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$).....	69
Slika 4. 23. FRAP test: Dijagram interakcija ispitivanih parametara (mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$).....	70
Slika 4. 24. Rehidracija uzoraka sušene začinske paprike pripremljenih po eksperimentalnom dizajnu prikazanom u Tabeli 3.6. Liofilizovani uzorci: 1, 10, 13. Uzorci sušeni u tunelskoj sušari: 2, 4, 14. Kontrolni uzorak bez predtretmana osušen u tunelskoj sušari – X1a i kontrolni uzorak bez predtretmana osušen u liofilizatoru – X1b	72
Slika 4. 25. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na teksturu sušene začinske paprike (odgovor sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$).....	73
Slika 4. 26. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih faktora na teksturu sušene začinske paprike (odgovor sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$).....	74
Slika 4. 27. Dijagram interakcija ispitivanih parametara na teksturu sušene začinske paprike (sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$).....	75
Slika 4. 28. SEM analiza sušene začinske paprike: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina kontrolnog uzorka sušenog u tunelskoj sušari; B1 - spoljašnja i B2 – unutrašnja površina kontrolnog uzorka sušenog postupkom liofilizacije, bez primene predtretmana.....	76
Slika 4. 29. SEM analiza uzoraka tunelski sušene paprike koji su pre sušenja prošli odgovarajuće fizičko-hemijske predtretmane: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina uzorka 2 iz FFD; B1 – spoljašnja i B2 – unutrašnja površina uzorka 4 iz FFD; C1 – spoljašnja i C2 –unutrašnja površina uzorka 14 iz FFD.....	77

Slika 4. 30. SEM analiza liofilizovanih uzoraka paprike, koji su pre sušenja prošli odgovarajuće fizičko-hemijske predtretmane: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina uzorka 6 iz FFD; B1 – spoljašnja i B2 – unutrašnja površina uzorka 11 iz FFD; C1 – spoljašnja i C2 – unutrašnja površina uzorka 16 iz FFD.....	78
Slika 4. 31. Pareto dijagram funkcije poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L*), crvena boja (a*), žuta boja (b*), ugao boje (hue ^o), zasićenje boje (C*), ne-enzimatski indeks tamnjenja i stepen rehidracije).....	79
Slika 4. 32. Dijagram glavnih efekata za funkciju poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L*), crvena boja (a*), žuta boja (b*), ugao boje (hue ^o), zasićenje boje (C*), ne-enzimatski indeks tamnjenja, tekstura i stepen rehidracije).....	80
Slika 4. 33. Dijagram interakcija ispitivanih parametara za funkciju poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L*), crvena boja (a*), žuta boja (b*), ugao boje (hue ^o), zasićenje boje (C*), ne-enzimatski indeks tamnjenja, tekstura i stepen rehidracije).....	81

LISTA TABELA U TEKSTU

Tabela 1. 1. Preporučeni dnevni unos vitamina C za decu i odrasle. Sadržaj vitamina C u različitim plodovima paprike.....	7
Tabela 1. 2. Sadržaj tokoferola kod paprike (Kim et al., 2011)	8
Tabela 3. 1. Eksperimentalni faktori i nivoi faktora za ekstrakciju vodom i ekstrakciju sirćetnom kiselinom.....	22
Tabela 3. 2. Box-Behnken dizajn, realne vrednosti.....	23
Tabela 3. 3. Faktori i nivoi faktora kod frakcionog faktorijskog dizajna za konzumnu papriku.....	23
Tabela 3. 4. Eksperimentalni dizajn za konzumnu papriku, realne vrednosti	24
Tabela 3. 5. Faktori i nivoi faktora kod frakcionog faktorijskog dizajna za začinsku papriku	26
Tabela 3. 6. Eksperimentalni dizajn za začinsku papriku, realne vrednosti	27
Tabela 3. 7. Dnevni unos paprika za odrasle i decu starosti 3-6 godine.....	29
Tabela 3. 8. Analiza ekstrakta paprike i vrednosti za pojavljivost (eng. recovery).....	31
Tabela 4. 1. Koncentracije elemenata u uzorcima paprike (n=28), scwness – simetrija i kurtosis – spljoštenost raspodele.....	38
Tabela 4. 2. Pirsonovi korelacioni koeficijenti između analiziranih elemenata u paprici (n=28)	40
Tabela 4. 3. Elementarni sastav plodova sorte <i>Kurtovska kapija</i> u različitim stepenima zrelosti.....	43
Tabela 4. 4. Preporučeni dnevni unos elemenata za odrasle i doprinos (%) preporučenom unosu kroz konzumaciju paprike	45
Tabela 4. 5. Preporučeni dnevni unos elemenata za decu starosti 4-6 godina i doprinosi (%) preporučenom unosu kroz konzumaciju paprike.....	46
Tabela 4. 6. Procenjeni sedmični unos toksičnih elemenata kroz konzumaciju paprike i njihov doprinos (%) PTWI vrednostima.....	47
Tabela 4. 7. Polinomne jednačine drugog reda i korelacioni koeficijenti vodene ekstrakcije elemenata iz plodova paprike	50
Tabela 4. 8. Polinomne jednačine drugog reda i korelacioni koeficijenti za ekstrakciju sirćetnom kiselinom	54
Tabela 4. 9. Sadržaj ukupnog vitamina C, L-askorbinske i L-dehidroaskorbinske kiseline u plodovima četiri sorte paprike u tri stepena zrelosti (mg/100 g). Redukcija L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu je vršena sa ditiotreitolum (DTT)	58
Tabela 4. 10. Sadržaj ukupnog vitamina C, L-askorbinske i L-dehidroaskorbinske kiseline u plodovima četiri sorte paprike u tri stepena zrelosti (mg/100g). Redukcija L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu je vršena sa tioglikolnom kiselinom	59
Tabela 4. 11. Rezultati antioksidativne aktivnosti, sadržaja ukupnih polifenola i ukupnih karotenoida kod kontrolnih uzoraka.....	66
Tabela 4. 12. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod kontrolnih uzoraka sušene začinske paprike cfu/g.....	82
Tabela 4. 13. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod odabranih uzoraka sušene začinske paprike iz eksperimentalnog dizajna (Tabela 3.6.) cfu/g	83
Tabela 4. 14. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod kontrolnih uzoraka sušene konzumne paprike cfu/g.....	84
Tabela 4. 15. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod odabranih uzoraka sušene konzumne paprike iz eksperimentalnog dizajna (Tabela 3.6.) cfu/g	84

UVOD

Biljka paprike (*Capsicum*) vodi poreklo iz Južne Amerike, ali se danas gaji širom sveta. Ova povrtarska kultura se odlikuje brojnim vrstama i dosta raznolikim plodovima u pogledu oblika, veličine, boje, ukusa i hemijskog sastava čak i u okviru istih vrsta. Komercijalno se najviše gaji vrsta *Capsicum annuum* L. Plodovi paprike su veoma bogat izvor vitamina, karotenoida, polifenola i vlakana. Posebno su bogati vitaminom C, pri čemu konzumacija 100 g svežeg ploda neretko može da zadovolji 100 do 200% preporučenog dnevnog unosa ovog vitamina. Paprika je takođe izvor brojnih karotenoida, a samim tim i vitamina A pošto su karotenoidi prekursori ovog vitamina. Osim toga plodovi predstavljaju izvor vitamina E, brojnih vitamina B grupe, polifenola i drugih bioaktivnih jedinjenja. U plodovima paprike nalaze se i fitohemikalije specifične za rod *Capsicum* – kapsaicinoidi u ljutim paprikama i kapsinoidi u slatkim plodovima. Ova jedinjenja doprinose antioksidativnom kapacitetu plodova, ali imaju i brojna druga pozitivna dejstva na ljudsko zdravlje (prevencija raka, regulacija telesne težine, prevencija dijabetesa itd.) (Hernández-Pérez et al., 2020; Nora Moreb, Caron O'Dwyer, 2020; Sanatombi & Rajkumari, 2019; Tripodi & Kumar, 2019; Whiting et al., 2012).

Plodovi paprike se konzumiraju kao sveži, prerađeni, a često su i dodatak brojnih jela gde se koriste za poboljšanje ukusa, mirisa, boje i teksture hrane. Paprika se prerađuju iz više razloga, pre svega u cilju produženja roka trajanja pošto su plodovi lako kvarljivi i ne mogu se očuvati dugo u svežem stanju, ali i u cilju dobijanja novih proizvoda koji imaju izmenjen ali svakako privlačan ukus. Neki od prerađenih proizvoda na bazi paprike su: kisela paprika, ajvar, razne vrste soseva od paprike (ljuti i slatki), smrznute mešavine, mlevena začinska paprika, sušena cela paprika, sušeni komadići paprike, dimljena paprika i oleoresin – ekstrakt paprike. Ekstrakt paprike se koristi kao dodatak raznim vrstama gotovih jela u cilju korekcije boje i ukusa (ljut ukus) (Berke & Shieh, 2012; Finger & Pereira, 2016; Kumar et al., 2006; Łechtańska et al., 2015).

Tokom prerade plodova dolazi do brojnih hemijskih i fizičkih promena koji uglavnom podrazumevaju gubitak i degradaciju različitih visokovrednih jedinjenja kao što su vitamini, polifenoli, karotenoidi, minerali itd. Razvoj svesti o značaju kvaliteta ishrane uticao je da se radi na iznalaženju novih i unapređenju postojećih postupaka prerade, a samim tim i razvoja novih vrsta proizvoda. Glavni cilj ovih istraživanja je razvoj postupaka prerade koji bi omogućili bolje očuvanje bioaktivnih komponenti hrane.

Velike količine plodova paprike se konzervišu postupkom sušenja, gde se kao finalni proizvodi dobijaju sušeni celi plodovi, sušene ljuspice i sušena mlevena začinska paprika. Dok je Kina najveći proizvođač sveže paprike, Indija je najveći proizvođač sušene paprike. Sušenje voća i povrća može se vršiti na više načina: sušenje na suncu, sušenje u solarnim sušarama, u tunelskim sušarama, postupkom liofilizacije, kao i nove tehnike sušenja koje podrazumevaju primenu više različitih metoda. Voće i povrće se danas najviše suši na suncu i u tunelskim sušarama. Mada su ove dve metode sušenja najzastupljenije, obe imaju određene nedostatke. Sušenje na suncu dugo traje, i nosi veliki rizik od mikrobiološkog kvarenja kao i dobijanja neujednačenog kvaliteta proizvoda (Soysal et al., 2009; Topuz et al., 2009). Sušenjem u tunelskim sušarama smanjen je rizik od mikrobiološke kontaminacije, kao i vreme sušenja, ali ovaj vid sušenja vodi ka većoj degradaciji vrednih jedinjenja usled primene visokih temperatura sušenja. Brojna istraživanja ukazuju da je sušenje postupkom liofilizacije najbolja metoda sa stanovništa očuvanja kvaliteta. Mana ovog postupka je i dugo vreme sušenja (Vega-Gálvez et al., 2009; Voda et al., 2012; J. Wang et al., 2017).

Pre sušenja voća i povrća često se primenjuju različiti fizički ili hemijski predtretmani. Ovi predtretmani utiču na skraćivanje vremena sušenja, poboljšanje kvaliteta proizvoda, ali i na smanjenje troškova proizvodnje usled manje potrošnje energije. Fizički predtretmani se dele na termičke i ne-termičke. Jedan od najstarijih predtretmana je postupak blanširanja koji podrazumeva potapanje povrća u zagrejanu vodu (temperature od 70 do 100 °C) par minuta. Na ovaj način postiže se inaktivacija enzima i mikroorganizama, te istiskivanje vazduha iz ćelija. Pored pozitivnih svojstava, blanširanje ima i negativnu stranu koja se ogleda u gubitku brojnih u vodi rastvornih

jedinjenja, kao i u degradaciji različitih bioaktivnih jedinjenja na povišenim temperaturama. Iz tog razloga razvijene su i druge vrste termičkih predtretmana: blanširanje vodenom parom, blanširanje pregrejanom parom visoke vlažnosti (eng. high humidity hot air impingement blanching – HHAIB), omsko grejanje i mikrotalasni predtretman. Kada su u pitanju fizički ne-termički predtretmani vršena su ispitivanja i zapažen je pozitivan uticaj ultrazvučnog predtretmana, predtretmana koji se zasniva na primeni pulsog električnog polja, kao i predtretmana visokog hidrostatičkog pritiska. Pored fizičkih predtretmana u cilju poboljšanja kvaliteta sušene hrane primenjuju se i hemijski predtretmani. Kod hemijskih predtretmana plodovi mogu da se tretiraju tako što se potopaju par minuta u odgovarajuće rastvore (alkalne, kisele, sulfitne, hiperosmotske) ili se izlažu odgovarajućim gasovima (sumpor-dioksid, ozon, ugljen-dioksid) (Oliveira et al., 2015; Voda et al., 2012; J. Wang et al., 2017).

Primena ultrazvuka u prehrambenoj industriji ima veliki potencijal, a poslednjih godina vrše se brojna istraživanja u ovoj oblasti. U prehrambenoj industriji ultrazvuk se može koristiti za unapređenje brojnih procesa: ekstrakcije, filtracije, homogenizacije, kuvanja, smrzavanja/kristalizacije, sušenja, proizvodnje kiselih proizvoda, regulacije pene, sečenja, osmotske dehidratacije, rehidratacije i konzervisanja, a u sprezi sa drugim tehnikama u cilju inaktivacije mikroorganizama (Amiri et al., 2021; Chemat et al., 2011; Miano et al., 2019; Singla & Sit, 2021). Kod procesa sušenja ultrazvuk se može primeniti na dva načina: kao predtretman ili u toku samog procesa sušenja. Primena ultrazvuka zasniva se na činjenici da se primenom ultrazvuka može povećati prenos mase, i uticati na izmenu strukture proizvoda što olakšava proces sušenja. Ove promene doprinose skraćivanju vremena i snižavanju temperature sušenja. Prostiranje ultrazvučnih talasa kroz tečni medijum utiče na stvaranje velikog broja sitnih mehurića, koji postepeno rastu, spajaju se u veće i u nekom trenutku usled stalne promene pritiska pucaju što utiče na oslobađanje velike količine energije (lokalizovano povećanje pritiska i temperature). Ukoliko do pucanja mehurića dođe na granici faza čvrsto-tečno formira se mikro mlaz koji izlazi iz mehurića i prelazi u čvrsti komadić. Na ovaj način dolazi do oštećenja i pojave pukotina na komadiću hrane što kasnije olakšava sušenje (Bhargava et al., 2021; Oliveira et al., 2015; Rodriguez et al., 2017).

Dosadašnja istraživanja ukazuju da primena ultrazvuka kao predtretmana doprinosi skraćivanju vremena klasičnog sušenja i liofilizacije, kao i da doprinosi boljoj rehidrataciji osušenih proizvoda (Jambrak et al., 2007; Nowacka & Wedzik, 2016). Takođe je primećeno da primena ultrazvuka kao predtretmana utiče na smanjenje aktivnosti vode sušene mrkve (Kowalski et al., 2015), trešnje (Kowalski & Szadzińska, 2014), brusnice (Shamaei et al., 2012) i jabuke (Fijalkowska et al., 2016), zatim utiče na bolje očuvanje boje sušene banane (Nadery Dehsheikh & Taghian Dinani, 2019), jabuke (Mierzwa & Kowalski, 2016), pečurki (Çakmak et al., 2016), jagoda (Garcia-Noguera et al., 2014) i mrkve (Kowalski et al., 2015). Sa druge strane postoje i studije kod kojih je zapaženo da ultrazvučni predtretman utiče na promenu boje luka (Ren et al., 2018) i nara (Allahdad et al., 2019). Zavisno od tretiranog povrća i voća, primena ultrazvučnog predtretmana može uticati na bolje očuvanje sadržaja ukupnih polifenola i ukupne antioksidativnosti, ali može uticati i na njihovo smanjenje (Çakmak et al., 2016; Nadery Dehsheikh & Taghian Dinani, 2019; Ren et al., 2018; Hua Wang et al., 2019).

Postoji manji broj istraživanja koja su se bavila proučavanjem primene ultrazvučnog tretmana pre sušenja plodova paprike, posebno onih koja se odnose na hemijske promene do kojih dolazi usled primene ultrazvuka, kao i uticaja primene ove vrste predtretmana na ukupnan kvalitet koji obuhvata i hemijske i fizičke parametre kvaliteta (Cárcel et al., 2018; Lucio-Juárez et al., 2013; Rybak, Parniakov, et al., 2021).

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je analiza fizičkih i hemijskih parametara kvaliteta sušene konzumne i začinske paprike nakon primene različitih vrsta predtretmana. Cilj je bio da se utvrdi kako različiti predtretmani i njihove kombinacije utiču na parametre kvaliteta sušene paprike, ali i ukupan kvalitet paprike kada se posmatra uticaj različitih tretmana na veći broj parametara. Ispitivan je uticaj termičkih i ne-termičkih predtretmana. Kombinacije predtretmana su podrazumevale zajedničku primenu toplotnog, hemijskog i ultrazvučnog predtretmana. Za postavku eksperimenata primenjen je frakcioni faktorijski dizajn. Naučni doprinos disertacije ogleda se u

ispitivanju uticaja ultrazvučnog i klasičnog (toplotnog) predtretmana na očuvanje nutritivnih svojstava paprike, primenom vode i razblaženih rastvora soli i/ili organskih kiselina kao tečnog medijuma za predtretman.

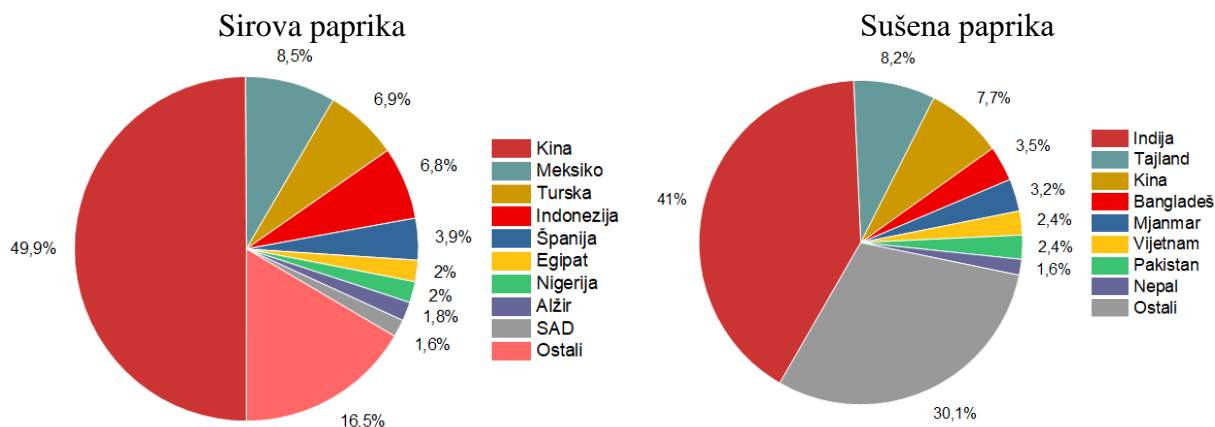
1. TEORIJSKI DEO

1.1. PAPRIKA

1.1.1. Paprika – poreklo, vrste i svojstva

Paprika (*Capsicum*) je jedna od najviše gajenih vrsta povrća u svetu. Pripada porodici *Solanace*, rodu *Capsicum*, u okviru koga se nalazi oko 35 vrsta. Vrste koje se danas gaje su: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* i *C. pubescens* (Kumar et al., 2006). Ova biljka potiče iz Južne Amerike, a od šesnaestog veka gajenje je prošireno i na ostale kontinente, najviše zahvaljujući španskim i portugalskim trgovcima (Berke & Shieh, 2012). Arheološki podaci ukazuju da je paprika jedna od biljnih vrsta čija selekcija i kultivacija datira još iz perioda 7500 godina pre nove ere (Kaur, Kaur, Wagh, et al., 2020). Plod paprike ima različite primene, a pre svega se koristi u ishrani kao sveže povrće, začim, boja, kao i u obliku različitih prerađenih proizvoda. Osim u ishrani paprika se koristi i u medicinske svrhe. Komercijalno u svetu se najviše gaje paprike vrste *C. annuum*. Plodovi paprike se mogu značajno razlikovati u pogledu oblika, veličine, boje, ali i po tome da li se radi o slatkim ili ljutim plodovima (Po et al., 2018; Vulić et al., 2019).

Paprika se danas gaji na svim kontinentima, gde je Kina najveći proizvođač sveže, a Indija sušene paprika (Slika 1.1.). U 2019. godini proizvodnja sveže paprike u svetu je dostigla 38 miliona tona, dok je proizvodnja sušene paprike dostigla 4,2 miliona tona. Kina prednjači u proizvodnji sveže paprika sa preko 18 miliona tona godišnje. Na drugom mestu se nalazi Meksiko, koji proizvodi znatno manje količine, sa preko 3,2 miliona tona, slede Turska sa preko 2,6 miliona tona i Indonezija sa 2,5 miliona tona. Indija je najveći proizvođač sušene paprike (preko 1,74 miliona tona), a slede je Tajland (preko 0,348 miliona tona) i Kina (preko 0,326 miliona tona) (FAOSTAT, 2019).



Slika 1. 1. Raspodela proizvodnje sveže i sušene paprike po zemljama sveta (FAOSTAT, 2019)

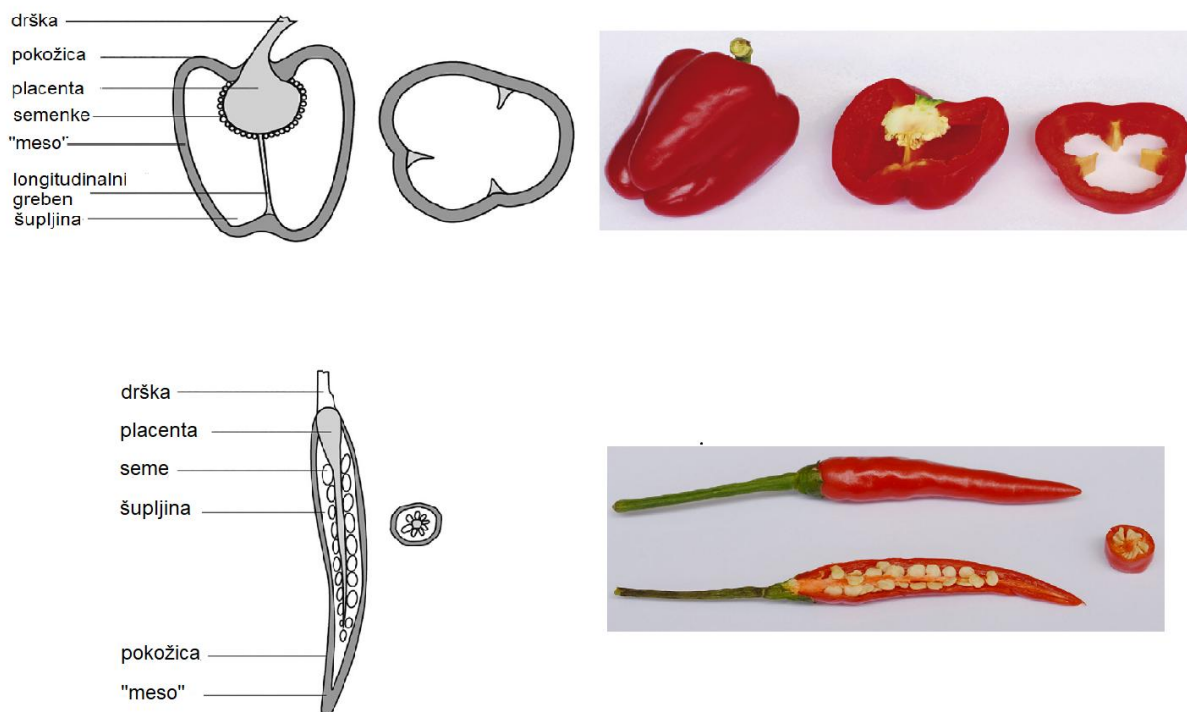
U Republici Srbiji je veoma popularna povrtarska kultura sa velikom tradicijom gajenja i prerade u različite proizvode. Ukupna proizvodnja za 2019. godinu je iznosila 118256 t, pri čemu se paprika najviše gaji i proizvodi u regionu Vojvodine (površina 860 ha, proizvodnja 13593 t) (Republički zavod za statistiku, 2020b). U Srbiji je tokom 2019. proizvedeno 4079 t sušene paprike. Na osnovu podataka za 2019. godine Srbija je učestvovala u evropskoj proizvodnji sušene i sveže paprike sa 13,14%, odnosno sa 3,44% (FAOSTAT, 2019). Pored proizvodnje, Srbija i uvozi paprike, pri čemu je u 2019. godini uvoz sveže paprike iznosio 7820 t (Selina Wamucii, 2019). Prosečna potrošnja paprike po glavi stanovnika u Srbiji za 2019. godinu iznosila je 13,28 kg godišnje (Republički zavod za statistiku, 2020a).

1.1.2. Fizičko-hemijski sastav ploda paprika

Plodovi paprike se odlikuju velikom raznolikošću u pogledu veličine, oblika, boje, ali i u pogledu ukusa, tj. da li se radi o ljutim ili slatkim plodovima. Velika raznolikost je prisutna ne samo kod različitih vrsta, već i između plodova u okviru iste vrste. Vrsta *C. annuum*, kao najviše gajena vrsta odlikuje se najvećom raznolikošću među plodovima (Hernández-Pérez et al., 2020). Najznačajnije podvrste *C. annuum* su slatke: babura (eng. bell), pimento (span. pimiento), kubanska paprika i ljute: halapenjo (span. jalapeño), kajenska (fr. cayenne), serano paprika (span. serrano). Nekada je veoma teško razlikovati plodove *C. annuum* od *C. frutescens* i *C. chinense* s obzirom na to da su veoma slični. Plodovi vrste *C. chinense* su ljuti, a ima više podvrsta od kojih su najznačajnije habanero (span. habanero) i “Scotch bonnet“ (škotska kapa), dok vrsta *C. frutescens* (sitni, ljuti plodovi) ima znatno manje podvrsta, a najznačajniji kultivar je “Tobasco“, koji se koristi za proizvodnju poznatog Tabasco® sosa (Bosland & Voltava, 2012). Vrsta *C. pubescens* je najmanje gajena vrsta, čiji plodovi imaju oblik jabuke ili kruške, dok vrsta *C. baccatum* ima veliki broj podvrsta i najviše se gaji u Južnoj Americi, a plodovi joj po ukusu variraju od veoma do blago ljutih (Bosland & Voltava, 2012).

1.1.2.1. Plod paprike – morfologija i anatomija

Plodovi paprike po obliku mogu biti okrugli, izduženi, veoma izduženi, ovalni, oblika bundeve, zvona i bloka. Veličina plodova takođe varira od veoma sitnih do velikih plodova. Razlike mogu postojati i kod istog tipa paprike. Na primer paprika babura može imati oblik bloka, konusa ili biti manjih dimenzija u odnosu na tipične plodove koji se nalaze u prodaji (Hernández-Pérez et al., 2020). Površina ploda može biti glatka, polu-naborana, naborana. Ilustracije i slike uzdužnog i poprečnog preseka začinske i konzumne paprike mogu se videti na Slici 1.2.



Slika 1. 2. Morfološke karakteristike ploda konzumne i začinske paprike (Mühlbauer & Müller, 2020a, 2020b), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier

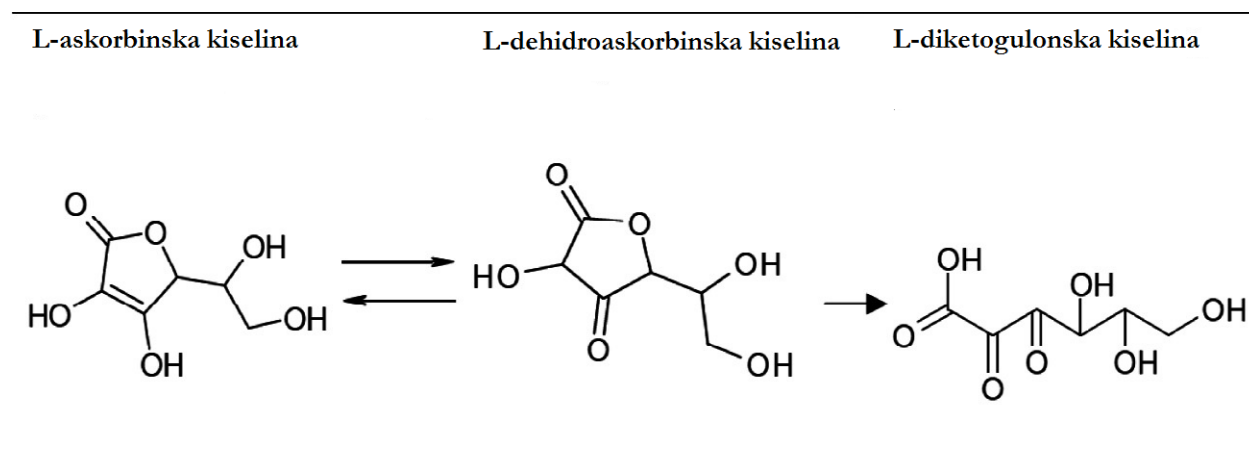
1.1.2.2. Minerali

Plodovi paprika predstavljaju vredan izvor mineralnih materija, pri čemu su najzastupljeniji makroelementi K, P, Ca, Mg, Na, a prate ih mikroelementi Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, Se itd. Mineralni sastav zavisi od vrste, kultivara, stepena zrelosti ploda, uslova gajenja i podneblja u kome se paprika gaji. Istraživanja ukazuju da začinske sorte imaju veći sadržaj mineralnih materija u odnosu na konzumne, kao i da elementarni sastav zavisi i od stepena zrelosti ploda (Baenas et al., 2019; Guil-Guerrero et al., 2006; Palacios-Morillo et al., 2014).

1.1.2.3. Vitamini

Plodovi paprike su bogat izvor vitamina C, provitamina A (β -karoten), vitamina B (tiamin, riboflavin i niacin), vitamina E, kao i folne kiseline (Hernández-Pérez et al., 2020; Sanatombi & Rajkumari, 2019; Šeregelj et al., 2019; Tripodi & Kumar, 2019). Količine vitamina u plodu zavise od vrste, sorte, stepena zrelosti, uslova gajenja, perioda berbe, rukovanja nakon berbe, načina prerade ploda i uslova skladištenja (Hernández-Pérez et al., 2020).

U biljnim ćelijama vitamin C je zastupljen u dva oblika, kao L-askorbinska i dehidroaskorbinska kiselina. Oksidacijom L-askorbinske kiseline (jak redukcionni agens) nastaje dehidroaskorbinska kiselina. Ovaj proces je reverzibilan, a L-askorbinska i dehidroaskorbinska kiselina se u ćeliji nalaze u hemijskoj ravnoteži, pri čemu oba oblika poseduju vitaminska svojstva. Daljom oksidacijom dehidroaskorbinske kiseline nastaje produkt koji nema vitaminska svojstva (Slika 1.3.) (Blasa et al., 2010).



Slika 1. 3. Hemijska struktura L-askorbinske kiseline i njenih derivata (Barba et al., 2014), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier

Vitamin C je u vodi rastvoran antioksidant široko zastupljen u voću i povrću sa izraženim svojstvom uklanjanja slobodnih radikala ($O_2^{\cdot -}$, $\cdot OH$, 1O_2)¹. Može da redukuje H_2O_2 do vode i učestvuje u askorbat-glutation ciklusu. Takođe, može da obnovi vitamin E i da na taj način spreči peroksidaciju lipida u membranama (Blasa et al., 2010; Parvaiz, 2014). Plodovi paprike se odlikuju veoma visokim koncentracijama vitamina C, koje se povećavaju sa sazrevanjem ploda (Hernández-Pérez et al., 2020; Martínez et al., 2005). Zabeležene koncentracije se kreću od 20 do 393 mg/100 g svežeg ploda (Hernández-Pérez et al., 2020; Nora Moreb, Caron O'Dwyer, 2020). U najvećem broju slučajeva konzumiranje 100 g svežeg ploda paprike zadovoljava od 100% do 200% preporučenog dnevnog unosa vitamina C (Nora Moreb, Caron O'Dwyer, 2020). U Tabeli 1.1.

¹Aktivne kiseonične forme: superoksidni radikal $O_2^{\cdot -}$, peroksidni anjon $O_2^{2 -}$, vodonik peroksid H_2O_2 i singletni kiseonik 1O_2 . Nastaju dejstvom enzima katalaze (enzimski katalizovana oksidacija supstrata) ili u elektron-transportnom sistemu (u procesu fotosinteze ili respiracije). Uzrokuju oštećenja proteina, DNK, lipida.

prikazani su preporučeni dnevni unosi vitamina C po starosnim grupama i polu, kao i koncentracije vitamina C određene u različitim plodovima paprike.

Tabela 1. 1. Preporučeni dnevni unos vitamina C za decu i odrasle. Sadržaj vitamina C u različitim plodovima paprike

Preporuke	Vitamin C (mg/dan)		
	Deca (4-6 g.)	Muškarci	Žene
Evropska agencija za bezbednost hrane*	30	110	95
Svetska zdravstvena organizacija**	30	45	45
Institut za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu***	25	90	75

Vrsta paprike	Vitamin C (mg/100 g svežeg ploda)	
Sedam sorti Habanero paprika (<i>Capsicum chinense</i>). Poreklo Meksiko	od 187,24 do 281,73	(Campos et al., 2013)
Crvena konzumna paprika sorte „Muhanjilju“ Poreklo Južna Koreja	od 96,36 do 128,76	(Bhandari et al., 2016)
Paprika sorte „Fresno de la Vega“ (<i>Capsicum annuum</i>) Poreklo Španija	od 107,3 do 154,3	(Martínez et al., 2005)
Kisele ljute Jalapeno i Serrano paprike Poreklo Meksiko	od 518 do 1972	(Alvarez-Parrilla et al., 2011)
Sorte paprike sa Balkanskog poluostrva (n= 63)	od 7 do 92	(Denev et al., 2019)
Sorte paprike sa Balkanskog poluostrva (n= 180)	od 4,77 do 273,47	(Nankar et al., 2020)

*Referentni unos za populaciju (eng. Population Reference Intake – PRI), potrebe 97,5% pojedinaca u ukupnoj populaciji (EFSA, 2017b).

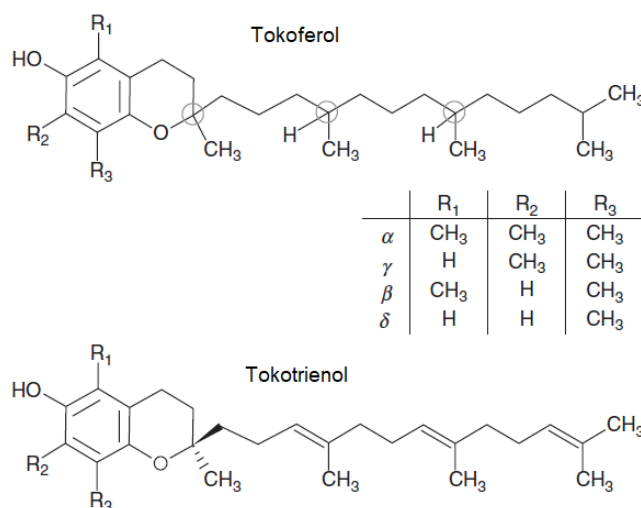
**Preporučeni unos nutrijenta (eng. Recommended Nutrient Intake – RNI). Nutritivne potrebe 97,5% pojedinaca u ukupnoj populaciji (WHO & FAO, 2004).

***Preporučeni dodatak ishrani (eng. Recommended Dietary Allowances – RDA). Nutritivne potrebe 97-98% zdravih pojedinaca u ukupnoj populaciji (Institute of Medicine, 2006).

Vitamini grupe B obuhvataju osam jedinjenja rastvornih u vodi (sa oznakama B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9 i B12), koji su koenzimi u enzimskim reakcijama i uključeni su u metabolizam makronutrijenata u ljudskom telu. Ovi vitamini deluju pojedinačno i zajedno, pri čemu omogućavaju normalno funkcionisanje ljudskog tela (Mikkelsen & Apostolopoulos, 2018).

Konzumacija plodova paprike doprinosi unosu ovih vitamina, mada koncentracije koje se nalaze u 100 g ploda ne mogu zadovoljiti preporučeni dnevni unos (Nankar et al., 2020; Tripodi & Kumar, 2019).

Vitamin E obuhvata osam jedinjenja koja imaju antioksidativna svojstva i rastvorna su u mastima. U svojoj strukturi ova jedinjenja poseduju fenol-hromanol prsten povezan sa izoprenoidnim lancem. Ukoliko je izoprenoidni lanac zasićen radi se o tokoferolima, a ako je nezasićen radi se o tokotrienolima. Strukturne formule tokoferola i tokotrienola prikazane su na Slici 1.4. Razlikuju se četiri primarne strukture tokoferola i tokotrienola (α , β , γ i δ) (Barba et al., 2014; Miller et al., 2014), što se može videti na Slici 1.4. Jedinjenja iz ove grupe vrše “čišćenje” ne samo od reaktivnih formi kiseonika $^1\text{O}_2$, $^{\bullet}\text{OH}$, $\text{O}_2^{\bullet -}$ već i od lipidnih peroksida, pri čemu najveći antioksidativni kapacitet ima α -tokoferol (Parvaiz, 2014). Najzastupljenija forma vitamina E je α -tokoferol, mada kod nekih semena dominira γ -tokoferol. Prisustvo različitih oblika vitamina E zavisi od vrste biljke, ali menja se i u zavisnosti od dela biljke, stepena razvoja i uslova životne sredine. Smešteni su u hroloplastima gde imaju ulogu stabilizatora membrane (Parvaiz, 2014).



Slika 1. 4. Strukturne formule tokoferola i tokotrienola (Mustacich et al., 2007), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier

Kao što je već pomenuto najznačajnija uloga vitamina E su njegova antioksidativna svojstva. Tokom reakcije sa reaktivnim formama kiseonika dolazi do formiranja tokoferil radikala. Ovaj radikal se obnavlja u tokoferol pomoću askorbata i glutaciona². Askorbinska kiselina redukuje tokoferil radikal do tokoferola pri čemu nastaje monodehidroaskorbat, a monodehidroaskorbat prelazi opet u askorbinsku kiselinu pomoću monodehidroaskorbat reduktaze i enzima askorbat-glutacion ciklusa dehidroaskorbat reduktaze i glutacion reduktaze (Gupta et al., 2018).

Tokoferoli se u najvećim količinama nalaze u žitaricama, zelenom lisnatom povrću i semenima (Blasa et al., 2010), a značajne količine se nalaze i u listovima lovora - *Laurus nobilis*: 132,8–139,3 mg/100 g (Barba et al., 2014). Vitamin E je zastupljen i kod paprike, s tim da se znatno veće količine nalaze u listovima u odnosu na plodove (Tabela 1.2.) i to u obliku γ -tokoferola (Kim et al., 2011). U jednom ispitivanju kod plodova ljute paprike različitog porekla (Mađarska, Bugarska, Srbija, Španija, Kina i Peru) prosečan sadržaj α -tokoferola je bio 403 ± 51 $\mu\text{g}/100$ g, dok je prosečan sadržaj γ -tokoferola iznosio $53 \pm 14,55$ $\mu\text{g}/100$ g (Molnár et al., 2018).

Tabela 1. 2. Sadržaj tokoferola kod paprike (Kim et al., 2011)

Uzorak	Tokoferol (mg/100 g suve materije)			Ukupno
	α	γ	δ	
Zelena paprika	$8,13 \pm 1,65$	$33,70 \pm 1,89$	-	$41,84 \pm 3,10$
Crvena paprika	$20,03 \pm 0,46$	$0,88 \pm 0,03$	-	$20,92 \pm 0,28$
Listovi	$58,97 \pm 0,39$	$723,49 \pm 54,10$	$3,83 \pm 0,96$	$786,31 \pm 53,34$

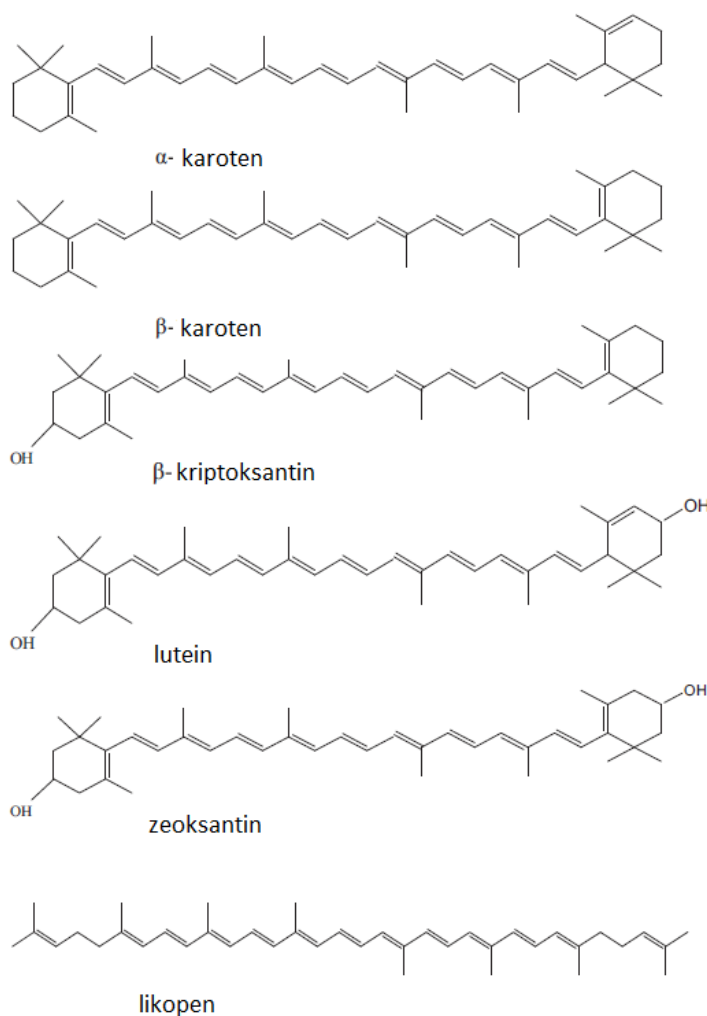
1.1.2.4. Karotenoidi

Karotenoidi su žuti, crveni, narandžasti i ljubičasti pigmenti rastvorni u mastima. Obuhvataju oko 700 različitih jedinjenja od koji se 40 nalazi u redovnoj ljudskoj ishrani (Barba et al., 2014; Blasa et al., 2010; Kopsell & Kopsell, 2010). Nalaze se u plastidima (Ahmad P., 2014). Na osnovu toga da li sadrže kiseonik, karotenoidi se dele na oksigenisane ksantofile kao što su lutein, zeoksantin i violaksantin i karotene koji ne sadrže kiseonik kao što su β -karoten, α -karoten i likopen. Strukturne formule najznačajnijih karotenoida prikazane su na Slici 1.5. Mada karotenoidi

² Glutacion (GSH) je tripeptid sačinjen od glutamina, cisteina i glicina. Jedan je od najvažnijih antioksidanata, prisutan je u gotovo u svim ćelijskim organelama. U ćeliji se u velikoj meri koristi za uklanjanje slobodnih radikala, a može služiti i kao koenzim brojnih enzima uključenih u sintezu DNK.

imaju brojne funkcije, najznačajnija je svakako uloga ovih pigmenta kao provitamina *vitamina A* (β -karoten, α -karoten i β -kriptoksantin) (Barba et al., 2014; Kopsell & Kopsell, 2010). Pored provitaminske aktivnosti, karotenoidi su značajna antioksidativna jedinjenja, koja doprinose prevenciji raznih kancera, kardiovaskularnih i oftalmoloških bolesti (Stahl & Sies, 2003).

Izgrađeni su od izoprenoidnih jedinica kovalentno povezanih u C_{40} lanac. Glavni lanac može biti ciklizovan na jednom ili oba kraja, može imati različit stepen hidrogenacije i posedovati funkcionalne grupe sa kiseonikom. Likopen je primer acikličnog, a α -karoten cikličnog karotenoida. Oblik karotenoida, reaktivnost i svojstva apsorbovanja svetlosti potiču od naizmeničnih dvostrukih veza (Miller et al., 2014).



Slika 1. 5. Strukturne formule odabranih karotenoida (Miller et al., 2014), slike (uz modifikaciju) preuzete uz dozvolu izdavača Elsevier

Karotenoidi su značajna antioksidativna jedinjenja u biljkama, ali i kod životinja i ljudi. Kod fotosintetskih organizama služe kao dodatni pigmenti za apsorbovanje svetlosti, tj. proširuju opseg svetlosti koju apsorbuje fotosintetski aparat; neutralizuju i uklanjaju tripletno stanje hlorofila, 1O_2 i ostale reaktivne forme kiseonika koje nastaju u hloroplastima; uklanjaju višak energije i doprinose strukturnoj organizaciji i stabilizaciji (Gupta et al., 2018).

Antioksidativna svojstva karotenoida (uklanjanje reaktivnih formi kiseonika pre svega singletnog kiseonika - 1O_2) zavise od broja dovostrukih veza, vrste i broja funkcionalnih grupa, dok u manjoj meri zavise od ciklične ili aciklične forme (Gupta et al., 2018; Ligor et al., 2013). Antioksidativna sposobnost raste sa brojem dvostrukih veza, pri čemu likopen najefikasnije „gasi“ singletni kiseonik

(sadrži 11 konjugovanih i dve nekonjugovane dvostruke veze). Forme karotenoida β -karoten i ksantofil efikasno uklanjaju peroksil radikale (Ligor et al., 2013). Različiti stresovi koji se javljaju u životnoj sredini (stres povezan sa manjkom ili viškom vode, soli, teških metala itd.) utiču na povećanje ili smanjenje produkcije karotenoida u biljkama (Marin et al., 2009).

Plodovi paprike su bogat izvor karotenoida, gde žuta, narandžasta i crvena boja potiču od ovih pigmenata (Slika 1.6.). Karotenoidi su najmanje zastupljeni kod zelenih sorti (Campos et al., 2013). Sadržaj ukupnih karotenoida kod plodova paprike se kreće od 0,69 do 30 mg/g suve materije ili od 15 do 320 mg/100 g sveže materije (Baenas et al., 2019). Neki od najčešćih karotenoida u plodovima paprike su α - i β -karoten, zeoksantin, lutein i β -kriptoksantin – odgovorni za žuto-narandžaste nijanse i kapsantin, kapsorubin i kriptoksantin – odgovorni za crvene nijanse (Campos et al., 2013). Sa sazrevanjem ploda povećava se količina crvenih karotenoida, pri čemu kapsantin čini od 30 do 70% ukupnih karotenoida kod crvenih sorti (Arimboor et al., 2015). Sa sazrevanjem osim kapsantina značajno se povećava i sadržaj β -kriptoksantina, α -karotena, β -karotena, i zeoksantina, dok sadržaj luteina neznatno opada (Howard et al., 2000).



Slika 1. 6. Različite boje plodova paprike uslovljene prisustvom karotenoida (Brock, 2019)

Zahvaljujući intenzivnoj boji koja najvećim delom potiče od karotenoida, proizvodi od paprike se koriste kao prirodne boje. Za bojenje se upotrebljavaju mlevena začinska paprika (Slika 1.7.) i oleoresin (Arimboor et al., 2015). Oleoresin je ekstrakt paprike rastvoran u mastima, a u sebi sadrži masne kiseline, trigliceride, karotenoide, kapsicinoide i još neka jedinjenja u niskim koncentracijama (Baenas et al., 2019).

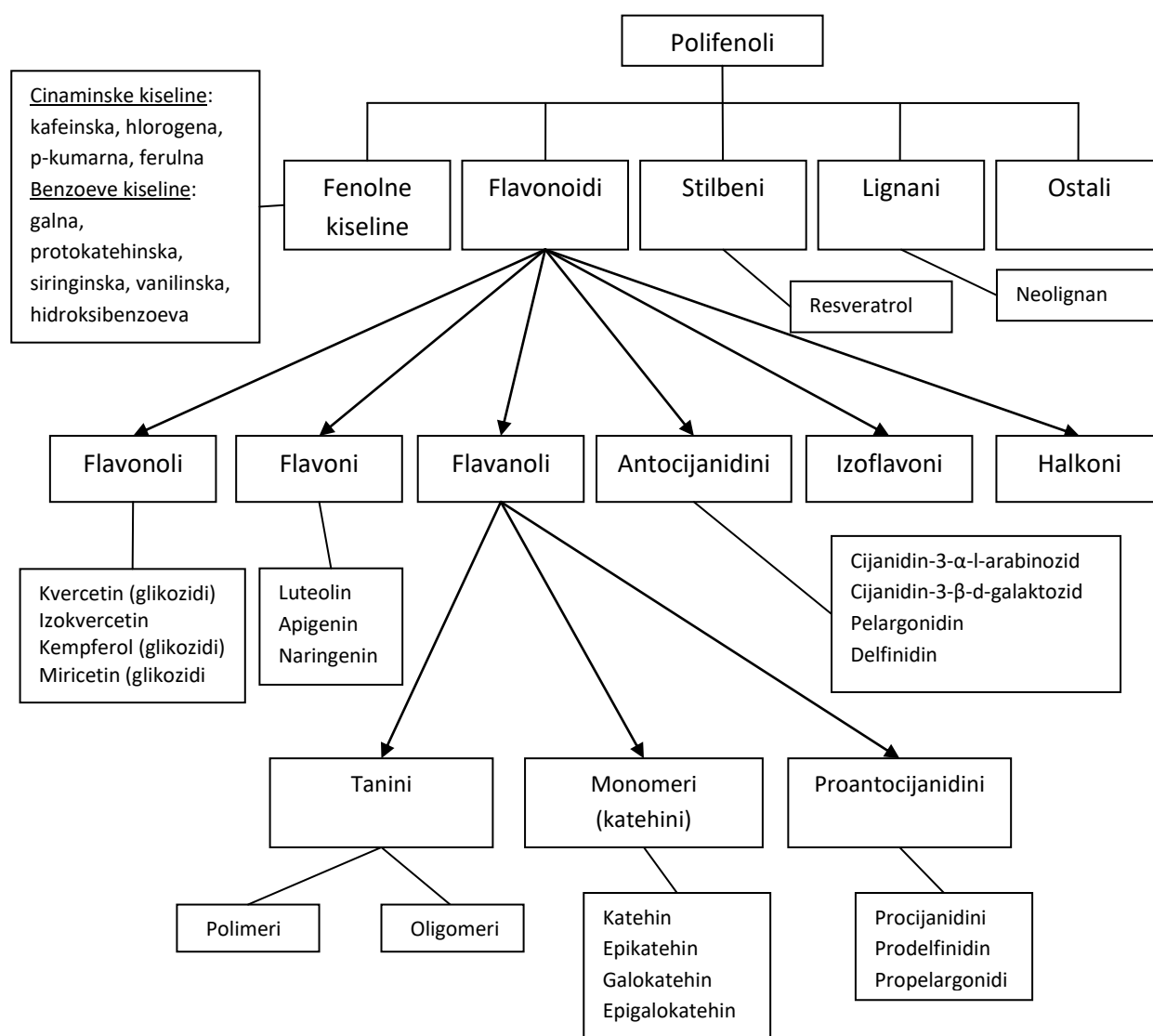


Slika 1. 7. Mlevena začinska paprika (Kammar, 2020)

1.1.2.5. Fenolna jedinjenja

Fenolna jedinjenja ili polifenoli su sekundarni metaboliti veoma značajni za biljke, ali i za ishranu ljudi i životinja. Obuhvataju veliki broj (preko 8000) različitih jedinjenja. Razlikuju se u pogledu strukture, veličine molekula i aktivnosti. U hemijskom smislu fenoli su aromatična jedinjenja koja sadrže benzenov prsten sa jednom ili više direktno vezanih hidroksilnih grupa, dok polifenoli predstavljaju jedinjenja sa najmanje dve fenolne grupe, bez obzira na broj hidroksilnih grupa koje nose. Međutim, upotreba naziva „polifenoli“ još uvek stvara nedomice kod istraživača pošto se ovaj naziv često koristi i za jedinjenja sa jednim fenolnim prstenom, kao što su fenolne kiseline i fenolni alkoholi (Baiano & Del Nobile, 2016; Barba et al., 2014; Galanakis, 2018; Murkovic, 2003).

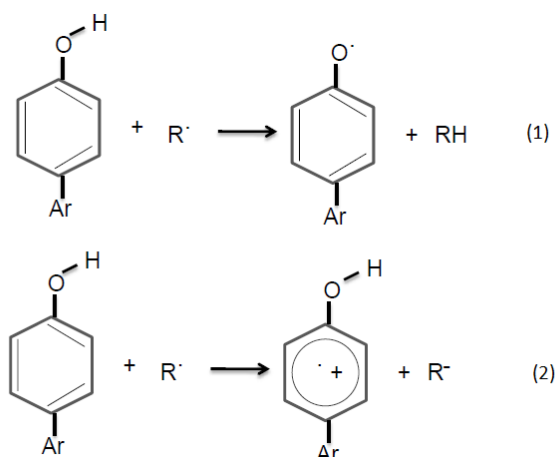
Fenolna jedinjenja se često nalaze u formi glikozida, gde su povezani sa jednim ili više molekula glukoze. Osim sa glukozom, mogu se vezati i sa karboksilnim kiselinama, organskim kiselinama, aminima, lipidima i drugim fenolnim jedinjenjima (Barba et al., 2014). Postoji više podela fenolnih jedinjenja, jedna od njih je prikazana na Slici 1.8., a zasniva se na broju fenolnih prstenova i struktura koje ih povezuju. Prema navedenoj podeli svi polifenoli su podeljeni u pet grupa: fenolne kiseline, flavonoidi, stilbeni, lignani i ostali (Galanakis, 2018).



Slika 1. 8. Šematski prikaz klasifikacije polifenola na osnovu broja fenolnih prstenova. Modifikovano na osnovu Ferrazzano et al. (2011) i Han et al. (2007) uz licencu za korišćenje CC BY 3.0 licence, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Povrće predstavlja značajan izvor fenolnih jedinjenja, pri čemu je paprika bogat izvor fenolnih kiselina i flavonoida. Od fenolnih kiselina u plodovima paprike zastupljene su hlorogena, galna, kofeinska i ferulinska kiselina, dok su od flavonoida zastupljeni flavonoli (kempferol, miricetin, kvercetin) i flavoni (luteolin i apigenin) (Hallmann et al., 2019). Plodovi paprike predstavljaju relativno bogat izvor lignana (zelena slatka paprika: 172 mg/100 g; crvena slatka paprika: 113 mg/100 g) (Milder et al., 2022). Flavonoidi su najveća i najviše izučavana grupa fenolnih jedinjenja (flavonoli, flavanoli, flavoni, izoflavoni, antocijanidini ili antocijani i flavanoni). Izgrađeni su od dva aromatična prstena, A i B, povezani preko oksidovanog heterocikličnog C prstena (Galanakis, 2018; Miller et al., 2014). U prirodi se nalaze u formi glikozida, ali i kao aglikoni. Poseduju značajna antikancerogena i antioksidativna svojstva, zahvaljujući brojnim hidroksilnim grupama i dvostrukim vezama u poziciji C₂-C₃. Kod plodova paprike sadržaj ovih jedinjenja zavisi od sorte, uslova gajenja i stepena zrelosti, pri čemu su crveni plodovi najbogatiji ovim jedinjenjima. Od svih flavonoida prisutnih u plodovima paprike, miricetin poseduje najveću antioksidativnu aktivnost. (Jayaprakasha et al., 2012). Fenolne kiseline su fenola jedinjenja izgrađena od benzenovog prstena, karboksilne grupe i jedne ili više hidroksi i/ili metoksi grupa. U biljkama su zastupljene kao aglikoni, estri, glikozidi i vezane u obliku kompleksa (Baiano & Del Nobile, 2016; Galanakis, 2018).

Fenolna jedinjenja imaju višestruki značaj za biljke: zaštita od UV zračenja, zaštita od patogena, uloga signalnih molekula³, značaj u rastu i razvoju, doprinose pigmentaciji (žuti, crveni, plavi i ljubičasti pigmenti) i ukusu (prepoznatljivi po gorčini i astrigenciji), a poseduju i značajan antioksidativni kapacitet (Barba et al., 2014; Galanakis, 2018). Antioksidativna svojstva fenolnih jedinjenja proističu iz njihovih hemijskih svojstava. Ova jedinjenja imaju redukcionu sposobnost, zahvaljujući kojoj su podložna oksidaciji, a poseduju i svojstvo vezivanja koordinativnim mehanizmom zahvaljujući kojem mogu da heliraju metale, vezuju se za proteine uključujući i enzime, transportne proteine i receptore. Zahvaljujući navedenim svojstvima mogu direktno da reaguju i na taj način uklanjaju slobodne radikale, heliraju jone metala uključene u formiranje slobodnih radikala, inhibiraju enzime uključene u stvaranje slobodnih radikala i obnavljaju antioksidante vezane za membranu, na primer α -tokoferol. Fenolna jedinjenja uklanjaju reaktivne forme kiseonika tako što im predaju ili jon vodonika ili elektron, kao što je prikazano na Slici 1.9. U slučaju doniranja vodonika (1) nastaje stabilan fenoksil radikal ArO^\bullet , dok u slučaju doniranja elektrona (2) nastaje stabilni radikalski katjon $\text{ArOH}^{+\bullet}$ (Galanakis, 2018).

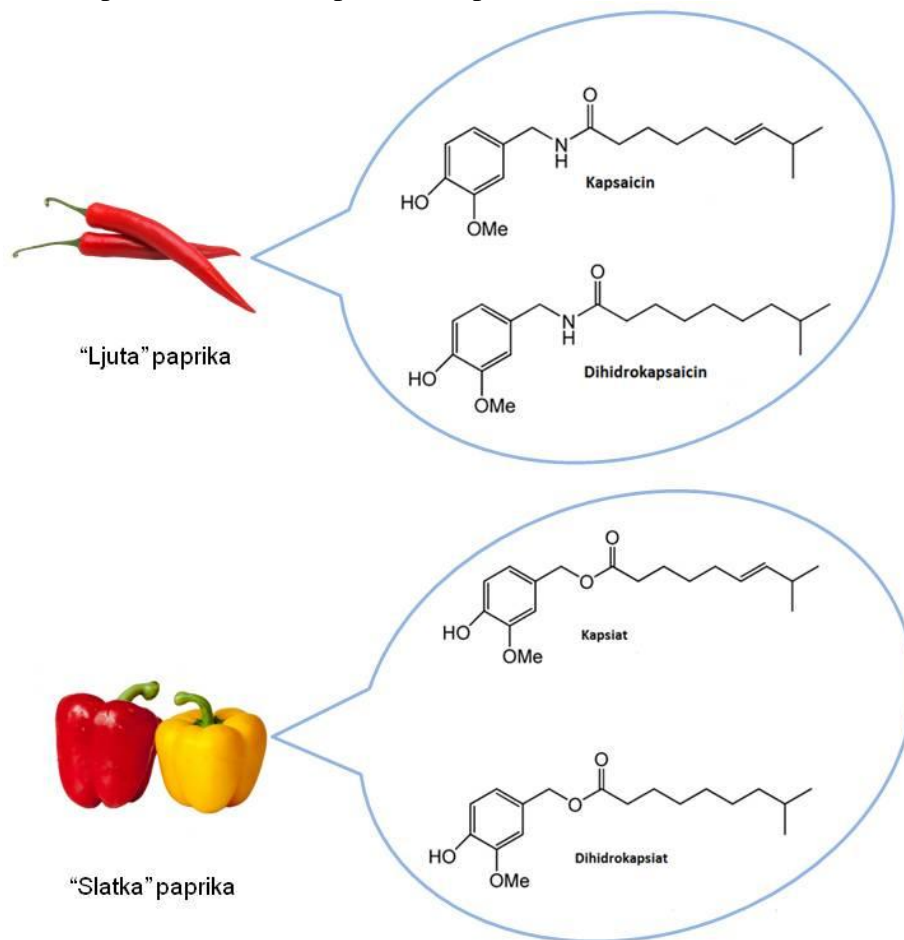


Slika 1. 9. Mehanizam uklanjanja slobodnih radikala u reakciji sa fenolnim jedinjenjima: (1) doniranje vodonikovog atoma; (2) doniranje elektrona (Galanakis, 2018), slike preuzete uz dozvolu od izdavača Elsevier

³ Omogućavaju komunikaciju između biljaka i drugih organizama, kako iznad tako i ispod zemlje.

1.1.2.6. Kapsaicinoidi i kapsinoidi

U plodovima paprike zastupljene su fitohemikalije specifične za rod *Capsicum* - kapsaicinoidi kod „ljutih“ i kapsinoidi kod „slatkih“ plodova (Slika 1.10.). Kapsaicinoidi su fenolni alkaloidi i do danas je identifikovano oko 20 različitih jedinjenja. Od ukupnog sadržaja kapsaicinoida, u najvećoj količini (oko 80%) su prisutna dva jedinjenja kapsaicin [(*E*)-*N*-(4-hidroksi-3-metoksibenzil)-8-metil-6-nonenamide] i njegov analog dihidrokapsaicin. Pored ova dva oblika, u ljutim papričicama su u znatno manjoj meri zastupljeni i drugi kapsaicinoidi, kao što su nordihidroksaicin, homodihidroksaicin, homokapsaicin, nonivamid. Kapsinoidi su estarski analozi kapsaicinoida, a najznačajniji su kapsiat, dihidrokapsiat i nordihidroksiat (Jayaprakasha et al., 2012; Rosa et al., 2002; Xavier & Pérez-Gálvez, 2016). Na slici 1.10. prikazane su strukturne formule kapsaicin-a, dihidrokapsaicin-a, kapsiat-a i dihidrokapsiat-a, respektivno.



Slika 1. 10. Strukturne formule najzastupljenijih kapsaicinoida i odgovarajućih kapsinoida.

Modifikovano uz dozvolu od Jayaprakasha, G.K., Bae, H., Crosby, K., Jifon, J.L., Patil, B.S. (2012), Bioactive compounds in peppers and their antioxidant potential. Copyright 2012 American Chemical Society. Slike plodova paprike uz dozvolu preuzete sa <https://pixabay.com> (Joe, 2017; Köhler, 2014)

Kapsaicinoidi poseduju brojne biološke aktivnosti, od kojih su najznačajnija antioksidativna, antimikrobna i anti-inflamatorna aktivnost (Slika 1.11.). Takođe, postoji veći broj studija koji ukazuje da ova jedinjenja ispoljavaju i antikancerogena svojstva, kao i da imaju uticaj na regulaciju telesne težine, tj. njihov unos može doprineti procesu mršavljenja. Kapsaicinoidi se tradicionalno koriste kao sastojak različitih krema za ublažavanje bola, kod reumatoidnog artritisa (Hernández-Pérez et al., 2020; Whiting et al., 2012). Sa druge strane, postoji znatno manji broj informacija i istraživanja o svojstvima kapsinoida. Istraživanja koja su dostupna, ukazuju da i ova jedinjenja

ispoljavaju antioksidativna svojstva, kao i da doprinose regulaciji telesne mase (Rosa et al., 2002; Whiting et al., 2012). Zahvaljujući svojstvu da su donori vodonika i da grade komplekse sa metalima i sprečavaju njihovu redukciju (na primer redukciju Cu(II) u Cu (I)), kapsaicinoidi mogu zaustaviti lipidnu peroksidaciju katalizovanu gvožđem i oksidaciju lipoproteina niske gustine izazvanu bakrom (Pérez-González et al., 2020; Rosa et al., 2002). Kapsaicin takođe može sprečiti oksidaciju oleinske kiseline na temperaturama kuvanja i formiranje lipidnih hidroperoksida koji nastaju autooksidacijom linoleinske kiseline. Kapsinoidi, pre svega kapsiat i dihidrokapsiat, takođe poseduju značajnu antioksidativnu aktivnost koja je uporediva sa antioksidativnom aktivnošću kapsaicinoida. Uпотреba kapsaicinoida u ishrani je ograničena zbog njihovog „palećeg ukusa“ (Rosa et al., 2002).



Slika 1. 11. Korisna svojstva kapsaicinoida po ljudsko zdravlje

Sadržaj ovih jedinjenja u paprici zavisi od genotipa, faze zrenja ploda, uslova gajenja i drugih faktora (Palma et al., 2015). Kod nezrelih plodova prisutne se niske koncentracije kapsaicinoida, koje se povećavaju sa sazrevanjem ploda. Najveće koncentracije su prisutne kada dolazi do promene boje u crvenu, nakon čega sadržaj opada usled fotooksidativnih reakcija ili aktivnosti enzima peroksidaza (Díaz et al., 2004; Gnaifed et al., 2001). Zabeležene koncentracije ukupnih kapsaicinoida kod ljutih paprika su od 0,071 – 0,880 mg/g suve materije, a kapsinoida kod slatkih paprika od 1-12 mg/100 g svežeg ploda (Jayaprakasha et al., 2012; Materska & Perucka, 2005). Postoji malo podataka o uticaju različitih stresnih faktora tokom rasta paprike na sadržaj kapsaicinoida u plodovima paprike. Generalno u stresnim uslovima rasta nastaje više kapsaicina nego u odnosu na pogodne uslove (odgovarajuće navodnjavanje i đubrenje) (Medina-Lara et al., 2008).

1.2. PRERADA PLODOVA PAPRIKE

Mada se značajne količine plodova paprike konzumiraju u svežem stanju, najveće količine se ipak konzerviraju zbog nemogućnosti očuvanja svežine duži vremenski period. U cilju produženja roka trajanja plodova koriste se metode dehidracije (različite tehnike sušenja), smrzavanja i tople prerade (pasterizacija i sterilizacija) (Cárcel et al., 2018; J. Wang et al., 2017). Prerađeni proizvodi paprike se koriste sa ili bez semenki, celi, sečeni, grubo mleveni, fino mleveni i kao kaša. Proizvodi i poluproizvodi od plodova paprike mogu da se koriste kao salate, ali dosta često i kao dodaci raznim vrstama jela u cilju poboljšanja ukusa, boje, teksture i nutritivnog kvaliteta pripremljene hrane (Berke & Shieh, 2012; Bosland & Voltava, 2012).

1.2.1. Sušenje paprike

Velike količine plodova paprike se konzerviraju postupcima dehidracije, koji za cilj imaju smanjenje sadržaja vode u tolikoj meri da se mikrobiološka aktivnost svede na minimum. Sušenje se može vršiti na više načina: sušenje na suncu, sušenje u posebno konstruisanim solarnim sušarama, sušenje u tunelskim sušarama strujanjem toplog vazduha, sušenje postupkom liofilizacije, mikrotalasno sušenje, hibridno sušenje koje podrazumeva kombinaciju konvektivnog, mikrotalasnog i infracrvenog sušenja (Łechtańska et al., 2015; Mehta et al., 2017; Sanatombi & Rajkumari, 2019; Topuz et al., 2009). Najstariji način sušenja voća i povrća je sušenje na suncu. Ova tehnika nosi najveći rizik od mikrobiološke kontaminacije usled izloženosti spoljnoj sredini, a mane su i što proces sušenja dugo traje, dobija se neujednačen kvalitet proizvoda, gde je prosečan sadržaj vlage u finalnom proizvodu oko 15%, što je znatno više u odnosu na druge tehnike sušenja (Soysal et al., 2009; Topuz et al., 2009). Najveće količine sušenog voća i povrća danas se dobijaju postupkom sušenja koji podrazumeva primenu struje toplog vazduha, tzv. konvektivno sušenje. Veoma često tokom sušenja ovom tehnikom dolazi do degradacije bioaktivnih komponenti, tamnjenja proizvoda, promene ukusa, prevelikog skupljanja proizvoda što smanjuje sveukupni kvalitet sušenog proizvoda (nepoželjna boja, ukus, smanjena sposobnost rehidracije) (Łechtańska et al., 2015; Voda et al., 2012). U cilju smanjenja vremena sušenja, a samim tim i strukturnih, teksturnih, hemijskih i organoleptičkih promena primenjuju se i druge vrste sušenja koje podrazumevaju primenu mikrotalasnog i infracrvenog zračenja. Ove tehnike mogu da se koriste kao pojedinačne ili u kombinaciji sa konvektivnim sušenjem. Odgovarajućom kombinacijom većeg broja tehnika sušenja, moguće je znatno skratiti vreme sušenja i dobiti proizvod dobrog kvaliteta (Karatas et al., 2017; Łechtańska et al., 2015). Liofilizacija predstavlja najbolju tehniku sušenja voća i povrća u pogledu očuvanja kvaliteta. Zahvaljujući sušenju na niskim temperaturama, niskom pritisku i odsustvu vazduha tokom sušenja obezbeđuje se dobro očuvanje nutritivne vrednosti, boje, teksture i bioaktivnih jedinjenja. Ova tehnika je najbolja tehnika sušenja sa aspekta očuvanja antioksidativnog kapaciteta i boje mlevene začinske paprike. Nedostaci liofilizacije su što je proces skup, dugo traje i proizvod se mora prethodno zamrznuti što takođe povećava troškove (Krzykowski et al., 2018; Rybak, Wiktor, et al., 2021; Voda et al., 2012).

Sušenjem plodova paprike dobijaju se proizvodi koji mogu biti sušena cela paprika, sušene ljuspice ili mlevena začinska paprika (Cárcel et al., 2018). Ovi proizvodi se koriste za industrijsku proizvodnju začinskih mešavina, preliva za salate, instant supa, smrznute pice, ili kao dodaci u pripremi brojnih jela u cilju poboljšanja ukusa, boje, teksture i nutritivnog kvaliteta hrane (Darvishi et al., 2014).

1.2.2. Predtretmani

Pre samog procesa sušenja (voća i povrća) veoma često se primenjuju fizički i hemijski predtretmani, kao i njihove kombinacije. Cilj predtretmana je postizanje boljeg kvaliteta proizvoda i skraćivanje vremena sušenja, a samim tim smanjenje troškova proizvodnje. Fizički predtretmani se mogu podeliti na termičke (blanširanje u vodi, blanširanje vodenom parom, blanširanje pregrejanom

parom visoke vlažnosti (eng. high humidity hot air impingement blanching – HHAIB), omsko grejanje, mikrotalasni predtretman) i ne-termičke (ultrazvučni predtretman, predtretman pulsним električnim poljem, predtretman visokim hidrostatičkim pritiskom). Kod hemijskih predtretmana plodovi se potapaju u odgovarajuće rastvore pre predtretmana (alkalne, kisele, sulfite, hiperosmotske) ili se tretiraju odgovarajućim gasovima (sumpor-dioksid, ozon, ugljen-dioksid) (Deng et al., 2017; Voda et al., 2012; J. Wang et al., 2017).

1.2.2.1. Fizički predtretmani

Kao što je već pomenuto fizički predtretmani se mogu podeliti na termičke i ne-termičke. Predtretman koji je najstariji i danas se najviše primenjuje je postupak blanširanja u vrućoj vodi. Podrazumeva potapanje plodova (celih ili isečenih komada) u vodu temperature 70-100 °C tokom par minuta. Ovim predtretmanom se postiže inaktivacija prisutnih mikroorganizama, inaktivacija enzima i istiskivanje međućelijskog vazduha. Blanširanje takođe omogućava brže sušenje plodova, pošto ovaj proces uklanja sloj površinskog voska, stvara mikropukotine i utiče na povećanje propustljivosti ćelija. Najveća mana ovog postupka je gubitak vitamina, minerala, organskih kiselina i drugih nutritivnih komponenti, usled njihovog izluživanja u vodu i/ili degradacije na povišenim temperaturama. Znatno manji gubici se postižu tokom blanširanja vodenom parom, posebno kada su u pitanju sečeni komadići (Deng et al., 2017; Fellows & Fellows, 2017). Blanširanje u vrućoj vodi takođe vodi ka stvaranju velike količine otpadne vode, koju je potrebno menjati posle određenog perioda. U cilju prevazilaženja nedostataka klasičnog postupka blanširanja razvijeni su novi predtretmani: mikrotalasno blanširanje, blanširanje pregrejanom parom visoke vlažnosti, infracrveno blanširanje. Ovi predtretmani su se pokazali boljim od klasičnog blanširanja u pogledu očuvanja antioksidativne aktivnosti, askorbinske kiseline i crvene boje kod crvene paprike tipa babura (Oliveira et al., 2015; J. Wang et al., 2017). Kao alternativa klasičnom postupku blanširanja, vrše se sve češća ispitivanja primene ultrazvučnog predtretmana. Kod ove vrste predtretmana utvrđeno je da utiču na skraćivanje vremena sušenja proizvoda i da doprinose poboljšanju sposobnosti rehidracije. Sa druge strane, podaci o uticaju ultrazvučnog predtretmana na hemijski sastav postoje, ali su dosta oskudniji i razlikuju se za razvličite vrste voća i povrća (Deng et al., 2017; Jambrak et al., 2007; Rybak, Wiktor, et al., 2021).

1.2.2.1.1. Ultrazvučni predtretman

Ultrazvuk se može primeniti u cilju poboljšanja procesa sušenja i kvaliteta osušenih proizvoda, pri čemu se koristi kao predtretman ili u toku samog procesa sušenja. Ultrazvučni talasi imaju frekvenciju od 20 kHz do 10 MHz, što je iznad frekvencije zvuka koji čuje čovek, a ispod frekvencije mikrotalasa (Picó, 2013; Su et al., 2020). U prehrambenoj industriji ultrazvuk ima brojne primene, a na osnovu frekvencije odnosno intenziteta postoje dve grupe: (1) talasi visoke frekvencije/niskog intenziteta koji se uglavnom primenjuju za nedestruktivne analize (analiza strukture, dimenzija, oblika) i (2) talasi niske frekvencije/visokog intenziteta koji imaju znatno širu primenu i koriste se u procesima industrijske prerade s obzirom na to da uzrokuju fizičke i hemijske promene (Bhargava et al., 2021). Prilikom kontakta ultrazvučnog talasa sa tečnim medijumom dolazi do formiranja longitudinalnih (kreću se u smeru pomeranja), smicajućih (okomiti na prvobitne talase) i Rejljevih talasa (javljaju se blizu površine tečnosti). Tokom prostiranja ovih talasa nastaje veći broj sitnih mehurića, koji postepeno rastu i u nekom trenutku naglo implodiraju usled nemogućnosti daljeg apsorbovanja energije. Nakon implozije mehurića dolazi do naglih, lokalizovanih povećanja temperature i pritiska. Ukoliko do implozije dođe u tečnom medijumu, a u blizini čvrstog komadića hrane, ovaj proces vodi do oštećenja površine čvrstog dela. Sa druge strane u samom mehuriću može doći do formiranja mikro-mlaza, koji nakon pucanja mehurića, izlazi iz njega, prelazi u čvrsti komadić i menja njegovu strukturu (Montalvo-González et al., 2018; Rodriguez et al., 2017). Zahvaljujući ovim fenomenima ultrazvuk ima brojne potencijalne primene u oblasti prehrambene tehnologije: primena u procesima konzervisanja hrane, poboljšanje procesa

kuvanja, smrzavanja, sušenja, fermentacije hrane, filtracije, degaziranja, uklanjanja pene, emulzifikacije i brojne druge. Kada je u pitanju konzervisanje hrane, ultrazvuk ima potencijal za primenu u kombinaciji sa drugim postupcima konzervisanja. Glavni cilj ovih kombinovanih postupaka konzervisanja je da se bar delimično smanji štetan efekat termičkih procesa, a samim tim i destrukcija biološki važnih jedinjenja (Chemat et al., 2011; Guil-Guerrero et al., 2006).

U cilju poboljšanja procesa sušenja ultrazvuk se može primeni kao predtretman u tečnom medijumu (čvrsto-tečno) pre procesa sušenja ili u toku samog procesa sušenja (čvrsto-gas). Kada se primenjuje kao predtretman ultrazvuk utiče na promenu mikro-strukture i teksture ploda, što omogućava lakše sušenje. Skraćuje se vreme sušenja i postiže bolji kvalitet ploda. Sama primena ultrazvuka kao predtretmana ne vodi ka velikom zagrevanju ploda što doprinosi manjem stepenu degradacije biološki važnih komponenti. Sa druge strane može doći do većih gubitaka ovih jedinjenja usled njihovog prelaska u rastvor (Deng et al., 2017; Oliveira et al., 2015). Tokom konvektivnog sušenja potpomognutog ultrazvukom, ultrazvučni talasi uzrokuju samo mehaničke promene. Pod dejstvom talasa javlja se tzv. „efekat sunđera“, odnosno naizmenično skupljanje i širenje čvrstog materijala. Na ovaj način nastaju mikroskopske pukotine koje doprinose lakšem uklanjanju vode (Rodriguez et al., 2017). Glavna prednost primene ultrazvuka pre ili tokom procesa sušenja ogleda se u skraćivanju vremena sušenja i manjim troškovima proizvodnje sušenog voća i povrća. Osim ovih prednosti, literaturni podaci ukazuju da primena ultrazvučnog predtretmana doprinosi većem stepenu rehidracije osušenih proizvoda i boljem očuvanju boje u odnosu na netretirane (Deng et al., 2017; Jambrak et al., 2007). Primena ultrazvuka kao predtretmana doprinosi promeni hemijskog sastava tretiranih komadića, što se uglavnom ogleda u vidu gubitka brojnih jedinjenja. Sa druge strane ovi gubici mogu biti manji u odnosu na gubitke do kojih dolazi tokom klasičnog blanširanja u vodi (Deng et al., 2017; Oliveira et al., 2015). U istraživanju Rybak i saradnika (2021) ustanovljeno je da ultrazvučni predtretman doprinosi boljem očuvanju vitamina C, ukupnih polifenola i karotenoida kod sušene paprike u odnosu na postupak blanširanja. Ipak postupak blanširanja je više doprineo smanjenju vremena sušenja u odnosu na ultrazvučni predtretman (Rybak, Wiktor, et al., 2021).

1.2.2.2. Hemijski predtretmani

Hemijski tretmani se često koriste za poboljšanje kvaliteta sušenog voća i povrća. U ove svrhe se koriste alkalni, kiseli, hiperosmotski i sulfidni rastvori. Predtretmani sa razblaženim rastvorima kiselina doprinose poboljšanju kvaliteta sušenih proizvoda, kroz inaktivaciju enzima, stabilizaciju boje i poboljšanje teksture sušenih proizvoda. Najčešće se koriste rastvori limunske i askorbinske kiseline. Alkalni predtretmani se najčešće upotrebljavaju pre sušenja bobičastog voća u cilju uklanjanja sloja voska i postizanja bržeg sušenja. Od alkalnih rastvora upotrebljavaju se rastvori natrijum-hidroksida, kalijum-karbonata, potom alkalne emulzije etil i metil estara. Sulfidni predtretmani pozitivno deluju na boju (sprečavaju ne-enzimatsko i enzimatsko tamnjenje), sprečavaju mikrobiološko kvarenje i doprinose boljem očuvanju određenih nutrijenata. Glavni nedostatak sulfidnih predtretmana ogleda se u nepoželjnom ukusu i mekoj teksturi sušenih proizvoda. Nedostatak svih hemijskih predtretmana se ogleda u tome da tokom ovih predtretmana dolazi do gubitka nutrijenata, pa čak i do degradacije određenih jedinjenja (kiseli predtretman negativno deluje na hlorofile i karotenoide, alkalni predtretman negativno deluje na vitamin C) (Deng et al., 2017; Oliveira et al., 2015).

2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj ovoga istraživanja je bio da se primenom eksperimentalnog dizajna odredi najpogodnija kombinacije predtretmana i postupka dehidracije plodova konzumne i začinske paprike za postizanje najvećeg stepena očuvanja kvaliteta proizvoda (sadržaj vitamina, antioksidativni potencijal, nutritivna vrednost i tehnološki parametri kvaliteta). Za definisanje i organizaciju eksperimenata primenjen je hemometrijski pristup planiranja i izvođenje eksperimenata primenom eksperimentalnog dizajna (Box-Behnken i frakcioni faktorijski dizajn). Primena eksperimentalnog dizajna omogućava određivanje uticaja pojedinačnih faktora i njihovih interakcija na ispitivane parametre kvaliteta. Ostali ciljevi istraživanja bili su:

- Određivanje nutritivnih (mineralni sastav, ukupni polifenoli, sadržaj vitamina C) i antioksidativnih svojstava svežih plodova konzumne i začinske paprike.
- Analiza nutritivnih i antioksidativnih svojstava plodova konzumne i začinske paprike dobijenih primenom različitih predtretmana: toplotnog predtretmana (blanširanje) i ultrazvučnog predtretmana, vodom, razblaženim rastvorima soli i slabih organskih kiselina.
- Analiza nutritivnih (mineralni sastav, ukupni polifenoli, ukupni karotenoidi, sadržaj vitamina C), antioksidativnih i tehnoloških (boja, ne-enzimatski indeks tamnjenja, tekstura, morfološka struktura) svojstava plodova konzumne i začinske paprike dobijenih primenom dva različita načina sušenja: tradicionalno sušenje (konvektivno sušenje) i liofilizacija (sušenje sublimacijom u zamrznutom stanju). Određivanje uticaja svakog postupka dehidracije i primenjenog predtretmana ponaosob, ali i njihove kombinacije na nutritivna i antioksidativna svojstva tretiranih uzoraka paprike.
- Utvrđivanje uticaja različitih faktora (odnos čvrsto-tečno tokom predtretmana, temperatura predtretmana, vreme predtretmana, vrsta primenjenog aditiva, pH vrednost rastvora za predtretman, primena ultrazvuka tokom predtretmana, veličina komadića paprike i metod sušenja paprike) i njihovih interakcija na nutritivna, antioksidativna i tehnološka svojstva sušene konzumne i začinske paprike. Primena ultrazvuka kao predtretmana je interesantna, posebno njegov uticaj u interakciji sa drugim faktorima. Najveći broj istraživanja sa ultrazvukom kod sušenja voća i povrća se odnosi na ispitivanje kinetike sušenja i svojstva rehidracije osušenih proizvoda. Istraživanja sveukupnog kvaliteta sušenih proizvoda nakon primene ultrazvučnog predtretmana, kao i istraživanja interakcija između različitih faktora su oskudna.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Sirovine

Za ispitivanja su formirane četiri grupe uzoraka.

Prva grupa se sastojala od 28 uzoraka paprike, koji su analizirani u cilju određivanja (1) elementarnog sastava komercijalno dostupnih paprika, (2) utvrđivanja njihovog doprinosa dietetskom unosu elemenata, kao i (3) proceni zdravstvenog rizika koji potiče od toksičnih elemenata prisutnih u plodovima različitih tipova paprike. Plodovi su kupljeni u nekoliko marketa u Srbiji u februaru 2021. godine. Za analizu su odabrane sveže paprike (n=9), kisele paprike u tegli (n=7), paprike u kiseloj pavlaci (n=4), mlevene začinske paprike (n=6), sušena cela paprika (n=1) i paprika iz proizvoda punjena paprika (n=1). Pre analize sveže paprike su oprane, osušene papirnim ubrusom, isečene i samlevene u blenderu; kisele paprike su ocedene i samlevene; paprike u pavlaci su očišćenje od pavlake papirnim ubrusom i samlevene; sušena cela paprika je samlevena, dok je kod proizvoda punjena paprika, za analizu upotrebljena samo paprika.

Drugu grupu uzoraka činili su plodovi konzumnih sorti *Capsicum annuum* L.: *Kurtovska kapija*, *Slonovo uvo*, *Kalifornijska* i *Dukat*. Kod ovih sorti analiziran je sadržaj vitamina C u različitim stepenima zrelosti ploda.

Treću grupu uzoraka činili su plodovi *Capsicum annuum* L. kultivar *Kurtovska kapija*. Plodovi su analizirani u cilju ispitivanja uticaja različitih predtretmana i stepena zrelosti plodova na gubitak minerala. Plodovi su nabavljeni od lokalnog farmera iz Srbije u jesen 2020. godine. Tri stepena zrelosti su obuhvatala: zrele zelene plodove (površina ploda u potpunosti zelena), poluzrele plodove (40-60% površine ploda crveno) i zreli crveni plodovi (površina ploda u potpunosti crvena). Ovi plodovi su oprani vodom, osušeni papirnim ubrusom, isečeni, očišćeni od semenki i placente, a potom zamrznuti do dalje analize.

Četvrtu grupu uzoraka se sastojala od dve sorte paprike: začinska paprika “*Horgoška slatka HS6*” nabavljena od lokalnog farmera u Bačkom Petrovcu u oktobru 2019. godine i konzumna paprika *Kurtovska kapija* kupljena u lokalnoj prodavnici u oktobru 2020. godine. Ove dve sorte paprike su iskorišćene za ispitivanje uticaja toplotnog i ultrazvučnog predtretmana na kvalitet sušene začinske odnosno konzumne paprike.

3.1.2. Karakteristike plodova sorti koje su upotrebljene za analizu

Kurtovska kapija je sorta koja ima izdužene, slatke crvene plodove koji se koriste u ishrani kao sveži, ali i u industrijskoj preradi. Plodovi su dugački oko 12-14 cm, široki oko 5,0-5,5 cm, debljina perikarpa je oko 5 mm, dok se težina ploda kreće od 60-75 g (Gjeorgjievski et al., 1997).

Slonovo uvo je sorta koja ima izdužene, crvene, slatke plodove dužina oko 10-14 cm, prečnika 4 - 6 cm i debljina perikarpa 5,0 -5,5 mm (Grozeva & Tringovska, 2020; Soare et al., 2017; Todorova & Djinovic, 2017).

Kalifornijska je sorta koja ima crvene slatke plodove. Plodovi su krupni 80-250 g.

Dukat je sorta koja u tehnološkoj zrelosti ima svetlo zelene plodove, a u biološkoj zrelosti boja prelaze u tamno crvenu. Plodovi su krupni, sa debelim perikarpom, težina se kreće oko 180-250 g.

Horgoška slatka HS6 je jedna od industrijskih sorti paprike proizvedena od strane kompanije “Vitamin” iz Horgoša. Plodovi sadrže visok procenat bojenih materija (intenzivna crvena boja), kao i visok sadržaj suve materije, što ove plodove čini pogodnim za proizvodnju slatke mlevene začinske paprike. Prosečna dužina plodova je od 9 do 12 cm, a težina ploda oko 20-23 g. U tehnološkoj zrelosti plodovi imaju intenzivnu crvenu boju (Ignjatov, 2013; Marković M., 2005).

3.1.3. Hemikalije

Reagensi:

- Limunska kiselina monohidrat: Alkaloid Skoplje, Republika Severna Makedonija;
- Kalijum-metabisulfit; Centrohem, Beograd, Srbija;
- Hlorovodonična kiselina (HCl): Macron Fine Chemicals, Ujedinjeno Kraljevstvo;
- Natrijum-hidroksid (p.a. >98%): Centrohem, Beograd, Srbija;
- Azotna kiselina (65% m/m): Sigma Aldrich, SAD;
- Vodoni-peroksid (30% m/m): Sigma Aldrich, SAD;
- TPTZ (2, 4, 6-tripiridyl-s-triazine): Acros Organics, SAD;
- DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl): Sigma Aldrich, Nemačka;
- Folin-Ciocalteu's reagens: Carlo Erba Reagents S.A.S., Francuska;
- Metanol, HPLC stepena čistoće: J.T. Baker, Fisher Scientific, Ujedinjeno Kraljevstvo;
- Aceton, HPLC stepena čistoće: J.T. Baker, Fisher Scientific, Ujedinjeno Kraljevstvo;
- Gvožđe (III)-hlorid heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): Merck, Nemačka;
- Natrijum-karbonat, anhidrovani (p.a.>99%): Centrohem, Beograd, Srbija;
- Natrijum-acetat trihidrat (p.a.>99): Lobachemie, India;
- Metafosforna kiselina: Acros Organics, Fisher Scientific, SAD;
- Sirćetna kiselina, glacijalna: J.T. Baker, Fisher Scientific, Ujedinjeno Kraljevstvo;
- Natrijum-dihidrogen-etilen-diamin-tetraacetat dihidrat ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Carlo Erba Reagents S.A.S., Francuska.
- Tioglikolna kiselina, 99%, Merck, Nemačka.
- Ditiotreitola (DTT), Sigma Aldrich, Nemačka.

Standardi:

- Standard za K, Ca, Mg i Na (PE-CAL4-ASL-1), AccuStandard, New Haven, SAD;
- Multi-element ICP standard rastvor XXI za MS (MES-21-5): AccuStandard, New Haven, SAD;
- ICP standard za P (ICP-41W-1): AccuStandard, New Haven, SAD;
- Hg ICP standard dopuna za multi-element standard XXI za MS (MS MES-21-HG-1).
- Trolox (6-hidroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid): Acros Organics, New Jersey, SAD;
- Galna kiselina: Carlo Erba Reagents S.A.S., Francuska;
- L-askorbinska kiselina; Acros Organics, Fisher Scientific, SAD.
- L-dehidroaskorbinska kiselina; Acros Organics, Fisher Scientific, SAD.
- L-dehidroaskorbinska kiselina, 96%, Acros Organics, Ujedinjeno Kraljevstvo.

Podloge:

- PBS rastvor (eng. phosphate buffered saline), pH=7,4: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- Pufersana peptonska voda (ISO) (dehidrisana): TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- PCA agar (eng. plate count agar): TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- DRBC agar - dihloran rozen bengal hloramfenikol agar: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- MYP agar (eng. mannitol egg yolk polymyxin agar): TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.

- VRBL agar – ljubičasto neutralno crveni žični agar (eng. violet red bile lactose agar): TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- TBX agar – tripton žuč glukuronid podloga: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- Gvožđe sulfitni agar: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- Frasher bujon: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- Listeria selektivni Oxford agar: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- PALCAM agar: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.
- RVS bujon - Rappaport-Vessiliadis bujon sa sojom: TermoFisher Scientific, Oxoid Ltd., Basinstoke, Ujedinjeno Kraljevstvo.

3.2. PREDTRETMANI I SUŠENJE PLODOVA KONZUMNE I ZAČINSKE PAPRIKE

3.2.1. Eksperimentalni dizajn

Eksperimentalni dizajn je statistički i matematički pristup koji se koristi za razvoj novih i unapređenje postojećih metoda hemijske analize, kao i za unapređenje različitih procesa, odnosno dobijanje kvalitetnijeg proizvoda, skraćivanje vremena ili troškova proizvodnje. Eksperimentalni dizajn podrazumeva set eksperimenata zasnovanih na matrici sa minimum dva faktora koji imaju minimum dva nivoa. Primenom eksperimentalnog dizajna ispituje se istovremeno uticaj pojedinačnih faktora, kao i njihovih međusobnih interakcija na odgovor sistema. Faktori čiji uticaj se ispituje su na primer: pH vrednost, temperatura, količina čvrste faze itd. (Cash et al., 2016; Ferreira et al., 2007; Sethuramiah & Kumar, 2016; Sredović Ignjatović et al., 2015).

3.2.1.1. Eksperimentalni dizajn za konzumnu papriku

Box-Behnken eksperimentalni dizajn (BBD) je postavljen da bi se ispitao uticaj predtretmana i stepena zrelosti ploda na izluživanje makro, mikro i elemenata u tragovima. Cilj je bio da se utvrdi pod kojim uslovima dolazi do minimalnog izluživanja esencijalnih elemenata i maksimalnog izluživanja toksičnih elemenata. Za analizu su odabrani plodovi kultivara *Kurtovska kapija* u tri stepena zrelosti: (1) zreli zeleni plodovi, (2) poluzreli plodovi i (3) zreli crveni plodovi. Ispitan je uticaj dejonizovane vode i razblaženog rastvora sirćetne kiseline na ekstrakciju elemenata. Faktori koji su ispitivani kod vodene ekstrakcije bili su: temperatura, vreme i odnos faza čvrsto-tečno, dok su kod ekstrakcije sa rastvorom sirćetne kiseline ispitivani: temperatura, vreme i koncentracija sirćetne kiseline. Faktori i nivoi faktora dati su u Tabeli 3.1. Kod vodene ekstrakcije za svaki stepen zrelosti postavljeno je i izvedeno 15 eksperimenata, dok je kod ekstrakcije sa sirćetnom kiselinom postavljeno i izvedeno 15 eksperimenata za crvene zrele plodove (Tabela 3.2.), s obzirom na to da se najčešće koriste za proizvodnju kisele paprike.

Tabela 3. 1. Eksperimentalni faktori i nivoi faktora za ekstrakciju vodom i ekstrakciju sirćetnom kiselinom

Vodena ekstrakcija i ekstrakcija sirćetnom kiselinom			
Faktor	Nivo		
	-1	0	1
Temperatura, T , °C	20	45	70
Vreme, t , min	10	20	30
Odnos čvrsto-tečno, m/V g:mL †	1:5	1:10	1:15
Koncentracija, m/m% ‡	1	3.5	6

† ekstrakcija vodom; ‡ ekstrakcija sirćetnom kiselinom

Ekstrakcija elemenata podpomognuta ultrazvukom izvedena je u ultrazvučnom kupatilu (Clifton, Series DU-14, North Somerset, SAD). U erlenmajer je odmereno od 5 do 10 g iseckane paprike i pomešano sa odgovarajućom zapreminom dejonizovane vode ili rastvora sirćetne kiseline, po eksperimentalnom dizajnu, prikazanom u Tabeli 3.2. Nakon toga, erlenmajer je postavljen u ultrazvučno kupatilo (30 – 40 kHz, konstantna snaga) i izvršena je ekstrakcija. Uzorci su centrifugirani, prikupljeni supernatanti razblaženi, i konzervisani sa 1 mL 65% HNO₃ do analize. Sve ekstrakcije i merenja su izvršena u tri ponavljanja, nakon čega su srednje vrednosti koncentracije elemenata uzete kao odgovor.

Metod odgovora površina (eng. response surface methodology – RSM) je korišćen za interpretaciju rezultata. Eksperimentalni podaci su predstavljeni korišćenjem polinomne jednačine drugog reda (1), koja uzima u obzir linearne, kvadratne odnose i odnose interakcije:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i \leq j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

y predstavlja odgovor; x_i i x_j su nezavisni faktori (i i j idu od 1 do k); β_0 je koeficijent modela; β_i , β_{ii} i β_{ij} su koeficijenti preseka linearnih, kvadratnih efekata i efekata interakcije; k je broj nezavisnih parametara (k=3 u ovom radu), i ε je greška modela (Prakash Maran et al., 2013).

Tabela 3. 2. Box-Behnken dizajn, realne vrednosti

Eksp. Br.	Vodena ekstrakcija			Ekstrakcija sirćetnom kiselinom		
	τ (min)	T (°C)	Odnos čvrsto-tečno, (g:mL)	w (%)	τ (min)	T (°C)
1	20	45	1:10	6,0	20	70
2	20	70	1:15	3,5	20	45
3	20	20	1:5	1,0	20	70
4	10	45	1:5	6,0	30	45
5	20	45	1:10	1,0	30	45
6	30	70	1:10	1,0	10	45
7	20	20	1:15	3,5	20	45
8	20	70	1:5	3,5	30	70
9	10	70	1:10	3,5	30	20
10	10	45	1:15	3,5	10	70
11	10	20	1:10	3,5	10	20
12	30	20	1:10	6,0	20	20
13	30	45	1:5	6,0	10	45
14	20	45	1:10	1,0	20	20
15	30	45	1:15	3,5	20	45

τ (min) – vreme ekstrakcije; T (°C) – temperatura ekstrakcije; w (%) – koncentracija sirćetne kiseline (v/v)

Frakcioni faktorijski dizajn (FFD) je postavljen u cilju ispitivanja uticaja ultrazvučnog (UZ) i toplotnog predtretmana na kvalitet sušene konzumne paprike. Za analizu su odabrani crveni zreli plodovi sorte *Kurtovska kapija*. Kod konzumne paprike ispitivan je uticaj osam faktora: metod sušenja, pH vrednost rastvora za predtretman, primenjeni aditiv, primena ultrazvuka, temperatura predtretmana, vreme predtretmana, odnos čvrste i tečne faze i veličina komadića paprike. Faktori i nivoi faktora dati su u Tabeli 3.3. Za šest faktora postavljena su tri nivoa (-1, 0, +1) dok su za dva faktora postavljena dva nivo: nizak (-1) i visok (+1). Četiri centralne tačke su ponovljene tri puta. Dizajn se sastoji od 44 kombinacija osam nezavisnih faktora (Tabela 3.4.).

Tabela 3. 3. Faktori i nivoi faktora kod frakcionog faktorijskog dizajna za konzumnu papriku

Br.	Faktor	Nivo -1	Nivo 0	Nivo +1
1	Metod sušenja	TS	-	LF
2	pH	3	6,5	10
3	Aditiv (0,25%)	LK	LK/ KMS	KMS
4	Ultrazvuk	Off	-	On
5	Temperatura predtretmana, T (°C)	20	50	80
6	Vreme predtretmana t (min)	1	3	5
7	Masa uzorka (g)	30	100	170
8	Veličina komada (cm × cm)	2×2	4×4	8×8

TS – sušenje u tunelskoj sušari; LF – liofilizacija; LK – limunska kiselina; LK/KMS – limunska kiselina/kalijum-metabisulfit; KMS – kalijum-metabisulfit

Tabela 3. 4. Eksperimentalni dizajn za konzumnju papriku, realne vrednosti

Red.Br.	Sušenje	pH	Aditiv	UZ	Temperatura (°C)	Vreme (min)	Masa (g)	Velicina komada (cm×cm)
1	TS	10	LK	OFF	20	1	170	8×8
2	LF	10	LK	ON	80	5	170	8×8
3	TS	10	LK	ON	20	1	30	2×2
4	LF	3	LK	ON	20	1	30	8×8
5	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
6	TS	3	LK	ON	80	5	170	2×2
7	LF	3	KMS	OFF	80	5	170	2×2
8	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4
9	TS	3	KMS	OFF	20	1	30	8×8
10	LF	3	LK	ON	80	1	30	2×2
11	LF	3	KMS	ON	20	5	30	2×2
12	TS	3	LK	ON	20	5	170	8×8
13	TS	3	KMS	ON	20	1	170	2×2
14	LF	10	LK	ON	20	5	170	2×2
15	TS	10	KMS	ON	80	5	30	2×2
16	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
17	LF	3	KMS	ON	80	5	30	8×8
18	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
19	TS	10	LK	OFF	80	1	170	2×2
20	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
21	TS	3	KMS	OFF	80	1	30	2×2
22	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4
23	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4
24	TS	3	KMS	ON	80	1	170	8×8
25	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
26	LF	10	KMS	ON	80	1	170	2×2
27	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4
28	TS	10	KMS	ON	20	5	30	8×8
29	TS	10	KMS	OFF	20	5	170	2×2
30	LF	10	KMS	OFF	80	1	30	8×8
31	LF	3	KMS	OFF	20	5	170	8×8
32	LF	3	LK	OFF	20	1	170	2×2
33	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100	4×4
34	TS	3	LK	OFF	80	5	30	8×8
35	LF	10	LK	OFF	80	5	30	2×2
36	TS	10	KMS	OFF	80	5	170	8×8
37	TS	10	LK	ON	80	1	30	8×8
38	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4
39	TS	3	LK	OFF	20	5	30	2×2
40	LF	10	KMS	ON	20	1	170	8×8
41	LF	10	KMS	OFF	20	1	30	2×2
42	LF	3	LK	OFF	80	1	170	8×8
43	LF	10	LK	OFF	20	5	30	8×8
44	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100	4×4

Zreli crveni plodovi su oprani, obrisani papirnim ubrusom, očišćeni od semenki i placentе, a potom isečeni na odgovarajuće dimenzije prateći eksperimentalni dizajn. Jedna polovina

eksperimenata je izvedna u ultrazvučnom kupatilu (Elmasonic S15H, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Nemačka) sa konstantnom snagom od 95 W i frekvencijom od 37 kHz. Druga polovina eksperimenata je izvedena u istom ultrazvučnom kupatilu bez primene ultrazvuka. Tokom predtretmana zapremina rastvora za predtretman uvek je bila 1 L, a varirana je masa ploda koja se tretira. Koncentracija limunske kiseline, odnosno kalijum-metabisulfita bila je 0,25%. Odgovarajuća pH vrednost rastvora je podešavana dodatkom 10M NaOH ili koncentrovane HCl.



Slika 3. 1. a) tunelska sušara, b) zamrznuti uzorci paprike postavljeni na tacnu pre procesa liofilizacije

Nakon predtretmana, dobijeni komadići paprika su osušeni prateći eksperimentalni dizajn (Tabela 3.4.). Polovina uzoraka je osušena u tunelskoj sušari, na 60 °C pri strujanju vazduha od 2 m/s (Slika 3.1.a). Sušenje je vršeno dok se sadržaj vlage u finalnom proizvodu nije smanjio ispod 10%. Tokom sušenja uzorci su se nalazili na drvenoj lesi i bili su postavljeni pod uglom, da bi se obezbedilo bolje strujanje vazduha. Druga polovina uzoraka je osušena postupkom liofilizacije. Uzorci su prvo zamrznuti na -20 °C, a potom liofilizovani u industrijskom liofilizatoru kompanije Z.A. Fruit sa temperaturom kolektora -40 °C i pritiskom 0.133 mbar tokom 4h, u završnoj fazi temperatura je postepeno podizana do 55°C (Na Slici 3.1.b su prikazani uzorci konzumne paprike u zamrnutom stanju neposredno pre postupka liofilizacije). Nakon sušenja uzorci su zasebno vakumirani u vakuum kese i čuvani na tamnom mestu i sobnoj temperaturi do analize. Pre analize uzorci su samleveni u fini prah. Sadržaj vlage je određen sušenjem na 105 °C do konstantne mase.

3.2.1.2. Eksperimentalni dizajn za začinsku papriku

Frakcioni faktorijski dizajn (FFD) je postavljen u cilju ispitivanja uticaja sedam faktora (parametara) na kvalitet sušene začinske paprike (kultivar *Horgoška slatka HS6.*). Za pet faktora postavljena su tri nivoa (-1, 0, +1) dok su za dva faktora postavljena dva nivo: nizak (-1) i visok (+1). Četiri centralne tačke su ponavljene tri puta. Dizajn se sastoji od 28 eksperimenata, u kojima su istovremeno varirani svi ispitivani faktori (sedam nezavisnih faktora). Ispitivani faktori i nivoi faktora dati su u Tabeli 3.5 i isti su kao kod konzumne paprike, s tim da je kod začinske paprike jedan faktor manje – nije ispitivan uticaj dimenzija ploda.

Sveži plodovi su oprani, uzdužno presečeni, očišćeni od semenki i placente i podvrgnuti predtretmanima prema eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.6.). Predtretmani su izvršeni na sličan način kao i kod konzumne paprike. Jedna polovina eksperimenata je izvedena sa primenom ultrazvuka (Elmasonic S15H, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Nemačka) pri konstantnoj snazi 95 W i frekvenciji 37 kHz, dok je druga polovina izvedena bez primene ultrazvuka. Korišćeni su isti aditivi kao i u slučaju konzumne paprike, 1 L rastvora za predtretman koncentracije: 0,25%

limunska kiselina, 0,25% $K_2S_2O_5$ ili smeša – 0,25% limunska kiselina i $K_2S_2O_5$. Potrebna pH vrednost je podešena sa 10M NaOH ili koncentrovanom HCl.

Tabela 3. 5. Faktori i nivoi faktora kod frakcionog faktorijskog dizajna za začinsku papriku

Br.	Faktor	Nivo -1	Nivo 0	Nivo +1
1	Metod sušenja	TS	-	LF
2	pH	3	6,5	10
3	Aditiv (0,25%)	LK	LK/ KMS	KMS
4	Ultrazvuk	Off	-	On
5	Temperatura predtretmana, T (°C)	20	50	80
6	Vreme predtretmana, t (min)	1	3	5
7	Masa uzorka (g)	30	100	170

TS – sušenje u tunelskoj sušari; LF – liofilizacija; LK – limunska kiselina; LK/KMS – limunska kiselina/kalijum-metabisulfit; KMS – kalijum-metabisulfit



Slika 3. 2. Sušenje uzorka začinske paprike na lesi u tunelskoj sušari

Nakon predtretmana, dobijeni uzorci su osušeni. Polovina uzorka je osušena u tunelskoj sušari (Slika 3.1.a) na isti način kao i uzorci konzumne paprike. Tokom sušenja u tunelskoj sušari uzorci su se nalazili na lesi, pod uglom, da bi se obezbedila bolja cirkulacija vazduha (Slika 3.2.). Druga polovina uzorka je liofilizovana tako što su uzorci prvo zamrznuti na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a potom liofilizovani pomoću Labconco FreeZone® 18 liofilizatora sa temperaturom kolektora $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ i pritiskom 0.133 mbar tokom 24h (Slika 3.3.). Nakon sušenja, uzorci su vakuumirani (pomoću vakuum pakerice Gorenje VS 120W) i čuvani na tamnom mestu i sobnoj temperaturi. Pre analize uzorci su samleveni u fini prah, osim uzorka za analizu teksturnih i morfoloških karakteristika osušenih plodova. Sadržaj vlage je određen, sušenjem dobijenog praha na $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ do konstantne mase.



Slika 3. 3. Liofilizator Labconco FreeZone® 18

Tabela 3. 6. Eksperimentalni dizajn za začinsku papriku, realne vrednosti

Redni broj	Sušenje	pH	Aditiv	UZ	T, °C	t,min	m,g
1	LF	3	KMS	ON	20	1	170
2	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
3	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100
4	TS	10	KMS	OFF	20	1	170
5	LF	10	LK	OFF	20	5	170
6	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100
7	TS	3	KMS	OFF	80	5	170
8	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100
9	LF	10	KMS	OFF	80	1	30
10	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100
11	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
12	LF	3	LK	OFF	80	1	170
13	LF	10	LK	ON	20	1	30
14	TS	10	LK	ON	80	1	170
15	LF	3	LK	ON	80	5	30
16	LF	3	KMS	OFF	20	5	30
17	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
18	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
19	LF	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100
20	LF	10	KMS	ON	80	5	170
21	TS	3	KMS	ON	80	1	30
22	LF	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
23	TS	10	KMS	ON	20	5	30
24	TS	3	LK	ON	20	5	170
25	TS	10	LK	OFF	80	5	30
26	TS	3	LK	OFF	20	1	30
27	TS	6,5	LK/KMS	OFF	50	3	100
28	TS	6,5	LK/KMS	ON	50	3	100

3.3. ANALIZA MAKROELEMENATA I ELEMENATA U TRAGOVIMA

3.3.1. Priprema uzoraka

Pre određivanja elementarnog sastava ispitivani uzorci paprike su podvrgnuti mikrotalasnoj digestiji. Uzorci su stavljeni u PTFE kivete (oko 3,0 g za sveže uzorke, odnosno oko 0,5 g za suve uzorke, odmerenih na analitičkoj vagi), pomešani sa 7 mL 65% HNO₃ i 2 mL 30% H₂O₂. Smeša je potom podvrgnuta digestiji u mikrotalasnoj pećnici CEM Mars 6, SAD. Postupak digestije sastojao se u podizanju temperature na 150 °C tokom 10 minuta i održavanju postignute temperature narednih 20 minuta. Nakon hlađenja rastvor iz PTFE kivete je kvantitativno prebačen u merni sud od 25 mL. Svi uzorci su analizirani u tri ponavljanja.

3.3.2. Instrumentalno merenje

Sadržaj makroelemenata (Na, K, Mg, Ca i P) određen je pomoću ICP-OES instrumenta, model iCAP 6500 Duo (Thermo Scientific, Ujedinjeno Kraljevstvo). Za kalibraciju su upotrebljena dva standarda: standard za Na, K, Mg i Ca (PE-CAL4-ASL-1) i ICP standard za P (ICP-41W-1).

Sadržaj 13 mikroelemenata i elemenata u tragovima (Fe, Zn Cu, Mn, Mo, Co, Cr, Se, B, Li, Al, Ni, Pb, Hg, Cd i As) je određen pomoću ICP-MS instrumenta, model iCAP Q (Thermo Scientific, Ujedinjeno Kraljevstvo). Za kalibraciju su upotrebljena dva standarda: ICP multi-element standardni rastvor XXI za MS (MES-21-5) i ICP standard za Hg (MS MES-21-HG-1).

Validacija metode je urađena određivanjem linearnosti, granice detekcije (LOD), tačnosti, preciznosti i pojavnivosti (eng. recovery). Za validaciju su upotrebljena četiri sertifikovana referentna materijala: listovi breskve - SRM 1547 i kukuruzne mekinje - SRM 8433 od Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju (eng. National Institute of Standards and Technology - NIST), Gaithersburg, SAD, potom hrana za zečeve i morske prasiće - AF-038 od LGC grupe (eng. LGC Group), UK i standardni rastvor 110580.L1 SRM od CPChem, Bugarska. Standardni rastvori za konstrukciju kalibracione krive bili su u opsegu od 0-100 mg/L za analizu na ICP-OES (K, P, Ca, Mg i Na), odnosno u opsegu od 0-100 µg/L za analizu na ICP-MS (Fe, Zn Cu, Mn, Mo, Co, Cr, Se, B, Li, Al, Ni, Pb, Hg, Cd i As). Vrednost koeficijenta korelacije (R^2) za kalibracionu krivu bila je 0,9997, što znači da je postignuta linearnost metode. Vrednosti limita detekcije kretali su se od 0,19 µg/kg do 14,5 mg/kg. Preciznost metode je određena putem određivanja pojavnivosti (eng. recovery) i relativne standardne devijacije. Pojavnivost se kretala u opsegu od 82,2 do 151%, dok se relativna standardna devijacija kretala od 2,0 do 42%. Visoke vrednosti pojavnivosti i relativne standardne devijacije se javljaju kada su niske koncentracije ispitivanih elemenata.

3.3.3. Procena dijetetskog unosa

Primenom jednačine (2) izračunat je doprinos (%) preporučenom dnevnom unosu elemenata koji se ostvaruje konzumacijom paprike:

$$\text{Doprinos (\%)} = (C * IR / \text{Preporučeni dnevni unos}) * 100 \quad (2)$$

gde C predstavlja srednju vrednost koncentracije za odgovarajući element (mg/g svežeg ploda) i IR je dnevni unos (g/dan). Dnevni unos paprike je određen na osnovu Ankete o potrošnji domaćinstava u Srbiji za 2019. godinu (Republički zavod za statistiku, 2020a). Dnevni unos kod dece iznosio je 40% unosa za odrasle, a izračunat je na osnovu podataka USEPA (2018) (USEPA, 2018) za dete od 3-6 godine, prosečne telesne mase 15 kg (Tabela 3.7.).

U proračunu su korišćeni preporučeni dnevni unosi dati od strane Svetske zdravstvene organizacije (World Health Organisation –WHO), Evropske agencije za bezbednost hrane

(European Food Safety Authority – EFSA) i Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu (The U.S. Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine).

Tabela 3. 7. Dnevni unos paprika za odrasle i decu starosti 3-6 godine

	Odrasli		Deca	
	Suva paprika	Sveža ili prerađena paprika	Suva paprika	Sveža ili prerađena paprika
IR (g/dan)	0,411	36,39	0,164	14,56
IR _w (g/sedmica)	2,877	254,7	1,148	101,9

IR – dnevni unos paprika
IR_w – sedmični unos paprika

3.3.4. Procena zdravstvenog rizika

3.3.4.1. Procenjeni sedmični i dnevni unos za toksične elemente

Na osnovu jednačine (3) izračunat je procenjeni sedmični unos za Al, Hg i Cd:

$$EWI = \frac{C \text{ element} * IR_w}{BW} \quad (3)$$

Na osnovu jednačine (4) izračunat je procenjeni dnevni unos za Pb i As:

$$EDI = \frac{C \text{ element} * IR}{BW} \quad (4)$$

C – srednja vrednost koncentracije za određeni element (mg/g sveže paprike); IR_w – sedmični unos paprike (g/sedmica); IR – dnevni unos (g/dan) (Tabela 3.7.); BW – telesna masa za odrasle 70 kg i za decu 15 kg.

3.3.4.2. Ne-kancerogeni rizik

Ne-kancerogeni rizik polutanta je procenjen izračunavanjem koeficijenta ciljane opasnosti (eng. target hazard quotient -THQ). Koeficijent ciljane opasnosti ili THQ predstavlja odnos između koncentracije elementa u uzorku i referentne vrednosti (R_fD, mg/kg telesne mase/dan). Kada je THQ vrednost veća od 1 smatra se da ispitivani element može imati štetne efekte na zdravlje pojedinca.

$$THQ = \frac{C * IR * EFr * ED * 10^{-3}}{AT * BW * RfD} \quad (4)$$

C – srednja koncentracija elementa u uzorku (mg/kg); IR – dnevni unos, EFr – izloženost (350 dana/godina); ED – vreme izlaganja (20 godina za odrasle i 6 godina za decu); BW prosečna telesna masa (odrasli 70 kg, deca 15 kg); AT – prosečno vreme za ne-kancerogeni uticaj (365 days × broj godina izlaganja, predpostavlja se 20 godina za odrasle i 6 za decu).

Kod proračuna su upotrebljene sledeće referentne vrednosti (R_fD): Hg = 0,0001 mg/kg/dan; As = 0,0003 mg/kg/dan; Cd = 0,001 mg/kg/dan; Cr (VI) = 0,003 mg/kg/dan; Mn = 0,14 mg/kg/dan; Ni = 0,02 mg/kg/dan; Zn = 0,3 mg/kg/dan; Cu = 0,04 mg/kg/dan; Fe = 0,7 mg/kg/dan; Al = 1 mg/kg/dan; Co = 0,0003 mg/kg/dan; Mo = 0,005 mg/kg/dan (USEPA, 2021) i Pb = 0,0035 mg/kg/dan (Li et al., 2018; Nowakowski et al., 2021).

Ukupan koeficijent ciljane opasnosti (eng. total target hazard quotient – TTHQ) je izračunat za svaki uzorak posebno tako što su sabrane vrednosti koeficijenata ciljane opasnosti za pojedinačne elemente.

3.3.4.3. Kancerogeni rizik

Kancerogeni rizik (eng. carcinogenic risk - CR) je određen na osnovu formule (5).

$$CR = \frac{C * IR * EEr * ED * 10^{-3} * CSF}{AT * BW} \quad (5)$$

C, IR, EEr, ED, BW su isti kao kod ne-kancerogenog rizika, AT – prosečno vreme za kancerogeni uticaj je bilo 25550 dana i za odrasle i za decu. Kod proračuna su upotrebljene sledeće vrednosti za oralni kancerogeni factor nagiba (eng. carcinogenic slope factor – CSF): Cr = 0,5 mg/kg/day, As = 1,5 (USEPA, 2021), Pb = 0,0085 mg/kg/day, Cd = 0,38 mg/kg/day (Polak-Juszczak & Podolska, 2021) i Ni = 1,7 and mg/kg/day (Storelli et al., 2020). Povećani rizik od raka tokom života (eng. incremental life time cancer risk - ILCR) je izračunat za svaki uzorak posebno tako što su sabrane vrednosti kancerogenog rizika za pojedinačne elemente.

3.4. ANALIZA L-ASKORBINSKE KISELINE TEČNOM HROMATOGRAFIJOM VISOKIH PERFORMANSI

3.4.1. Ekstrakcija vitamina C iz uzoraka paprike

Za ekstrakciju L-askorbinske kiseline upotrebljen je ekstrakcioni rastvor dobijen rastvaranjem 30 g/L metafosforne kiseline (meri se kao čvrsta supstanca) i 80 g/L sirćetne kiseline (dodaje se u tečnom stanju). Za ekstrakciju je odmereno 2,5 g samlevene sveže paprike odnosno 0,4 g samlevene sušene paprike i pomešano sa 12,5 mL, odnosno 10 mL ekstrakcionog rastvora⁴. Ekstrahovanje je izvršeno na temperaturi 20 °C u ultrazvučnom kupatilu (Elmasonic S15H, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Nemačka), primenom ultrazvuka u periodu od 15 minuta. Nakon ekstrakcije uzorci su profiltrirani kroz špric filter 0,45 µm i skladišteni na -4 °C do analize. Određivanje L-askorbinske kiseline je izvršeno kod svežih plodova pre predtretmana i osušenih plodova nakon primenjenih predtretmana, po eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.4. i Tabela 3.6.). Osim toga, kod začinske paprike određivanje L-askorbinske kiseline je izvršeno u tretiranim uzorcima pre koraka sušenja, da bi se utvrdio uticaj samih predtretmana na sadržaj vitamina C.

Kod svežih plodova paprike izvršena je redukcija dehidroaskorbinske kiseline (DHAA) u L-askorbinsku kiselinu u cilju određivanja ukupnog sadržaja vitamina C. Redukcija je izvršena primenom ditiotreitola (DTT) i tioglikolne kiseline (TGA) u cilju poređenja redukcije primenom ova dva redukciona reagensa. Radni rastvori DTT i TGA imali su koncentraciju 5 mM. Redukcija je izvedena po sledećoj proceduri: pomešano je 250 µL ekstrakta paprike, 1 mL DTT odnosno 1 mL TGA i 1,25 mL citratnog pufera. Smeša sa DTT je inkubirana 60 minuta, a smeša sa TGA je inkubirana 2h pre instrumentalnog merenja L-askorbinske kiseline. Kalibraciona kriva je konstruisana pravljjenjem serije standardnih rastvora L-askorbinske kiseline. Pre injektovanja svi standardi i rastvori su profiltrirani kroz špric filter 0,22 µm.

3.4.2. Instrumentalno merenje

Analiza vitamina C je izvršena primenom tečne hromatografije visokih performansi (eng. High Performance Liquid Chromatography – HPLC). Za analizu je korišćen Thermo Surveyor HPLC

⁴ Prilikom analize sadržaja L-askorbinske kiseline u plodovima konzumne paprike u tri stepena zrelosti, za ekstrakciju je odmereno 5, 0 g uzorka i ekstrahovano sa 25 mL ekstrakcionog rastvora.

system, kolona Kinetex (phase: EVO C18; 250 × 4,5 mm I.D; veličina čestica: 5 μm; veličina pora: 100 Å). Injektovana zapremina je bila 10 μL pri izokratskim uslovima, korišćen je UV-Vis detektor. Mobilna faza je pripremljena po proceduri van de Velde et al. 2012 (van de Velde et al., 2012), sa odgovarajućim modifikacijama: pufer 0,03 M CH₃COOH/CH₃COONa, 5% metanol i 1 mM EDTA (pH=5,80 podešena sa 2 M NaOH). Protok mobilne faze bio je 1,2 mL/min na sobnoj temperaturi, vreme analize 8 min, detekcija na 269 nm.

3.4.3. Validacija metode

Validacija metode je izvršena određivanjem nekoliko parametara: linearnost, granica detekcije (LOD) i granica kvantifikacije (LOQ), preciznost, tačnost, ponovljivost, pojavljivost (eng. recovery). U cilju određivanja sadržaja vitamina C konstruisana je kalibraciona kriva sa pet kalibracionih tačaka: 0, 4, 8, 12, 16 i 20 mg/L. Kalibracioni standardi su napravljeni tako što je prvo napravljen osnovni rastvor koncentracije 4 g/L, a zatim je od njega napravljen radni rastvor koncentracije 80 mg/L. Radni rastvor je pripremljen razblaživanjem osnovnog rastvora sa ekstrakcionim rastvorom, dok su kalibracioni rastvori pripremljeni razblaživanjem radnog rastvora sa dejonizovanom vodom. Linearnost metode je utvrđena na osnovu koeficijenta korelacije koji je iznosio 0,9999. Ponovljivost je određena na osnovu pet uzastopnih merenja standarda koncentracije 8 mg/L. Vrednost relativne standardne devijacije bila je 4,45%. Pojavljivost (eng. recovery) je određena metodom standardnog dodatka. Za standardni dodatak korišćen je radni rastvor koncentracije 80 mg/L. Rezultati pojavljivosti za odabrane uzorke paprike prikazani su u Tabeli 3.8. Pojavljivost se kretala od 90,5% do 102%.

Tabela 3. 8. Analiza ekstrakta paprike i vrednosti za pojavljivost (eng. recovery)

Uzorak	Koncentracija standardnog dodatka	Očekivana vrednost mg/L	Merena konc. mg/L	Recovery (%)
Standardni dodatak	80	80,0	76,4	95,5
<i>Kurtovska kapija</i>	62	181,6	184,5	102
<i>Kurtovska kapija</i>	124	246,5	244,4	99,1
<i>Slonovo uvo</i>	109	319,0	316,6	99,2
<i>Slonovo uvo</i>	217	422,1	382,4	90,5

3.5. ANALIZA SADRŽAJA UKUPNIH POLIFENOLA

Analiza sadržaja ukupnih polifenola izvršena je primenom Folin–Ciocalteu reagensa po proceduri Dewanto et al. (Dewanto et al., 2002). Metoda se zasniva na redukciji Folin–Ciocalteu reagensa fenolnim jedinjenjima u alkalnoj sredini, pri čemu se analizirani rastvor boji plavom bojom, a absorbancija se meri spektrofotometrijski na 760 nm. Intenzitet boje raste linearno sa povećanjem koncentracije polifenola. Ekstrakcija je vršena u dva koraka primenom 80% metanola. Prvo je odmereno oko 200±1 mg samlevene sušene ili sveže paprike, pomešano sa 5 mL 80% metanola i podvrgnuto ultrazvučnoj ekstrakciji tokom 30 minuta na sobnoj temperaturi. Smeša je potom centrifugirana 5 minuta na 2500 obrtaja. Supernatant je prikupljen u normalni sud od 10 mL, a ostatak je reekstrahovan kao u prvom koraku. Supernatanti su pomešani, a normalni sud dopunjen sa ekstrakcionim rastvorom do merne crte. Svi uzorci su ekstrahovani u tri ponavljanja, čuvani su na -20 °C do analize i analizirani su najduže peti dan od ekstrakcije. Za konstrukciju kalibracione krive korišćena je galna kiselina, a rezultati su izraženi kao mg ekvivalenta galne kiseline.

3.6. ANALIZA SADRŽAJA UKUPNIH KAROTENOIDA

Sadržaj ukupnih karotenoida je određen po proceduri Ilić i saradnici (2017) (Ilić et al., 2017). Samleveni uzorci sušene paprike su ekstrahovani sa acetonom do obezbojavanja čvrstog dela, a

dobijeni ekstrakt je iskorišćen za spektrofotometrijsko određivanje sadržaja ukupnih karotenoida. Absorbancija je merena na 662, 644 i 440 nm. Proračun je vršen po jednačinama 6, 7, 8 i 9.

$$\text{Hlorofil a (mg/L)} = 9,784 * A_{662} - 0,990 * A_{644} \quad (6)$$

$$\text{Hlorofil b (mg/L)} = 21,426 * A_{644} - 4,65 * A_{662} \quad (7)$$

$$\text{Hlorofil a + b (mg/L)} = 5,134 * A_{662} + 20,436 * A_{644} \quad (8)$$

$$\text{Ukupni karotenoidi (mg/L)} = 4,695 * A_{440} - 0,268 * (\text{hlorofil a + b}) \quad (9)$$

3.7. ANTIOKSIDATIVNI TESTOVI

Za merenje antioksidativne aktivnosti upotrebljeni su isti ekstrakti kao i kod određivanje sadržaja ukupnih polifenola. Rezultati su izraženi kao ekvivalent μM Trolox na gram suve materije. Analiza je izvršena primenom dva testa: DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) i FRAP (eng. the ferric reducing ability) testa.

3.7.1. DPPH test

Antiksidativni test koji se zasniva na redukciji stabilnog slobodnog DPPH• radikala urađen je sa manjim izmenama po proceduri Thaipong i saradnika (2006) (Thaipong et al., 2006). Metoda se zasniva na činjenici da u reakciji između monomerne forme DPPH radikala (ljubičasta boja) i donora elektrona ili atoma vodonika (antioksidanti) nastaje redukovana forma DPPH radikala, koja je žuto obojena, a ta promena boje može da se meri spektrofotometrijski. Može se pretpostaviti da će donori ("hvatači radikala") koji poseduju antioksidativna svojstva *in vitro*, ispoljiti i antioksidativnu aktivnost *in vivo* (Nenadis & Tsimidou, 2018). Osnovni rastvor je napravljen rastvaranjem 25 mg DPPH praha u 100 mL metanola, potom je napravljen radni rastvor tako što je 9 mL osnovnog rastvora razblaženo metanolom do 50 mL. Reakciona smeša je dobijena mešanjem 150 μL ekstrakta ili standarda sa 2850 μL radnog rastvora DPPH. Nakon inkubacije 30 minuta na sobnoj temperaturi u mraku, izmerena je absorbancija na 517 nm korišćenjem UV-Vis spektrofotometra. Metanol je korišćen kao slepa proba.

3.7.2. FRAP test

Antioksidativni test koji se zasniva na redukciji feri jona (Fe^{3+}) u fero jon (Fe^{2+}), a što je praćeno promenom boje, urađen je po proceduri Thaipong i saradnika (2010) (Thaipong et al., 2006). Za FRAP test pripremljen je FRAP rastvor mešanjem 50 mL natrijum acetatnog pufera (pH 3,6), 5 mL rastvora 10 mM TPTZ (2, 4, 6-tripiryridyl-s-triazine) pripremljenog u 40 mM HCl i 5 mL 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. FRAP reagens je zagrejan na vodenom kupatilu do 37°C i odmah dodat u ekstrakt. Pomešano je 150 μL ekstrakta ili standarda sa 2850 μL FRAP rastvora. Smeša je inkubirana 30 minuta na sobnoj temperaturi, nakon čega je izmerena absorbancija na 593 nm korišćenjem UV-Vis spektrofotometra. Acetatni pufer je korišćen kao slepa proba.

3.8. ANALIZA BOJE

3.8.1. CIE Lab boja

Boja samlevene paprike određena je merenjem CIE L^* a^* b^* koordinata boje, pomoću Chroma Meter (Model CR-400, Minolta Corp., Japan), korišćenjem D65 izvora svetlosti i ugla posmatranja od 2° . Parametri L^* (tamnoća/svetloća), a^* (zeleno/crveno), b^* (plavo/žuto), C^* (hroma) i hue° (ugao boje) su mereni direktno. Pre merenja instrument je kalibrisan korišćenjem standardne bele ploče. Svaki uzorak je analiziran tri puta, a srednja vrednost je upotrebljena za prikazivanje rezultata.

3.8.2. Ne-enzimatski indeks tamnjenja

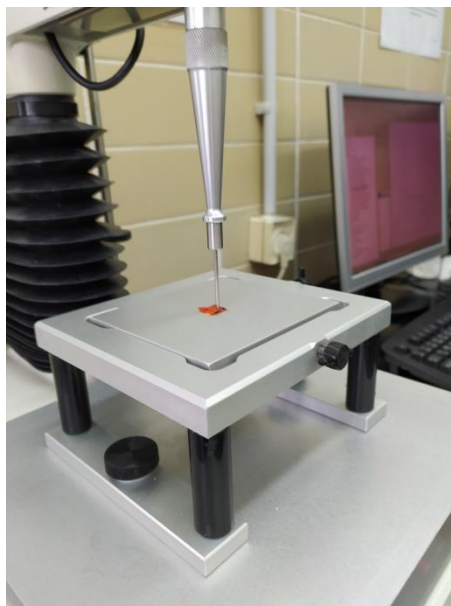
Ne-enzimatski indeks tamnjenja je određen sa manjim izmenama po proceduri datoj od strane Delgado-Andrade i saradnika (2010) (Delgado-Andrade et al., 2010). Odmereno je 200 ± 1 mg samlevene osušene paprike i pomešano sa 10 mL destilovane vode. Ekstrakcija je izvršena primenom ultrazvuka tokom 10 minuta. Smeša je potom centrifugirana na 2500 obrtaja 10 minuta. Supernatant je odliven, 4-puta razblažen i absorbancija je merena na 420 nm korišćenjem UV-Vis spektrofotometra. Rezultati su izraženi na 0,05 g suve mase, uzimajući u obzir sadržaj vlage u osušanim uzorcima paprike.

3.9. ANALIZA SPOSOBNOSTI REHIDRATACIJE

U cilju ispitivanja uticaja predtretmana na proces rehidracije, osušeni uzorci paprike su rehidratirani u destilovanoj vodi. Proces rehidracije se sastojao u potapanju osušenih komadića paprike u vodu temperature 20 ± 1 °C, pri odnosu čvrsto-tečno 1:50. U cilju praćenja kinetike rehidracije merena je masa komadića paprika u sledećim intervalima: nakon 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 minuta. Pre merenja komadi paprike su pincetom uklonjeni iz vode, postavljeni na papirni ubrus i blago obrisani da bi se uklonio višak vode. Za svaki uzorak postupak rehidracije je izvršen tri puta. Rezultati su izraženi kao odnos m_t/m_0 , gde m_t predstavlja masu rehidrisanog uzorka u vremenu t , a m_0 je masa uzorka pre početka rehidracije, tj. masa suvog uzorka (Szadzińska et al., 2017).

3.10. ANALIZA TEKSTURNIH SVOJSTVA

Teksturna svojstva osušene paprike su određena primenom analizatora teksture TA.XT Plus Texture Analyser (Stable Micro Systems, England, UK) opremljenog sa mernom ćelijom od 5 kg (Slika 3.4.). Merena je ubodna sila potrebna da igla od nerđajućeg čelika prečnika 2 mm P/2N, pri pređenom putu od 12 mm, probije osušeni uzorak paprike. Ubodna sila je određena jednim prolaskom igle kroz uzorak, pri čemu je za svaki uzorak postupak ponovljen tri puta.



Slika 3. 4. TA.XT Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, England, UK) – levo; prikaz analize uzorka sušene paprike – desno

3.11. MORFOLOŠKA SVOJSTVA

Analiza morfoloških svojstava unutrašnje i spoljašnje površine osušene paprike izvršena je primenom skenirajuće elektronske mikroskopije (SEM) na mikroskopu JEOL model JSM6390 LV. Pre analize uzorci paprike su prekriveni slojem zlata primenom raspršivača Baltec scd 005 (Slika 3.5.).



Slika 3. 5. Raspršivač Baltec scd 005

3.12. MIKROBIOLOŠKA ANALIZA

Mikrobiološka analiza osušenih uzoraka paprike podrazumevala je određivanje broja ukupnih mezofilnih bakterija, kvasaca i plesni, koliformnih bakterija, *Escherichie coli*, sulfitoredukujućih klostridija, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* i *Bacillus cereus*. Mikrobiološka analiza izvršena je za kontrolne uzorke i određene liofilizovane uzorke iz eksperimentalnog dizajna. Kontrolni uzorci su podrazumevali osušene uzorke proizvedene od sveže paprike (osušeni postupkom liofilizacije, u tunelskoj sušari i uzorci osušeni na suncu), kao i osušene uzorke proizvedene od blanširane paprike (osušeni postupkom liofilizacije i u tunelskoj sušari). Mikrobiološka analiza je urađena za uzorke začinske i konzumne paprike. Samleveni uzorci paprike su homogenizovani i razblaženi u PBS-u (eng. phosphate buffered saline). Određivanje broja ukupnih mezofilnih mikroorganizama izvršeno je primenom metode ISO 4833-1:2014. Zasejavanje je izvršeno u petri šoljama korišćenjem podloge sa hranljivim agarom: agar za ukupan broj (eng. plate count agar – PCA). Nakon završenog procesa inkubacije na 30 ± 1 °C tokom 72 h, izvršeno je brojanje kolonija. Broj kvasaca i plesni određen je po metodi ISO 21527:2011, sa upotrebom peptonska voda koncentracije 0,1% za homogenizaciju i razblaženje uzoraka i zasejavanjem na dihloran rozen bengal hloramfenikol agaru (DRBC). Inkubacija je vršena na temperaturi 25 ± 1 °C tokom 3 dana, nakon čega je usledilo brojanje kolonija. Određivanje broja *Bacillus cereus* izvršeno je po metodi ISO 7932:2009, korišćenjem MYP agara (eng. mannitol egg yolk polymyxin agar). Nakon zasejavanja, inkubacija je vršena na 30 ± 1 °C tokom 24 h, nakon čega je izvršeno brojanje kolonija. Određivanje broja koliformnih bakterija određeno je primenom metode ISO 4832:2014. Upotrebljen je kristalno ljubičasti neutralno crveni žučni agar sa laktozom (eng. violet red bile lactose agar - VRBL). Vreme inkubacije je bilo 30 ± 1 °C tokom 24 h, nakon čega je usledilo brojanje kolonija. Određivanje broja *Escherichie coli* izvršeno je po metodi ISO 16649-2:2008,

upotrebom tripton-žuč-glukuronid podloge (TBX). Inkubacija je vršena na 44 °C tokom 18 h. Broj sulfitoredukujućih klostridija određen je po metodi ISO 15213:2011, korišćenjem gvožđe sulfidnog agara. Inkubacija je vršena na 37 °C tokom 48 h. Prisustvo *Listeria monocytogenes* je izvršeno po metodi ISO 11290-1:2017. Obogaćivanje je izvršeno u dva koraka, upotrebom half-Frasher bujona (30 °C/24h) u prvom koraku i Frasher bujona u drugom koraku (37 °C/24 h). Bujoni su potom zasejani na Oxford and BD PALCAM *Listeria* agarima. Prisustvo *Salmonella* spp. je ispitano po metodi ISO 6579-1:2017. Obogaćivanje je izvršeno u dva koraka, prvo u puferisanoj peptonskoj vodi (ne-selektivni medijum) na 34 °C tokom 18 h, a potom u Rappaport-Vessiliadis bujonu sa sojom (RVS bujon), na 41,5 °C tokom 24 h. Za izolaciju je upotrebljen selektivni medijum XLD agar (eng. Xylose Lysine Deoxycholate agar) na 37 °C tokom 24 h.

3.13. FUNKCIJA POŽELJNOSTI

Optimalan kvalitet sušene začinske paprike, odnosno najbolja kombinacija ispitivanih parametara određen je primenom funkcije poželjnosti (eng. desirability function). Funkcija poželjnosti transformiše veći broj odgovora sistema u jednu novu vrednost, odnosno set vrednosti. Sastoji se od dva koraka, prvog gde se svaki pojedinačni odgovor prevodi u pojedinačnu funkciju poželjnosti (d_i), koja može imati vrednost od 0 do 1 ($d_i = 0$ nepoželjan odgovor; $d_i = 1$ poželjan odgovor) i drugog koraka koji podrazumeva izračunavanje ukupne poželjnosti (D). Ukupna poželjnost se određuje računanjem geometrijske sredine svih pojedinačnih funkcija poželjnosti (jednačina 10).

$$D = (d_1^{r_1} * d_2^{r_2} * d_3^{r_3} * ... * d_n^{r_n})^{1/\sum r_i} \quad (10)$$

d_i je pojedinačna poželjnost odgovora y_i ($i= 1, 2, 3, \dots, n$), n je broj odgovora, r_i je značajnost svake promenljive u odnosu na ostale. Ako je neki od odgovora nepoželjan i ukupna poželjnost će imati vrednost nula.

Ako je poželjno da odgovor sistema ima maksimalnu vrednost, za računanje pojedinačne funkcije poželjnosti primenjuje se jednačina (11):

$$d_i(\hat{y}_i(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } \hat{y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - L_i}{U_i - L_i}\right)^s & \text{if } L_i \leq \hat{y}_i(x) \leq U_i \\ 1 & \text{if } \hat{y}_i(x) > U_i \end{cases} \quad (11)$$

Ako je poželjno da odgovor sistema ima minimalnu vrednost, za računanje pojedinačne funkcije poželjnosti primenjuje se jednačina (12):

$$d_i(\hat{y}_i(x)) = \begin{cases} 1 & \text{if } \hat{y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i(x)}{U_i - L_i}\right)^t & \text{if } L_i \leq \hat{y}_i(x) \leq U_i \\ 0 & \text{if } \hat{y}_i(x) > U_i \end{cases} \quad (12)$$

EkspONENTI s i t predstavljaju opterećenje (značaj) koja se dodeljuje svakom pojedinačnom odgovoru, a određuju koliko je važno da vrednost d_i bude blizu maksimuma odnosno minimuma. Vrednosti U_i i L_i predstavljaju maksimalnu odnosno minimalnu dozvoljenu vrednost odgovora (Vera Candiotti et al., 2014).

Ako je poželjno da odgovor sistema ima ciljanu vrednost T_i , za računanje pojedinačne funkcije poželjnosti primenjuje se jednačina (13):

$$d_i(\hat{y}_i(x)) = \begin{cases} 0 & \text{if } \hat{y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i}\right)^s & \text{if } L_i < \hat{y}_i(x) < T_i \\ 1 & \hat{y}_i(x) = T_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i}\right)^t & \text{if } T_i < \hat{y}_i(x) < U_i \\ 0 & \text{if } \hat{y}_i(x) > U_i \end{cases} \quad (13)$$

Kod začinske paprike funkcijom poželjnosti obuhvaćeno je 12 odgovora sistema i to (1) ukupan sadržaj polifenola, (2) ukupni karotenoidi, antioksidativna aktivnost određena primenom (3) DPPH i (4) FRAP testa, boja definisana preko koordinata boje (5) svetloća (L^*), (6) crvena boja (a^*), (7) hroma (C^*), (8) ugao boje (hue°), (9) stepen rehidracije i (10) tekstura za koje je postavljeno da budu maksimalni, dok su poželjni odgovori za (11) žutu boju (b^*) i ne-enzimatski indeks tamnjenja postavljeni da budu minimalni. Važnost svih odgovora je bila ista.

3.14. STATISTIČKA ANALIZA

Za postavljanje matrica eksperimentalnog dizajna, kao i za statističku analizu dobijenih rezultata upotrebljen je statistički softver MINITAB. Kao što je već prethodno navedeno postavljena su tri dizajna: (1) Box-Behnken dizajn za konzumnu papriku, (2) Frakcioni faktorijski dizajn za konzumnu papriku i (3) Frakcioni faktorijski dizajn za začinsku papriku. Dobijeni rezultati kod Box-Behnken dizajna su analizirani pomoću analize varijanse (ANOVA), a statistička značajnost je određena pomoću F-testa, nivo statističke značajnosti $p < 0,05$. Za dalje tumačenje ostvarenih rezultata konstruisani su trodimenzionalni dijagrami odgovora površina, na osnovu odnosa između dva nezavisna faktora. Za tumačenje rezultata dobijenih primenom frakcionog faktorijskog dizajna korišćene su tri vrste grafika: Pareto grafik, grafik glavnih efekata i dijagrami interakcija. Pareto grafik daje podatak o statističkoj značajnosti faktora, a referentna linija je data za $\alpha = 0,05$ i područje poverenja 95%. Grafik glavnih efekata i dijagram interakcija pružaju dodatne informacije o uticaju ispitivanih faktora i njihovih interakcija.

Brojčani rezultati za elementarni sastav plodova paprike, u različitim stepenima zrelosti izraženi su kao srednja vrednost \pm standardna devijacija. Statistički značajna razlika između srednjih vrednosti je određena primenom analize varijanse (ANOVA), pri čemu je razlika smatrana statistički značajnom za nivo značajnosti $p < 0,05$.

Kod analize elementarnog sastava različitih uzoraka paprike prvo je analizirana normalnost distribucije pomoću Ryan-Joiner testa. Pošto većina rezultata nije imala normalnu raspodelu, za dalju analizu (korelaciona analiza, analiza glavnih komponenata, klaster analiza), podaci su normalizovani primenom logaritamske transformacije. Korelacija između koncentracije elemenata u plodovima paprike određena je primenom Pearson-ove korelacije. Nivo značajnosti je bio $p < 0,05$. Za poređenje razlika u elementarnom sastavu između analiziranih uzoraka primenjena je analiza glavnih komponenti i klaster analiza podataka. Analiza ovih rezultata takođe je urađena pomoću statističkog softvera MINITAB.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. UTICAJ PREDTRETMANA NA SADRŽAJ ELEMENATA U PAPRICI

Ispitivanja elementarnog sastava plodova paprike obuhvatila su različite sorte, stepene zrelosti i vrste proizvoda (n=30). Sveži plodovi različitih sorti paprike, različite vrste mlevene začinske paprike, kao i različiti proizvodi od paprike upotrebljeni su za ispitivanje dijetetskog unosa elemenata i zdravstvenog rizika kroz konzumaciju paprike. Plodovi konzumne sorte *Kurtovska kapija* upotrebljeni su za ispitivanje uticaja stepena zrelosti ploda na elementarni sastav, kao i na koji način predtretmani utiču na gubitak minerala tokom procesa prerade. Plodovi začinske sorte „*Horgoška slatka HS6*“ su iskorišćeni za ispitivanje uticaja predtretmana na elementarni sastav sušene začinske paprike.

4.1.1. Elementarni sastav paprike

U Tabeli 4.1. dati su rezultati elementarnog sastava 28 uzoraka paprike (srednja vrednost, standardna devijacija, minimalna vrednost, maksimalna vrednost, simetrija – skewness i spljoštenost – kurtosis). Statistički značajna variranja su zapažena u elementarnom sastavu ispitivanih uzoraka, kao posledica različitih sorti, porekla, sadržaja vode ili dodatka određenih sastojaka tokom prerade plodova. Najviši sadržaj vode bio je kod kiselih (od 90,9% do 95,5%) i svežih paprika (od 91,5% do 94,8%), a potom i kod prerađenih plodova (od 87,3% do 91,9%). Očekivano, uzorci mlevene začinske paprike su imali najniži sadržaj vode od 5,35% do 8,51%, dok je sadržaj vode kod sušene cele paprike bio 25,4%.

Kod svih uzoraka najzastupljeniji element je bio K, praćen sa P, Mg i Ca. Prerađeni plodovi (kisele paprike, paprike u pavlaci i plod paprike iz proizvoda “punjena paprika”) su imali viši sadržaj Ca u odnosu na sveže plodove, dok su sveži plodovi imali viši sadržaj Mg. U cilju poboljšanja teksture, Ca se često dodaje tokom procesa prerade voća i povrća (Peng et al., 2019). Sa druge strane, povećan sadržaj Ca kod određenih uzoraka vodi poreklo iz kisele pavlake u kojoj su se plodovi nalazili pre analize. Pored povećanog sadržaja Ca, prerađene paprike su imale i povišen sadržaj Na, sa najvišom vrednošću od 1577 mg/100 g sveže mase kod paprike iz proizvoda punjena paprika. Nasuprot ovim vrednostima, sveži plodovi su imali znatno niži sadržaj Na, koji se kretao od 0,37 do 3,40 mg/100 g sveže mase. Povećan sadržaj Na je verovatno posledica njegovog dodatka u vidu soli (natrijum-hlorida), a da bi se poboljšao ukus hrane. Pored poboljšanja ukusa natrijum-hlorid ima i druge uloge, kao što su poboljšanje teksture, ubrzavanje fermentacije, bolji prenos toplote tokom konzervisanja i produženje roka trajanja hrane (Maluly et al., 2017). Kontrola sadržaja Na je važna jer je njegov prekomeran unos potencijalno štetan te može dovesti do nastanka hroničnih bolesti (Capuano et al., 2013).

Na osnovu rezultata analize esencijalnih elemenata, njihova zastupljenost je imala sledeći redosled: Fe>Zn>Mn>Cu>Mo>Co>Se, dok je zastupljenost ne-esencijalnih/toksičnih elemenata bila sledeća: Al>B>Li>Ni>As>Cr>Pb>Cd>Hg. Gvožđe je najzastupljeniji mikroelement, sa koncentracijama od 48,0 do 30594 µg/100 g sveže mase. Kod svežih uzoraka sadržaj Fe je niži u odnosu na rezultate Guil-Guerrero i saradnika (Guil-Guerrero et al., 2006) za španske sorte i rezultate Bernardo i saradnika (Bernardo et al., 2008), a sličan je rezultatima Žurawic i saradnika (Žurawic et al., 2020) za poljske sorte. Jedno od zapažanja je da mlevene začinske paprike imaju viši sadržaj Fe u poređenju sa svežim i prerađenim paprikama, čak i kada se rezultati izraze na suhu materiju. Povećan sadržaj Fe kod ovih uzoraka je najverovatnije posledica sorte, pošto se za proizvodnju mlevene začinske paprike koriste specijalne sorte. Ovo potvrđuju i slične vrednosti sadržaja Fe kod slatke mlevene začinske paprike proizvedene od španskih sorti (Palacios-Morillo et al., 2014), kao i više vrednosti Fe kod ljute mlevene začinske paprike proizvedene od korejskih (Mi et al., 2020) i turskih (Karadaş & Kara, 2012) sorti. Pored toga primećeno je da crveni plodovi imaju viši sadržaj Fe u poređenju sa zelenim plodovima (Rubio et al., 2002).

Tabela 4. 1. Koncentracije elemenata u uzorcima paprike (n=28), scwness – simetrija i kurtosis – spljoštenost raspodele

Element	Srednja vrednost	Mediana	SD	Min	Max	Scwness	Kurtosis
mg/100 g sveže mase							
K	844	203	1207	20,4	3226	1,24	-0,45
P	101	22,8	143	4,61	390	1,27	-0,29
Ca	79,1	18,8	105,6	3,50	331	1,53	1,06
Mg	54,9	11,8	80,8	2,18	223	1,34	-0,08
Na	288	42,5	394	0,37	1577	1,63	2,86
µg/100 g sveže mase							
Fe	3755	241	7602	48,0	30594	2,44	5,85
Zn	571	163	727	56,0	2382	1,34	0,30
Mn	484	102	763	10,1	2143	1,47	0,52
Cu	305	57,2	448	10,8	1578	1,51	1,08
Mo	11,1	4,91	12,5	0,67	44,9	1,33	0,64
Cr	12,4	3,29	20,8	1,31	93,7	2,80	8,46
Co	6,28	1,51	10,1	0,16	34,02	1,76	1,80
Se	3,65	0,86	5,81	0,00	19,8	1,61	1,25
Al	1783	126	4501	44,3	18433	3,12	10,7
B	515	193	582	73,8	1691	1,26	0,35
Li	65,9	3,77	121,7	0,75	388	1,69	1,32
Ni	50,1	19,0	72,0	1,86	273	2,26	4,79
Pb	7,20	2,71	9,89	1,19	48,4	2,95	10,8
Cd	2,41	0,52	4,02	0,08	13,4	1,94	2,38
Hg	0,10	0,00	0,28	0,00	1,05	3,07	8,53
As	1,99	0,61	2,99	0,02	10,63	1,91	2,67

Uzorci paprike iz proizvoda paprika u kiseloj pavlaci su imali viši sadržaj Zn, verovatno usled povećanog sadržaja ovog minerala u mlečnim proizvodima (Górska-Warsewicz et al., 2019). Sadržaj Zn, sa par izuzetaka, bio je u skladu sa rezultatima Žurawic i saradnika (Žurawik et al., 2020) i Buczkowska i saradnika (Buczkowska et al., 2015) za poljske sorte, Karadas i saradnika (Karadaş & Kara, 2012) za svežu crvenu papriku iz Turske i Ördög i saradnika (Ördög et al., 2018) za paprike iz Mađarske i Srbije. Od analiziranih uzoraka iz Srbije, žuta paprika (uvoz iz Španije) je imala povećan sadržaj Zn, 376,5 µg/100 g sveže mase (4425 µg/100 g suve mase), kao i slatki kiseli čili poreklom iz Republike Severne Makedonije 889,4 µg/100 g sveže mase (8160 µg/100 g suve mase). Sličan sadržaj Zn je zabeležen u paprikama iz Španije (Guil-Guerrero et al., 2006), odnosno u čili papričicama iz Južne Koreje (Mi et al., 2020). Sadržaj Mn se kretao od 10,1 do 2143 µg/100 g sveže mase, dok je sadržaj Cu bio od 10,8 do 1578 µg/100 g sveže mase. Kod svežih plodova sadržaj Mn je bio od 51,8 do 116,6 µg/100 g sveže mase što je u skladu sa rezultatima Guil-Guerrero i saradnika (Guil-Guerrero et al., 2006) za 10 španskih sorti paprike. Sadržaj Mn za mlevene začinske paprike (od 1030,9 do 2135,6 µg/100 g sveže mase) je u saglasnosti sa podacima Palacios-Morillo i saradnika (Palacios-Morillo et al., 2014) za španske sorte paprike, dok je sadržaj Cu u saglasnosti sa podacima Mi et al. (Mi et al., 2020). Prerađeni plodovi su imali niži sadržaj Mn, a u nekim slučajevima i niži sadržaj Cu, u poređenju sa svežim plodovima, verovatno usled izluživanja ovih minerala tokom procesa prerade (Korus, 2021). Prosečan sadržaj Mo, Co i Se bio je 11,1 µg/100 g sveže mase, 6,28 µg/100 g sveže mase i 3,65 µg/100 g sveže mase, respektivno. Žute sorte paprike su imale najniži sadržaj Co, dok je sadržaj Se bio znatno viši u mlevenim začinskim paprikama u odnosu na sveže i prerađene plodove. Mlevene začinske paprike su imale i znatno viši sadržaj Al, ne samo kao posledica nižeg sadržaja vode, već i kao posledica sorte i porekla paprike. Najviši sadržaj Al je bio kod dimljene mlevene začinske paprike, poreklom iz Španije. Isti uzorak

paprike je imao i najviši sadržaj Fe, Li i Cr. Sa druge strane, najniže detektovane koncentracije Al su bile kod žutih paprika iz proizvoda paprika u pavlaci, zelene babure i sveže crvene paprike. Sadržaj Ni se kretao od 1,86 do 273 $\mu\text{g}/100$ g sveže mase, pri čemu je uzorak žuta babura imao povećan sadržaj u odnosu na ostale sveže paprike. U analiziranim uzorcima detektovani su i toksični elementi As, Pb i Cd, dok je Hg bila prisutna u 10 od 28 uzoraka.

Za sve analizirane elemente raspodela je bila simetrična – vrednosti simetrije, odnosno skewness su bile više od 1. Izuzetak je As koj je imao umereno simetričnu raspodelu. Takođe, kod većine elemenata spljoštenost, odnosno kurtosis je bila viša od 1, što ukazuje da je raspodela previše šiljata (Ca, Na, Fe, Cu, Cr, Co, Se, Al, Li, Ni, Pb, Cd, Hg). Za dalju analizu rezultata (korelaciona analiza, analiza glavnih komponentata, klaster analiza), podaci su normalizovani primenom logaritamske transformacije.

4.1.1.1. Korelaciona analiza

Korelaciona analiza je ukazala da pozitivna korelacija postoji između gotovo svih elemenata (Tabela 4.2.). Najviše vrednosti korelacionih koeficijenata dobijene su između parova K-P (0,944), K-Mg (0,983), K-Fe (0,905), K-B (0,911), P-Mg (0,936), P-B (0,907), Mg-Fe (0,944), Mg-Mn (0,914), Mg-B (0,915), Mg-Li (0,908), Fe-Mn (0,930), Fe-Cu (0,948), Fe-Cr (0,905), Fe-Co (0,910), Fe-Al (0,918), Fe-B (0,913), Fe-Li (0,911), Mn-Cu (0,924), Mn-Co (0,962), Cu-Co (0,928), Cr-Al (0,913), Al-B (0,938), B-Cd (0,900). Sa druge strane, najniža pozitivna korelacija je utvrđena između Hg i drugih elemenata, dok je za Na ustanovljena niska pozitivna ili čak negativna korelacija sa drugim elementima. Najviša negativna korelacija je utvrđena između Na-Mo (-0,401).

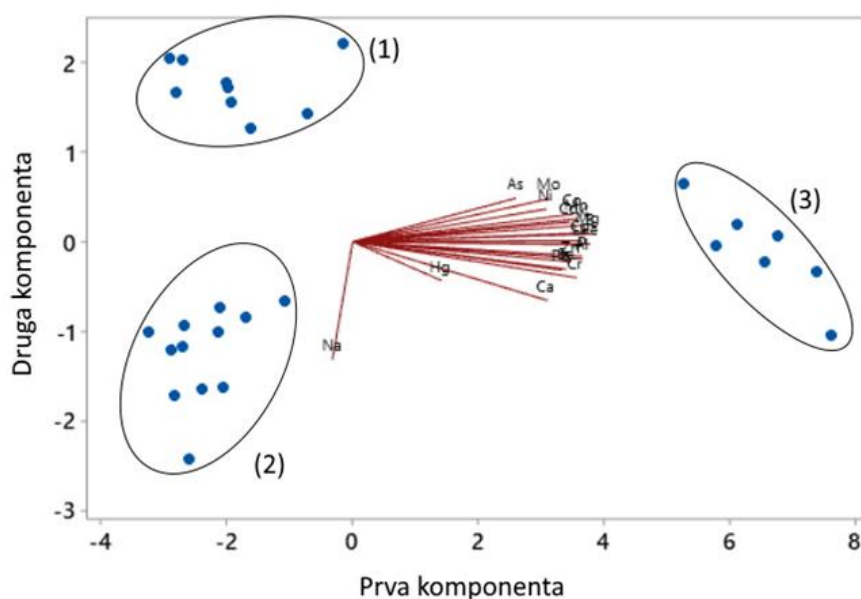
Tabela 4. 2. Pirsonovi korelacioni koeficijenti između analiziranih elemenata u papirci (n=28)

	K	P	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Mo	Cr	Co	Se	Al	B	Li	Ni	Pb	Cd	Hg
P	0,944																			
Ca	0,712	0,874																		
Mg	0,983	0,936	0,733																	
Na	-0,214	0,029	0,345	-0,149																
Fe	0,905	0,870	0,723	0,944	-0,074															
Zn	0,823	0,895	0,804	0,832	0,118	0,807														
Mn	0,871	0,799	0,584	0,914	-0,233	0,930	0,762													
Cu	0,829	0,794	0,662	0,877	-0,073	0,948	0,825	0,924												
Mo	0,792	0,749	0,535	0,768	-0,401	0,736	0,636	0,748	0,699											
Cr	0,833	0,871	0,822	0,863	0,188	0,905	0,852	0,781	0,839	0,577										
Co	0,841	0,749	0,554	0,878	-0,283	0,910	0,719	0,962	0,928	0,731	0,770									
Se	0,803	0,856	0,811	0,816	0,150	0,821	0,779	0,690	0,751	0,719	0,839	0,673								
Al	0,824	0,858	0,776	0,856	0,070	0,918	0,854	0,826	0,859	0,749	0,913	0,793	0,881							
B	0,911	0,907	0,740	0,915	-0,113	0,913	0,897	0,893	0,897	0,838	0,861	0,859	0,868	0,938						
Li	0,882	0,881	0,751	0,908	-0,057	0,911	0,809	0,844	0,837	0,703	0,858	0,811	0,827	0,878	0,886					
Ni	0,768	0,708	0,549	0,758	-0,305	0,716	0,699	0,750	0,714	0,658	0,653	0,772	0,633	0,646	0,778	0,695				
Pb	0,784	0,791	0,734	0,804	0,112	0,859	0,800	0,718	0,852	0,579	0,888	0,735	0,754	0,818	0,781	0,712	0,573			
Cd	0,818	0,763	0,593	0,833	-0,207	0,850	0,765	0,886	0,848	0,716	0,775	0,831	0,729	0,807	0,900	0,766	0,843	0,689		
Hg	0,207	0,269	0,482	0,277	0,142	0,454	0,152	0,373	0,410	0,213	0,386	0,393	0,269	0,340	0,246	0,305	0,197	0,353	0,317	
As	0,655	0,596	0,426	0,634	-0,358	0,625	0,562	0,582	0,578	0,683	0,496	0,609	0,501	0,617	0,667	0,623	0,491	0,504	0,526	0,135

Nivo značajnosti: $p < 0,05$. Boldovani podaci pokazuju korelaciju sa koeficijentom $R > 0,50$

4.1.1.2. Analiza glavnih komponenti

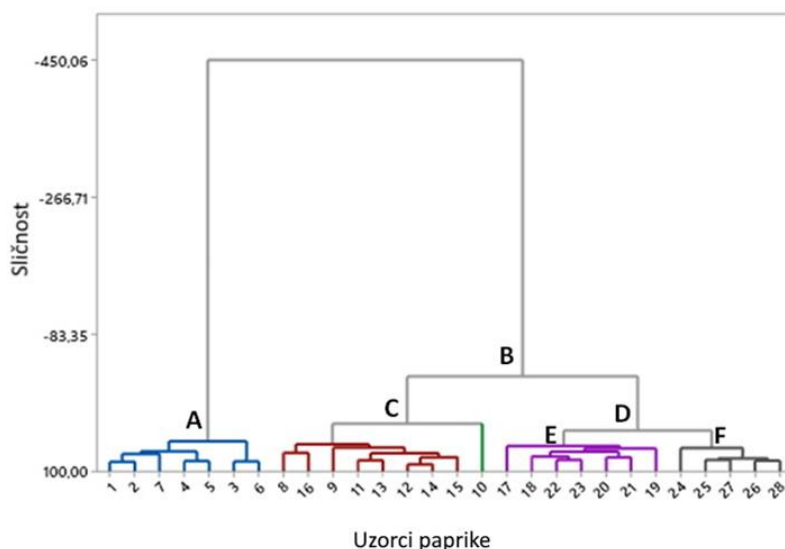
Analiza glavnih komponenti (eng. *principal component analysis* - PCA) omogućava redukciju podataka putem linearne kombinacije originalnih promenljivih, pri čemu se dobija manji broj glavnih komponenti (Ražić & Onjia, 2010). Analiza glavnih komponenti je pokazala da se na osnovu elementarnog sastava ispitivani uzorci razvrstavaju u tri grupe, pri čemu prve dve komponente objašnjavaju 99,5% ukupne varijanse. Na Slici 4.1. dat je biplot koji predstavlja PC1 naspram PC2. Tri grupe uzoraka su: (1) sveže paprike (gore levo), (2) prerađene paprike (dole levo) i (3) suve paprike (desno). Prerađeni proizvodi od paprika su formirali posebnu grupu zbog povećanog sadržaja Na i Ca koji se dodaju u ove proizvode tokom procesa proizvodnje. Takođe je došlo do razdvajanja svežih paprika i sušenih proizvoda od paprike usled različitog sadržaja vode u uzorcima, ali i usled različitih kultivara paprike.



Slika 4. 1. Biplot analize glavnih komponenti na osnovu elementarnog sastava 28 uzoraka paprike : (1) sveže paprike, (2) prerađene paprike i (3) suve paprike

4.1.1.3. Klaster analiza

Klaster analiza (eng. *cluster analysis* - CA) je primenjena kao alternativa analizi glavnih komponenti. Korišćeni su isti podaci, tj. logaritamske vrednosti kao kod PCA analize, korišćenjem Ward linkage metode i merenjem Euklidske udaljenosti. Na Slici 4.2. dat je dendrogram za analizirane uzorke, koji ukazuje da se uzorci prvo dele na dva veća klastera, levi koji predstavlja suve paprike i desni sačinjen od svežih i prerađenih paprika. Drugi klaster se dalje deli na dva podklastera, levi koji predstavlja sve sveže paprike i desni koji predstavlja sve prerađene paprike. Kod svežih uzoraka, uzorak 10 se izdvojio od ostalih paprika kao posledica povišenog sadržaja As (žuta babura poreklom iz Španije). Do razdvajanja svežih i prerađenih paprika je verovatno došlo zbog dodatka Ca za poboljšanje teksture, Ca iz kisele pavlake i usled dodavanja Na kod svih prerađenih proizvoda. Grupa prerađenih paprika se takođe deli na dve podgrupe, prvu sa leve strane - kisele paprike i drugu sa desne strane - paprike u pavlaci i papriku iz proizvoda punjena paprika (uzorak 24).



Slika 4. 2. Dendrogram klsterske analize na osnovu elementarnog sastava 28 uzoraka paprike: A – sušene paprike, B – sveže i prerađene paprike, C – sveže paprike, D – sve prerađene paprike, E – kisele paprike, F – paprike iz proizvoda paprika u pavlaci i paprika iz proizvoda „punjena paprika” (24)

4.1.1.4. Uticaj stepena zrelosti na elementarni sastav plodova paprike

Rezultati analize elementarnog sastava plodova konzumne paprike *Kurtovska kapija*, u tri stepena zrelosti, izraženi kao srednja vrednost tri merenja, dati su u Tabeli 4.3. Analiza varijanse je primenjena u cilju određivanja statistički značajne razlike između različitih stepena zrelosti. Razlika je smatrana statistički značajna za stepen značajnosti $p < 0,05$.

Za sva tri stepena zrelosti najzastupljeniji element bio je K, a pratili su ga ostali makroelementi. Sa promenom boje ploda došlo je do povećanja sadržaja K, sadržaj Na i Ca je opao, pri čemu se koncentracija Mg nije značajnije menjala. Kalijum zajedno sa Mg učestvuje u mnogim metaboličkim procesima neophodnim za sazrevanje ploda kao što su fotosinteza, aktivacija enzima, sinteza ugljenih-hidrata, proteina, transport, sinteza etilena i drugih biljnih regulatora (Marschner, 2012; Mccarty, 1995; Xu et al., 2020). Osim toga, K ima veliki uticaj na pokretljivost i odnos drugih katjona i anjona u cilju održavanja turgorskog pritiska u biljnoj citoplazmi (Hu et al., 2016; Tränkner et al., 2018). Rezultati ovoga istraživanja ukazuju da K ima veliki uticaj na druge elemente, jer se sa povećanjem sadržaja K, smanjuje količina Ca, Na itd. Prethodna istraživanja na biljci kukuruza su ukazala da visoke koncentracije K mogu dovesti do niže absorpcije Na i Ca (Du et al., 2017). Povećanje sadržaja K sa sazrevanjem plodova paprike primećeno je i u studiji Žurawik i saradnika (Žurawik et al., 2020). Mada rezultati Valverde i saradnika (Valverde et al., 2013), Pérez-López i saradnika (Pérez-López et al., 2007) i Žurawik i saradnika (Žurawik et al., 2020) ukazuju da sadržaj Mg opada sa sazrevanjem ploda, prikazani rezultati ukazuju na konstantno visoke koncentracije Mg i kod zrelih zelenih plodova. Visoke koncentracije Mg mogu biti posledica većih zahteva za jonima Mg, koji se ugrađuju u protoporfirinski prsten hlorofila ili usled povećane potrebe za ovim jonom koji je potreban za sintezu proteina (Yamamoto et al., 2010).

Zastupljenost makro elemenata je imala sledeći redosled $K > Mg > Ca > Na$, što je u saglasnosti sa podacima Bhandari i saradnika (Bhandari et al., 2016), Bernardo i saradnika (Bernardo et al., 2008) i Žurawik i saradnika (Žurawik et al., 2020). Sadržaj K za sve stepene zrelosti i Ca za poluzreli i zreli crvenu papriku bio je niži u odnosu na rezultate većine drugih autora (Bernardo et al., 2008; Rubio et al., 2002; Žurawik et al., 2020). Sa druge strane sadržaj Mg i Na bio je u saglasnosti sa literaturnim podacima (Bernardo et al., 2008; Žurawik et al., 2020).

Tabela 4. 3. Elementarni sastav plodova sorte *Kurtovska kapija* u različitim stepenima zrelosti

Element	Zelena	Poluzrela	Crvena
<i>mg/100 g sveže mase</i>			
K	163±13,4 ^c	199±14,8	212±11,9 ^a
Ca	15,2±4,6 ^c	7,73±1,3	6,85±2,1 ^a
Mg	12,8±0,47	13,4±0,46	13,1±1,0
Na	1,53±0,69	0,77±0,10	0,54±0,09
<i>µg/100 g sveže mase</i>			
Fe	207±43	189±32	236±5,3
B	79,5±8,9 ^c	75,6±4,5 ^c	103±1,3 ^{a,b}
Zn	76,3±1,3 ^{b,c}	94,8±0,05 ^{a,c}	109±1,8 ^{a,b}
Mn	54,2±2,8 ^b	64,7±3,0 ^a	63,6±5,3
Cu	45,1±2,9	53,7±6,5	53,7±6,2
Ni	25,3±3,7	17,4±4,0	27,0±4,4
Al	107±24	136±25 ^c	76,1±26 ^b
Cr	1,30±0,19	1,60±0,16	1,26±0,40
Mo	2,05±0,28	2,14±0,15	1,91±0,38
Se	0,30±0,52	0,30±0,52	0,30±0,51
Li	0,89±0,04	0,73±0,23	0,74±0,02
Pb	1,72±0,30	1,54±0,17	1,40±0,29
Hg	0,60±0,05 ^{b,c}	0,35±0,03 ^{a,c}	0,03±0,002 ^{a,b}
Cd	0,65±0,12	0,57±0,02	0,77±0,03
As	0,6±0,06	0,7±0,11	0,6±0,11

^aZnačajno se razlikuje od zrelih zelenih plodova

^bZnačajno se razlikuje od poluzrelih plodova

^cZnačajno se razlikuje od crvenih zrelih plodova

Gvožđe je najzastupljeniji mikroelement u sva tri stepena zrelosti, dok je redosled zastupljenosti ostalih mikroelemenata sledeći Fe>Zn>B>Mn>Cu>Mo>Cr (kod zrelih zelenih plodova pozicija B i Zn je zamenjena). Sadržaj Zn kod sorte *Kurtovska kapija* je značajno niži u odnosu na rezultate za druge sorte paprike, gde se isti kretao od 130-300 µg/100 g svežeg ploda (Bernardo et al., 2008; Rubio et al., 2002). Sadržaj Cu je uporediv sa rezultatima Bernardo i saradnika (Bernardo et al., 2008), ali niži u odnosu na podatke Žurawik i saradnika (Žurawik et al., 2020). Poredeći sa rezultatima Rubio i saradnika (Rubio et al., 2002), gde je sadržaj B 50 µg/100 g za zelenu i 70 µg/100 g za crvenu papriku, ova studija ukazuje na nešto više vrednosti. Koncentracije Li i Se su bile ispod detekcionog limita upotrebljene metode.

Rezultati ovoga istraživanja ukazuju da se sadržaj nutrienata kontinualno menja tokom sazrevanja ploda, što se ogleda u višem stepenu usvajanja i specifične translokacije K, Zn, Mn, Cu, B i gotovo stalne cirkulacije Mg i Fe do pune zrelosti ploda. Različiti trendovi usvajanja mikro i makro elemenata tokom sazrevanja uočeni od strane Rubio i saradnika (Rubio et al., 2002), Valverde i saradnika (Valverde et al., 2013), Pérez-López i saradnika (Pérez-López et al., 2007), Žurawik i saradnika (Žurawik et al., 2020), kao i rezultati ovog istraživanja mogu se objasniti činjenicom da različite vrste i sorte na različite načine usvajaju i koriste dostupne nutrijente (Bhutia et al., 2018; Don et al., 2019). Potvrda za ovo se nalazi i u rezultatima iz predhodnog poglavlja gde se uočavaju značajna variranja u elementarnom sastavu kod različitih uzoraka i proizvoda od paprike.

Toksični elementi Ni, Al, Pb, Cd, Hg, i As su detektovani u sva tri stepena zrelosti. Koncentracija Al se značajno razlikovala između poluzrele i zrele paprike, sadržaj Cd je blago rastao, a žive opadao sa sazrevanjem ploda.

4.1.1.5. Dijetetski unos esencijalnih elemenata i elemenata u tragovima

Da bi ljudsko telo normalno funkcionisalo potrebno je da se kroz ishranu unose dovoljne količine makro i mikro elemenata (Paz et al., 2021). Postoji veći broj nutritivnih preporuka u kojima je definisano koje količine odgovarajućih nutrienata su potrebne za normalno funkcionisanje zdrave osobe. Najznačajniji standardi koji se primenjuju u svetu su preporuke Svetske zdravstvene organizacije (SZO), Evropske agencije za bezbednost hrane (EFSA) i Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu (EFSA, 2017a; Institute of Medicine, 2021; WHO & FAO, 2004). Preporuke date od strane ove tri organizacije se donekle razlikuju u pogledu broja elemenata za koje su date, kao i u pogledu preporučenih vrednosti minerala. Tako EFSA daje preporuke za makro elemente K, P, Ca, Mg i mikro elemente Fe, Zn, Cu, Mn, I, Se, Mo (EFSA, 2017a), dok *Institut za medicinu* pored navedenih minerala daje preporuke i za unos Na i Cr (Institute of Medicine, 2021). Svetska zdravstvena organizacija (SZO) je dala preporuke za unos K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, i Se (WHO & FAO, 2004).

Preporuke SZO su definisane pod nazivom Preporučeni Unos Nutrijenata (eng. *Recommended Nutrient Intakes* – RNI), što je kolektivni naziv za (1) procenjene prosečne potrebe (eng. *Estimate Average Requirements* - EAR), (2) preporučeni unos nutrijenata (eng. *Recommended Nutrient Intakes* – RNI), (3) očigledno zdravo (eng. *apparently healthy*), (4) protektivni unos nutrijenata (eng. *protective nutrient intake*) i gornji nivo tolerancije unosa nutrijenata (eng. *upper tolerable nutrient intake levels* - ULs) (WHO & FAO, 2004). Preporuke date od strane EFSA definisane su pod nazivom Dijetetske Referentne Vrednosti (eng. *Dietary Reference Values* – DRV), a obuhvataju: (1) prosečne potrebe (eng. *average requirements* - AR), (2) referentni unos za populaciju (eng. *the population reference intake* - PRI), (3) adekvatan unos (*adequate intake* - AI), (4) gornji nivo tolerancije unosa nutrijenata (eng. - *The Tolerable Upper Intake Level* - UL) (EFSA, 2017a). Preporuke *Instituta za medicinu* nose naziv Dijetetski Referentni Unos (eng. *Dietary Reference intake* – DRIs), a obuhvataju (1) procenjene prosečne potrebe (eng. *Estimate Average Requirements* - EAR), (2) preporučeni dodatak ishrani (eng. *The Recommended Dietary Allowance* - RDA), (3) adekvatan unos (*Adequate Intake* - AI), (4) gornji nivo tolerancije unosa nutrijenata (eng. - *The Tolerable Upper Intake Level* - UL) (Institute of Medicine, 2021).

Proučavanja elementarnog sastava voća, povrća i druge biljne hrane i doprinosa ove vrste hrane nutritivnim potrebama su od velikog značaja za obezbeđivanje izbalansirane ishrane i normalno funkcionisanje ljudskog tela svih pojedinaca, a posebno ljudi koji konzumiraju samo hranu biljnog porekla, tj. vegana i vegetarijanaca.

Preporučeni dnevni unos elemenata za odrasle i decu, i doprinos ovim preporukama kroz konzumiranje paprika dati su u Tabeli 4.4. i Tabeli 4.5. Doprinos konzumacije paprika preporučenim dnevnim potrebama elemenata izražen je kao procenat od preporučenog dnevnog unosa. Ovo istraživanje je ukazalo da plodovi paprike ne doprinose značajno preporučenom dnevnom unosu makro elemenata, sem u slučaju Na kod prerađenih proizvoda. Kod odraslih osoba, konzumacija paprike zadovoljava od 0,21 do 4,05% dnevnih potreba K, od 0,25 do 3,16% dnevnih potreba P, od 0,05 do 5,82% dnevnih potreba Ca, od 0,11 do 2,93% dnevnih potreba Mg i od 0,0035 do 38,3% dnevnih potreba Na. Kod dece doprinosi su imali još niže vrednosti u odnosu na doprinose kod odraslih osoba.

Tabela 4. 4. Preporučeni dnevni unos elemenata za odrasle i doprinos (%) preporučenom unosu kroz konzumaciju paprike

Preporučene vrednosti						
	SZO (WHO & FAO, 2004; WHO, 2012b, 2012a)	EFSA (EFSA, 2017a)	Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu (Institute of Medicine, 2021)	SZO	EFSA	Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu
	RNI mg/dan	AI/PRI/AR mg/dan	AI/RDA, EAR mg/dan	% EDI	% EDI	% EDI
K	3510	3500 ^a	3400 (muškarci) ^a 2600 (žene) ^a	0,21-3,00	0,21-3,01	0,22-3,09 0,29-4,05
P	-	550 ^a	700 ^b 580 ^c	-	0,18-3,33	0,15-2,61 0,18-3,16
Ca	1000	950 ^b 750 ^c	1000 ^b	0,035-4,37	0,04-4,60 0,05-5,82	0,035-4,37
Mg			420 (muškarci) ^b			0,11-1,54
	260 (muškarci) 220 (žene)	350 (muškarci) ^a 300 (žene) ^a	350 (muškarci) ^c 320 (žene) ^b 265 (žene) ^c	0,18-2,48 0,21-2,93	0,13-1,84 0,16-2,15	0,13-1,84 0,15-2,02 0,18-2,44
Na	<2000	2000 ^d	1500 ^a	0,0035-28,7	0,0035-28,7	0,005-38,3
Fe	9,1 (muškarci) [•] 19,6 (žene) [•]	11 (muškarci) ^b 6 (muškarci) ^c 16 (žene) ^b 7 (žene) ^c	8 (muškarci) ^b 6 (muškarci) ^c 18 (žene) ^b 8,1 (žene) ^c	0,19-1,55 0,09-0,72	0,16-1,28 0,29-2,35 0,11-0,88 0,25-2,02	0,22-1,76 0,29-2,35 0,10-0,78 0,21-1,74
Zn	14 (muškarci) [•] 9,8 (žene) [•]	11 (muškarci) ^{c*} 8,9 (žene) ^{c*}	11 (muškarci) ^b 8 (žene) ^b	0,04-3,41 0,05-3,30	0,05-2,94 0,06-3,64	0,05-2,94 0,06-4,05
Mn	-	3 ^a	2,3 (muškarci) ^a 1,8 (žene) ^a	-	0,12-2,60	0,16-3,40 0,20-4,34
Cu	-	1,6(muškarci) ^a 1,3 (žene) ^a	0,9 ^b 0,7 ^c	-	0,16-7,34 0,20-9,03	0,29- 13,1 0,37-16,8
Mo	-	0,065 ^a	0,045 ^b	-	0,12-11,0	0,17-15,8
Cr	-	-	0,035 (muškarci) ^a 0,025 (žene) ^a	-	-	0,13-8,27 0,18-11,6
Se	0,034 (muškarci) 0,026 (žene)	0,070 ^a	0,055 ^b	0,00-1,70 0,00-2,22	0,00-0,82	0,00-1,05

a- Adekvatan unos (AI)

b- Referentni unos za populaciju, potrebe 97,5% pojedinaca u populaciji (PRIs) dato od strane EFSA ili preporučeni dodatak ishrani (RDA), dijetetski unos koji zadovoljava nutritivne potrebe 97-98% zdravih odraslih ljudi dato od strane Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu

c- Prosečne potrebe (AR) date od strane EFSA ili procenjene prosečne potrebe (EAR) date od strane Instituta za medicinu

d- Bezbedan i adekvatan unos

* nivo unosa fitata 900 mg/day

• za 15% biodostupnosti Fe i Zn

Tabela 4. 5. Preporučeni dnevni unos elemenata za decu starosti 4-6 godina i doprinosi (%) preporučenom unosu kroz konzumaciju paprike

	Preporučene vrednosti					
	SZO	EFSA	Institut za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu	SZO	EFSA	Institut za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu
	RNI mg/dan	AI/PRI/AR mg/dan	AI/RDA, EAR mg/dan	EDI % od RNI	EDI % od AI/AR/PRI	EDI% od RDA/AI
K	2106*	1100 ^a	2300 ^a	0,14-2,00	0,27-3,83	0,13-1,83
P	-	440 ^a	500 ^b 405 ^c	-	0,09-1,66	0,08-1,46 0,1-1,81
Ca	600	800 ^b 680 ^c	1000 ^b	0,02-2,91	0,02-2,18 0,02-2,6	0,01-1,75
Mg	76	230 ^a	130 ^b 110 ^c	0,25-3,40	0,08-1,12	0,14-1,99 0,17-2,35
Na	1200*	1300 ^d	1000 ^a	0,002-19,1	0,002-17,7	0,003-23,0
Fe	4,2•	7 ^b 5 ^c	10 ^b 4,1 ^c	0,17-1,34	0,1-0,81 0,14-1,13	0,07-0,56 0,17-1,38
Zn	9,6•	5,5 ^b 4,6 ^c	5 ^b	0,02-1,35	0,04-2,35 0,04-2,81	0,04-2,59
Mn	-	1 ^a	1,5 ^a	-	0,15-3,12	0,1-2,08
Cu	-	1 ^a	0,44 ^b 0,34 ^c	-	0,10-4,70	0,24-10,7 0,31-13,8
Mo	-	0,020 ^a	0,022 ^b	-	0,15-14,2	0,14-13,0
Cr	-	-	0,015 ^a	-	-	0,12-7,73
Se	0,022	0,020 ^a	0,030 ^b	0,00-1,05	0,00-1,15	0,00-0,77

a- Adekvatan unos (AI)

b- Referentni unos za populaciju, potrebe 97,5% pojedinaca u populaciji (PRI) dato od strane EFSA ili preporučeni dodatak ishrani (RDA), dijetetski unos koji zadovoljava nutritivne potrebe 97-98% zdravih odraslih ljudi dato od strane Instituta za medicinu Američkog odbora za hranu i ishranu

c- Prosečne potrebe (AR) date od strane EFSA ili procenjene prosečne potrebe (EAR) date od strane Instituta za medicinu

d- Bezbedan i adekvatan unos

*Preporučene vrednosti za K i Na su snižene na osnovu energetske potrebe za decu u odnosu na odrasle na osnovu podataka datih od strane FAO/WHO (Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, 2001)

• za 15% biodostupnosti Fe i Zn

Od analiziranih uzoraka paprike, konzumacija sveže paprika najviše doprinosi preporučenim dnevnim unosima K, P i Mg, dok paprike u pavlaci najviše doprinele unosu Ca (vodi poreklo iz kisele pavlake). Prerađeni proizvodi od paprike – kisele paprike, paprike u pavlaci i paprika iz proizvoda punjena paprike značajnije doprinose preporučenom unosu Na (od 3,44 do 38,7%). Ovako visok sadržaj Na je posledica dodatka soli, a najveće koncentracije su bile u uzorku paprika iz proizvoda punjena paprika, gde konzumacija zadovoljava čak 38,7% preporučenih dnevnih potreba ovoga elementa. Iz ovoga razloga potrebno je obratiti posebnu pažnju prilikom konzumiranja industrijski prerađene hrane, posebno zbog činjenice da jedan proizvod nije i jedini obrok tokom dana, pa se veoma lako mogu prekoračiti preporučene vrednosti za Na. Konstantan prekomeran unos Na može dovesti do štetnih efekata po zdravlje (Brouillard et al., 2019). U pogledu mikro elemenata, konzumacija paprika ne doprinosi značano preporučenom dnevnom unosu Fe i Zn, dok određeni uzorci paprike mogu značajno doprineti unosu Cu, Cr i Mo. Unosu ova tri mikroelementa najviše doprinose sveži plodovi i kisele paprike.

4.1.1.6. Procena zdravstvenog rizika za toksične elemente u tragovima

Procena zdravstvenog rizika od toksičnih elemenata može se izvršiti na dva načina. Prvi se zasniva na određivanju ne-kancerogenog i kancerogenog rizika (Polak-Juszczak & Podolska, 2021), dok drugi podrazumeva izračunavanje procenjenog sedmičnog unosa (eng. *Estimated Weekly Intake*

- EWI) i upoređivanje ove vrednosti sa privremenim podnošljivim sedmičnim unosom (eng. *Provisional Tolerable Weekly Intake* - PTWI) datim od strane Zajedničkog FAO/WHO Komiteta za kontaminante u hrani (Liang et al., 2019).

Procene zdravstvenog rizika usled konzumacije hrane su od velikog značaja zbog sve većeg zagađenja životne sredine, i činjenice da se namirnice uvoze iz svih delova sveta. Kada je u pitanju procena zdravstvenog rizika koji potiče od teških metala kroz konzumaciju hrane većina dosadašnjih studija se bavila istraživanjima vezanim za morsku hranu (Nekhoroshkov et al., 2021; Polak-Juszczak & Podolska, 2021), žitarice (Corguinha et al., 2015), pečurke (Nowakowski et al., 2021) itd. Sa druge strane, kada se radi o ispitivanjima zdravstvenog rizika vezanog za konzumaciju povrća, istraživanja se uglavnom odnose na uzorke gajene na posebnim poljoprivrednim površinama ili industrijskim oblastima (Li et al., 2018; Proshad et al., 2020). Manji broj naučnika se bavio procenom zdravstvenog rizika koji je u vezi sa konzumacijom povrća dostupnog u marketima, a koje vodi poreklo sa različitih područja, gajeno je pod različitim uslovima i prošlo je različite vrste predtretmana.

4.1.1.6.1. Procenjeni sedmični i dnevni unos

Na osnovu podataka o prosečnoj potrošnji paprike u Srbiji tokom 2019 (Republički zavod za statistiku, 2020a) i izmerenih koncentracija elemenata u uzorcima paprike izračunati su procenjeni sedmični unosi (EWI) Al, Hg i Cd i procenjeni dnevni unosi (EDI) Pb i As. Proračuni su urađeni za prosečnu odraslu osobu od 70 kg i dete od 15 kg. Vrednosti procenjenih sedmičnih unosa su upoređene sa PTWI vrednostima (Tabela 4.6.) i date kao procenat (%) od PTWI, dok su vrednosti procenjenih dnevnih unosa upoređene sa odgovarajućim BMDL vrednostima. Granične vrednosti PTWI, odnosno privremeni podnošljivi nedeljni unos, su preporučene od strane JECFA za kontaminante koji se mogu akumulirati u telu i predstavljaju dozvoljenu nedeljnu izloženost teškim metalima za ljude. Granična vrednost BMDL, odnosno donja granica referentne doze, predstavlja donju granicu referentne doze (BMD) za unapred određeni nivo odgovora (referentni nivo – BMR), kao što je incidencija efekta od 5 ili 10% (JECFA, 2018). Za procenu zdravstvenog rizika koji potiče od Pb i As nisu korišćeni procenjeni sedmični unosi, pošto su JECFA i EFSA povukle prethodno ustanovljene PTWI vrednosti za ova dva elementa (Pb 0,025 mg/kg telesne mase; As - 0,015 mg/kg telesne mase).

Tabela 4. 6. Procenjeni sedmični unos toksičnih elemenata kroz konzumaciju paprike i njihov doprinos (%) PTWI vrednostima

Element	PTWI (mg/kg tm)	Odrasli		Deca	
		EWI (mg/kg tm)	% PTWI	EWI (mg/kg tm)	% PTWI
Al	2,00	0,004	0,19	0,01	0,52
Hg	0,004	$3,0 \times 10^{-7}$	0,01	5×10^{-7}	0,01
Cd	0,007	$1,5 \times 10^{-5}$	0,22	5×10^{-5}	0,75

Dobijeni rezultati ukazuju da paprike ne predstavljaju zdravstveni rizik u pogledu procenjenog sedmičnog unosa Al, Hg i Cd, pošto unos ovih elemenata doprinosi manje od 1% ustanovljenim PTWI vrednostima. Konzumacija paprika takođe ne predstavlja zdravstveni rizik na osnovu prosečnog dnevnog unosa Pb i As. Prosečne EDI vrednosti za Pb bile su 0,012 µg/kg tm/dan i 0,023 µg/kg tm/dan, za decu i odrasle, respektivno, što je ispod najnižih referentnih vrednosti ustanovljenih od strane EFSA - BMDL₁₀ (Pb)= 0,63 µg/kg tm/dan (EFSA, 2012). Sa druge strane, 2 od 9 uzoraka sveže paprike (zelena paprika iz Grčke i zeleni čili iz Srbije) su imali viši sadržaj Pb od 0,05 mg/kg - maksimalna doza koju preporučuje JECFA za plodonošno povrće (JECFA, 2018).

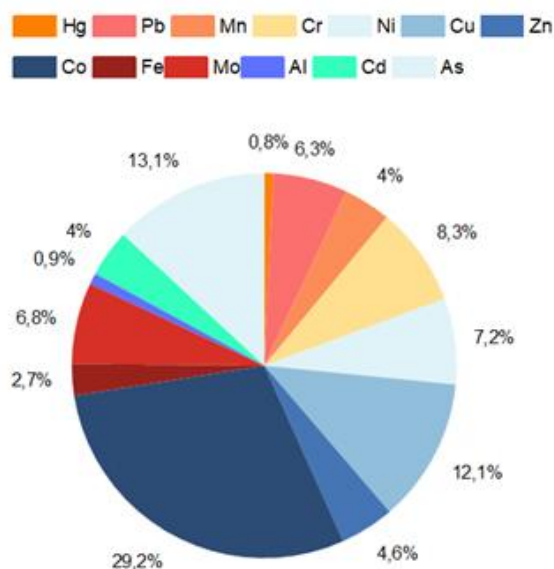
Konzumacija paprike i proizvoda od paprike je bezbedna i u pogledu unosa As, kako za decu, tako i za odrasle. Ako se pretpostavi da je ukupan As neorganski (Rajaković et al., 2013), prosečan procenjeni unos As bio je 0,00254 µg/kg tm/dan i 0,00474 µg/kg tm/dan za odrasle i decu,

respektivno ($BMDL_{01}$ za As se kreće od 0,3 to 8 $\mu\text{g}/\text{kg tm}/\text{dan}$ (EFSA, 2009) i $BMDL_{0,5} = 3,0 \mu\text{g}/\text{kg tm}/\text{dan}$ (JECFA, 2018)).

4.1.1.6.2. Ne-kancerogeni rizik

Rezultati koji se odnose na ne-karcinogeni rizik, odnosno srednje, maksimalne i minimalne vrednosti koeficijenta ciljane opasnosti (eng. *target hazard quotient - THQ*) za 13 posmatranih elemenata (Hg, Pb, Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, Co, Fe, Mo, Al, Cd i As) dati su u Tabeli P1. u prilogu, dok je grafički prikaz učešća pojedinačnih elemenata u ukupnom ne-karcinogenom riziku dat na Slici 4.3. Za sve ispitivane elemente koeficijenti ciljane opasnosti su imali niske vrednosti od 0,00004 do 0,0599 za odrasle i od 0,0004 do 0,1118 za decu. Vrednosti niže od 1 ukazuje na odsustvo zdravstvenog rizika.

Da bi se odredio ukupan ne-kancerogeni rizik usled prisustva svih 13 elemenata izračunat je ukupan koeficijent ciljane opasnosti (eng. *total target hazard quotient - TTHQ*) za pojedinačne proizvode (Tabela P1. i Tabela P2., vidi ispod). Na osnovu dobijenih vrednosti ustanovljeno je da su paprike i proizvodi od paprika bezbedni za ljudsku ishranu. Vrednosti TTHQ su se kretale od 0,01 do 0,15 za odrasle i od 0,02 do 0,27 za decu. Najviša vrednost ukupnog koeficijenta ciljane opasnosti zabeležena je kod žute babure sa povećanim sadržajem As (0,853 $\mu\text{g}/100 \text{ g}$ sveže mase) u odnosu na ostale uzorke.

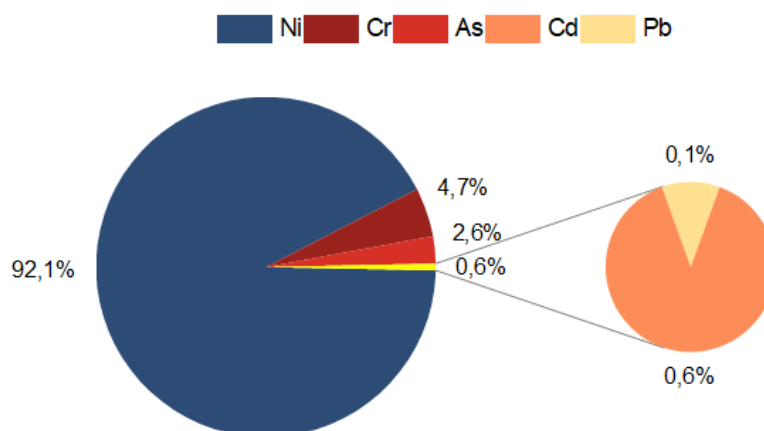


Slika 4. 3. Učešće pojedinačnih elemenata u ukupnom ne-karcinogenom riziku na osnovu srednjih vrednosti THQ, za decu i odrasle

4.1.1.6.3. Kancerogeni rizik

Kancerogeni rizik je određen za Pb, Cr, Ni, Cd i As. U Tabeli P2. i Tabeli P3. (vidi ispod) nalaze se rezultati srednjih, maksimalnih i minimalnih vrednosti kancerogenog rizika (carcinogenic risk – CR) i kancerogenog rizika svih elemenata (eng. *incremental life carcinogenic risk - ILCR*). Na Slici 4.4. prikazano je učešće pojedinačnih elemenata u ukupnom kancerogenom riziku. Srednje vrednosti kancerogenog rizika za Pb i Cd kod odraslih i As kod dece su bile niže od 10^{-6} , što ukazuje da je rizik neznatan, srednje vrednosti kancerogenog rizika za Cr, Ni i As kod odraslih i Cr i Ni kod dece su bile između 10^{-6} i 10^{-4} što ukazuje da su vrednosti još uvek prihvatljive. Mada srednje vrednosti kancerogenog rizika ukazuju da nema opasnosti, pojedinačne vrednosti kod tri uzorka su bile više od 10^{-4} za Ni, što ih čini potencijalno nebezbednim za konzumiranje.

Slično i kod kancerogenog rizika koji objedinjuje sve posmatrane elemente, srednje vrednosti ILCR su bile niže od 1×10^{-4} , međutim za odrasle osobe 1 uzorka paprike su imale ILCR vrednost višu od 1×10^{-4} , što ukazuje na potencijalni kancerogeni rizik, dok je za decu 3 uzorak imao ILCR vrednost višu od 1×10^{-4} . Potencijalno rizični uzorci su bili 3 uzorka zelene paprike za odrasle osobe i 1 uzorak – svetlo zelena babura za decu.



Slika 4. 4. Učešće pojedinačnih elemenata u ukupnom kancerogenom riziku na osnovu srednjih vrednosti kancerogenog rizika (CR), za decu i odrasle

4.1.2. Izluživanje elemenata iz konzumne paprika tokom predtretmana

U cilju ispitivanja uticaja različitih predtretmana na gubitak elemenata tokom procesa prerade plodova paprike primenjena je vodena i ekstrakcija sirćetnom kiselinom. Ova dva rastvarača su odabrana na osnovu njihove najčešće primene tokom prerade plodova (Maffei et al., 2016; Po et al., 2018; Zhao et al., 2019). Tokom svih ekstrakcija primenjen je ultrazvuk da bi se simulirali maksimalni gubici, pri čemu je vodena ekstrakcija urađena za sva tri stepena zrelosti, a sirćetna ekstrakcija samo za crvene zrele plodove (najčešće se koriste za proizvodnju kisele paprike). Za ekstrakciju su primenjene temperature od 20 do 70°C i vreme ekstrakcije od 10 do 30 minuta u cilju simuliranja uslova pranja, blanširanja, pasterizacije i perioda skladištenja proizvoda. Koncentracije sirćetne kiseline bile su u skladu sa najčešće korišćenim koncentracijama za proizvodnju kisele paprike (Adams, 2014; Mas et al., 2015).

Kada je u pitanju izluživanje elemenata iz hrane, naučnici su uglavnom istraživali uklanjanje teških metala, posebno As tokom predtretmana i prerade hrane. Sa druge strane mali je broj radova u kojima je ispitivano izluživanje esencijalnih elemenata tokom prerade riba, pečuraka, pirinča i znatno manji broj tokom prerade povrća (Hosseini et al., 2014; Korus, 2021; Liu et al., 2020; Sharafi et al., 2019).

4.1.2.1. Vodena ekstrakcija podpomognuta ultrazvukom

U Tabeli 4.7. date su regresione jednačine i koeficijenti korelacije (R^2) za izluživanje elemenata tokom vodene ekstrakcije. Eksperimenti su izvedeni prema Box-Behnken dizajnu, prikazanom u Tabeli 3.2. Istraživanja su vršena sa paprikom čiji je elementarni sastav prikazan u Tabeli 4.3. Tokom vodene ekstrakcije potpomognute ultrazvukom, ni kod jednog stepena zrelosti plodova u ekstrakcionom rastvoru nisu detektovani Hg, As, Se i Al, dok u slučaju zrelih crvenih plodova nije došlo ni do izluživanja Mo i Cu. Na Slici 4.5., Slici 4.6. i Slici 4.7. prikazani su dijagrami odgovora površina samo za neke elemente, dok su za ostale elemente dijagrami dati u prilogu (P1).

Tabela 4. 7. Polinomne jednačine drugog reda i korelacioni koeficijenti vodene ekstrakcije elemenata iz plodova paprike

Element		R^2 (%)
<i>Zrela zelena paprika</i>		
K	$y = 130,6 + 2,18 * T - 14,8 * m/V - 0,017 * (T)^2 + 0,83 * (m/V)^2 + \varepsilon$	94,71
Mg	$y = 6,28 + 0,22 * T + 0,066 * (m/V)^2 + \varepsilon$	87,64
Mo	$y = -156,2 - 2,55 * (m/V)^2 + \varepsilon$	90,65
Cr	$y = 5,06 - 0,27 * T + \varepsilon$	85,77
Fe	$y = -169,8 + 0,087 * (T)^2 - 0,22 * t * T - 0,45 * t * m/V + \varepsilon$	84,32
Cu	$y = 504,9 + 0,28 * (T)^2 - 5,11 * (m/V)^2 + \varepsilon$	88,86
Zn	$y = 118,4 + 0,11 * (T)^2 + \varepsilon$	79,70
Ni	$y = 30,7 - 1,40 * T + 0,013 * (T)^2 + \varepsilon$	88,84
Cd	$y = 0,44 - 0,029 * T + \varepsilon$	78,88
<i>Poluzrela paprika</i>		
K	$y = 212,7 - 9,02 * m/V + \varepsilon$	85,97
Na	$y = 3,75 + 0,36 * m/V + \varepsilon$	79,74
Mo	$y = -172,7 - 2,52 * (m/V)^2 + \varepsilon$	82,94
Cu	$y = -65,9 + 0,15 * t + \varepsilon$	73,84
<i>Zrela crvena paprika</i>		
K	$y = 284,0 - 20,1 * m/V + 1,28 * (m/V)^2 + \varepsilon$	79,59
Fe	$y = 10,12 + 13,1 * t - 2,75 * T - 0,0068 * t * T + \varepsilon$	88,16
Mn	$y = 36,3 + 3,01 * t + \varepsilon$	77,44

Do gubitka elemenata može doći tokom različitih faza pripreme hrane, zbog njihove rastvorljivosti, koja postaje još izraženija sa zagrevanjem (Barciela-Alonso & Bermejo-Barrera, 2015). Zapaženo je da se K znatno izlučuje tokom procesa pranja, blanširanja, kuvanja upravo zbog visoke rastvorljivosti i pokretljivosti, dok su gubici Ca i Mg manji, jer se često nalaze u vezanom obliku, što otežava njihovu ekstrakciju (Puupponen-Pimiä et al., 2003). Do značajnog gubitka minerala dolazi tokom kuvanja povrća (Kimura & Itokawa, 1990).

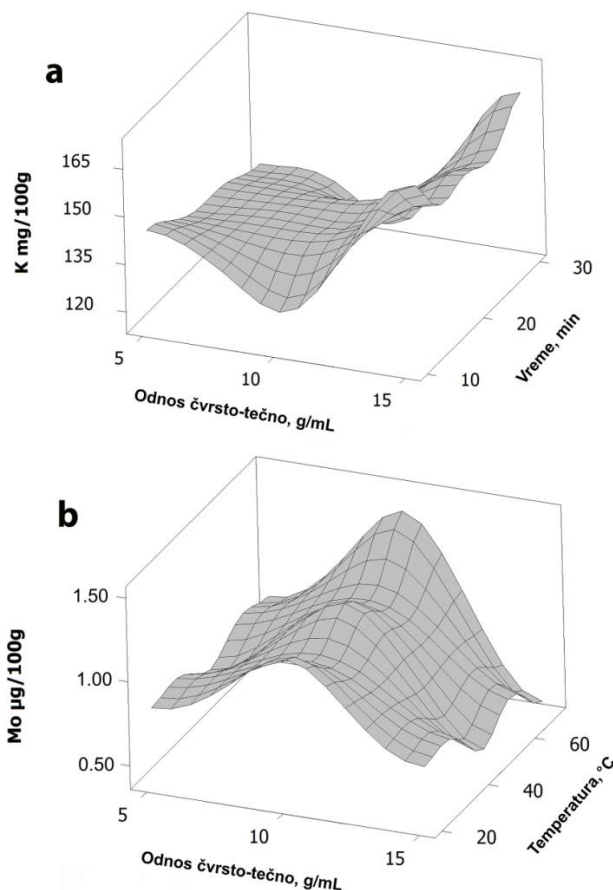
Tokom vodene ekstrakcije do najvećeg gubitka minerala je došlo kod zrelih zelenih plodova. Kod ovog tipa plodova uočen je najviši stepen korelacije između ekstrakcionih uslova i koncentracije elemenata u dobijenim ekstraktima. Pored toga, korelacija za većinu elemenata je utvrđena za ekstrakte kod ovoga stepena zrelosti. U ekstraktima zrele zelene paprike detektovani su sledeći elementi: K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, Mo, Mn, B, Ni, Cr, Li, Cd i Pb. Ekstrakcija K je bila visoko korelisana sa eksperimentalnim uslovima ($R^2=94,7\%$), a zavisila je od temperature i odnosa čvrste i tečne faze. Na Slici 4.5.a dat je dijagram odgovora površina koji prikazuje ekstrakciju K iz zrelih zelenih plodova u funkciji od vremena ekstrakcije i odnosa čvrste i tečne faze. Sa ovoga dijagrama se primećuje da ekstrakcija K raste sa povećanjem udela tečne faze za sva ispitivana vremena dejstva ultrazvuka. Ekstrakcija K se takođe povećava i sa povećanjem temperature.

Na osnovu Slike 4.5.b primećuje se da ekstrakcija Mo zavisi od odnosa čvrste i tečne faze, pri čemu se najviše ekstrahovanje postiže pri odnosu 1:10 g/mL. U slučaju zrele zelene paprike vodena ekstrakcija Mg i Cu zavisi od temperature i kvadrata odnosa čvrsto i tečne faze (Tabela 4.7.). Najveće izluživanje Mg se javlja pri odnosu čvrste i tečne faze 1:5 g/mL i temperaturi 60 °C (Slika P1.a, vidi ispod). Ekstrakcija Cu je bila uslovljena kvadratom temperature i kvadratom odnosa čvrsto i tečne faze. Na osnovu toga zaključeno je da je poželjnije da se ekstrakcija odvija pri temperaturama nižim od 40 °C, pri svim odnosima čvrste i tečne faze, da bi se sprečio gubitak Cu (Slika P1.b, vidi ispod).

Na ekstrakciju Cr, Zn, Ni i Cd najviše je uticala temperatura ekstrakcije, gde više temperature dovode do većeg izluživanja Cr, Ni i Cd (Slika P1.c, Slika P1.d, Slika P1.e, vidi ispod).

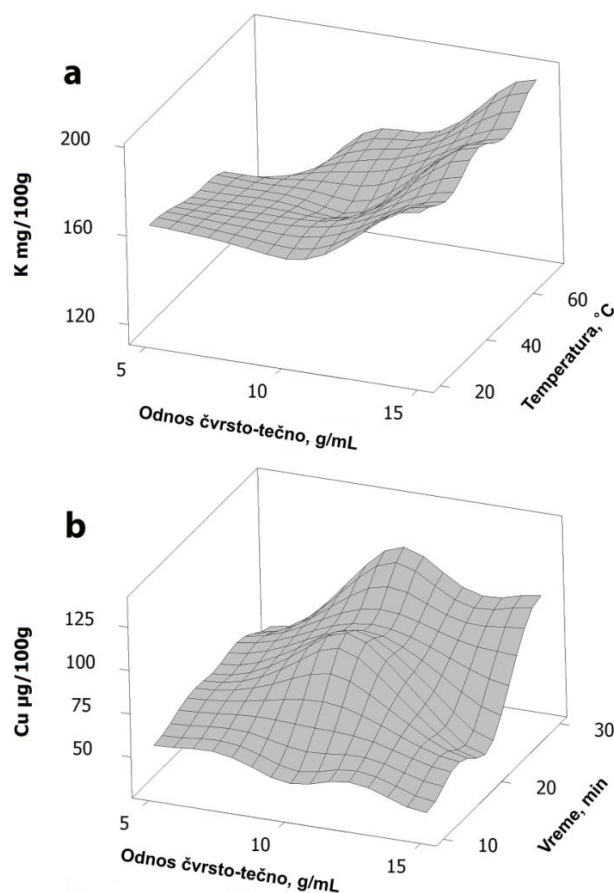
Temperatura takođe ima veliki uticaj na ekstrakciju Zn, a minimalni gubici se ostvaruju na temperaturi 40 °C (Slika P1.f, vidi ispod). Ekstrakcija Fe je uslovljena sa tri ispitivana faktora (vreme, temperatura i odnos čvrste i tečne faze). Kod zrelih zelenih plodova, ekstrakcija Fe osim kvadrata temperature zavisi i od interakcije između temperature i odnosa čvrste i tečne faze, gde interakcije negativno utiču na izluživanje.

Kod zrelih zelenih plodova ekstrakcija Mn, B, Li i Pb nije bila kolerisana sa ispitivanim parametrima.



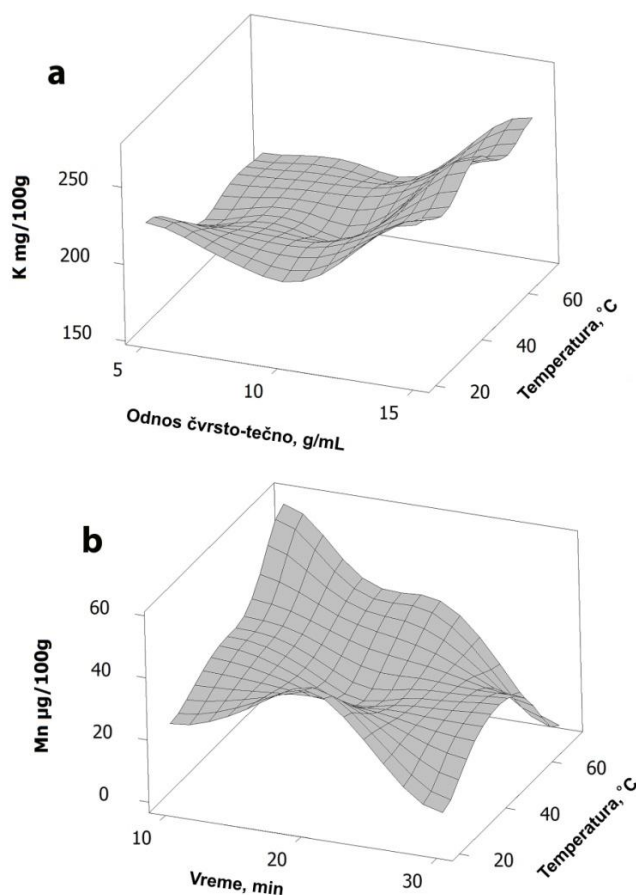
Slika 4. 5. Dijagrami odgovora površina za vodenu ekstrakciju zrele zelene paprike: a) ekstrakcija K u funkciji odnosa čvrsto-tečno i vremena ekstrakcije; b) ekstrakcija Mo u funkciji ekstrakcione temperature i odnosa čvrsto-tečno

Kod poluzrele paprike došlo je do ekstrakcije sledećih elemenata: K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, Mo, Mn, B, Ni, Cr, Li, Cd i Pb. Korelacija je uočena između ekstrakcionih uslova i koncentracije K, Na, Mo i Cu. Na Slici 4.6.a prikazan je dijagram odgovora površina ekstrakcije K u funkciji odnosa čvrsto-tečno i temperature ekstrakcije. Na osnovu ovoga dijagrama može se zaključiti da se ekstrakcija K iz poluzrelih plodova paprike povećava sa porastom odnosa čvrsto-tečno za sve ekstrakcione temperature. Ovaj dijagram je sličan dijagramu ekstrakcije Na. Ekstrakcija Cu iz poluzrelih plodova prikazana je na Slici 4.6.b. Prikazani dijagram, kao i regresiona jednačina za ekstrakciju Cu (Tabela 4.7.) ukazuju da se gupitak Cu povećava sa produžetkom vremena ekstrakcije. Ekstrakcija Mo iz poluzrelih plodova je bila uslovljena odnosom čvrsto-tečno, gde najveći gubici nastaju pri odnosu 1:10 g/mL. Slika 4.5.b koja prikazuje ekstrakciju Mo iz zrele zelene paprike je slična ekstrakciji Mo iz poluzrelih plodova.



Slika 4. 6. Dijagrami odgovora površina za vodenu ekstrakciju poluzrele paprike: a) ekstrakcija K u funkciji temperature i odnosa čvrsto-tečno; b) ekstrakcija Cu u funkciji odnosa čvrsto-tečno i vremena ekstrakcije

U ekstraktima dobijenim tokom ekstrakcije zrelih crvenih plodova paprike, detektovani su sledeći elementi: K, Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Mn, B, Ni, Cr, Li, Cd i Pb. Korelacija je postojala između ekstrakcionih uslova i koncentracije K, Fe i Mn. Na Slici 4.7.a dat je dijagram odgovora površina za ekstrakciju K, koja je dosta slična ekstrakciji K iz poluzrele paprike (Slika 4.6.a). Ekstrakcija K je bila uslovljena odnosom čvrsto-tečno i kvadratom ovog odnosa. Slično kao i kod poluzrele paprike, i u ovome slučaju izluživanje K se povećavalo sa povećanjem kvadrata odnosa čvrste i tečne faze. Sa Slike 4.7.b vidi se da vreme ekstrakcije negativno utiče na izluživanje Mn. Što se tiče ekstrakcije Fe, izluživanje ovoga mikroelemeneta iz zrelih plodova je bilo uslovljeno vremenom, temperaturom i interakcijom ova dva parametra. Duže vreme ekstrakcije doprinosi višim gubicima Fe, dok više temperature i interakcija vremena i temperature se negativno odražavaju na ekstrahovanje Fe (Tabela 4.7.).



Slika 4. 7. Dijagrami odgovora površina kod vodene ekstrakcije zrelih crvenih plodova: a) ekstrakcija K u funkciji temperature i odnosa čvrsto-tečno; b) ekstrakcija Mn u funkciji temperature i vremena ekstrakcije

Ako se posmatraju uslovi kada dolazi do najvišeg izluživanja toksičnih elemenata Cd i Ni, iz zrele zelene paprike, tj. pri niskim temperaturama ekstrakcije (20 °C), uočava se da pri istim uslovima dolazi i do najvišeg gubitka esencijalnih elemenata Zn, Fe, Cu i Cr. Sa druge strane, niže temperature ekstrakcije pozitivno utiču na očuvanje makroelemenata K i Mg. Ekstrakcija Pb za sva tri stepena zrelosti, Ni i Cd za poluzrelu i zrelu crvenu papriku nije uslovljena ni jednim od ispitivanih parametara. Manji gubici minerala iz zrelih crvenih i poluzrelih plodova, koji se najviše upotrebljavaju u preradi, može se postići kroz smanjenje kontakta sa vodom, kao i smanjivanjem odnosa čvrsto-tečno, tj. zapremine vode sa kojom plodovi dolaze u kontakt. Kraće vreme ekstrakcije se bolje odrazilo na očuvanje Fe i Mn kod zrelih crvenih paprika i Cu kod poluzrelih plodova. Manji sadržaj tečne faze pozitivno utiče na očuvanje Na kod poluzrele i K kod zrele crvene paprike.

4.1.2.2. Ekstrakcija sirćetnom kiselinom podpomognuta ultrazvukom

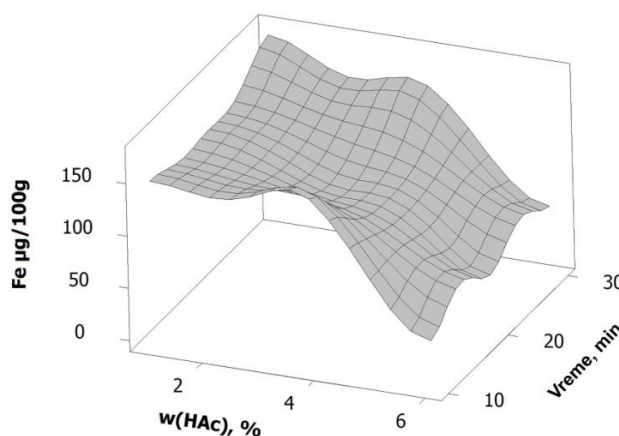
U Tabeli 4.8. date su regresione jednačine i regresioni koeficijenti za izluživanje elemenata tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom iz zrelih crvenih plodova. Pored vodene ekstrakcije, sirćetna kiselina je izabrana za ispitivanje izluživanja elemenata pošto se sirće upotrebljava za proizvodnju kiselog povrća ili soseva, a često i kao začim (Mas et al., 2015). U ekstraktima dobijenim tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom detektovani su sledeći elementi: K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Al, Ni, B, Li, Cr, Se, Hg, Pb, Cd i As. Korelacija je uočena između ekstrakcionih uslova i koncentracije Al, B, Fe i Mn. Dijagram odgovora površina za ekstrakciju Fe u funkciji masene koncentracije sirćetne kiseline i vremena ekstrakcije dat je na Slici 4.8. U dobijenim ekstraktima koncentracije Mo i Cu su bile ispod detekcionog limita korišćene metode, dok je Cr detektovan u 5 od 15 eksperimenata.

Visoke vrednosti regresionih koeficijenata (R^2) za Al, Fe i Mn ukazuju na visok stepen korelacije između dobijenih koncentracija i ispitivanih faktora tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom (96,85%; 92,35%; 93,17%, respektivno). Zadovoljavajući koeficijent regresije je dobijen kod ekstrakcije bora. Regresione jednačine date u Tabeli 4.8. ukazuju da je izluživanje elemenata tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom najviše uslovljeno koncentracijom sirćetne kiseline.

Tabela 4. 8. Polinomne jednačine drugog reda i korelacioni koeficijenti za ekstrakciju sirćetnom kiselinom

Element	R^2 (%)
<i>Zrela crvena paprika</i>	
Al $y = 99,34 + 6,08 * \omega - 4,75 * t - 1,19 * (\omega)^2 + 0,13 * (t)^2 - 0,37 * \omega * t + 0,035 * t * T + \varepsilon$	96,85
B $y = 21,18 + 3,27 * \omega + \varepsilon$	84,76
Fe $y = 337,5 + 5,53 * \omega - 5,30 * (\omega)^2 + 0,33 * (t)^2 + \varepsilon$	92,35
Mn $y = 90,1 + 5,74 * \omega - 1,32 * (\omega)^2 + 0,085 * (t)^2 + 0,01 * (T)^2 + \varepsilon$	93,17

Sa Slike 4.8. se vidi da koncentracija Fe u ekstraktima opada sa povećanjem koncentracije sirćetne kiseline. Ovaj dijagram odgovora površina je istovremeno i reprezentativni dijagram ekstrakcije Al, B i Mn. Ekstrakcija Al se takođe povećava sa vremenom ekstrakovanja (Slika P2.a, vidi ispod), dok ekstrakcija Mn zavisi i od ekstrakcione temperature.



Slika 4. 8. Dijagram odgovora površina za ekstrakciju sirćetnom kiselinom zrele crvene paprike, ekstrakcija Fe u funkciji koncentracije sirćetne kiseline i vremena ekstrakcije

Poređenjem rezultata dobijenih tokom vodene i sirćetne ekstrakcije ustanovljeno je da oba rastvarača ekstrahuju sve ispitivane makroelemente (K, Na, Mg i Ca), pri čemu voda bolje ekstrahuje K, Na i Mg. Ekstrakcija Ca je bila slična za oba rastvarača, gde su se ekstrahovane koncentracije kretale od 4,12 do 10,16 mg/100 g sveže paprike (prosek 6,37 mg/100 g) kod ekstrakcije sirćetnom kiselinom, i od 3,79 do 9,97 mg/100 g sveže paprike (prosek 6,52 mg/100 g) u slučaju vodene ekstrakcije. Olovo je ekstrahovano sa oba rastvarača, dok su Al, Hg i As ekstrahovani samo tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom. Toksični elementi (Hg, Cd, Pb, Al, Ni i As) su u većoj meri ekstrahovani rastvorom sirćetne kiseline. Prisustvo Al u sirćetnim rastvorima je posledica više rastvorljivosti Al pri nižim pH vrednostima, što može biti od značaja s obzirom na toksična svojstva Al na nervni i reproduktivni sistem (Liang et al., 2019). Sirćetni ekstrakti su imali znatno više koncentracije Fe, i znatno niže koncentracije B i Ni u poređenju sa vodenim ekstraktima. Najviša koncentracija Fe u sirćetnim ekstraktima predstavlja 76,8% ukupnog Fe (određeno F-AAS metodom), dok je najviša koncentracija Fe u vodenim ekstraktima 32,5% ukupnog Fe. Bolje izluživanje Fe tokom ekstrakcije sirćetnom kiselinom objašnjava se boljom

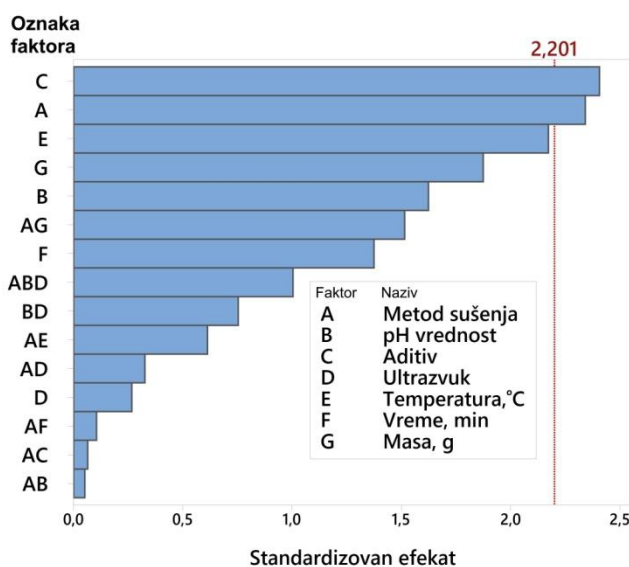
rastvorljivošću feri oblika (Fe^{3+}) u sirćetnom rastvoru, a koji je najzastupljeniji oblik Fe u biljkama (Scheers et al., 2016). Sa druge strane, bolje izluživanje B, Pb i Ni je ostvareno tokom vodene ekstrakcije. Tokom vodene ekstrakcije došlo je do izluživanja esencijalnih elemenata Mo i Cu iz zelenih i poluzrelih plodova, dok isti elementi nisu izluženi iz crvenih plodova ni tokom vodene ni tokom sirćetne ekstrakcije.

4.1.3. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj elemenata u plodu začinske paprike

Analizom elementarnog sastava uzoraka sušene začinske paprike, pripremljenih po eksperimentalnom dizajnu prikazanom u Tabeli 3.6., ustanovljeno je da različiti faktori i njihove interakcije utiču na sadržaj većine posmatranih elemenata. Izuzetak su elementi Mg i Mn, za koje nije ustanovljeno postojanje statistički značajnog uticaja ispitivanih faktora (vreme predtretmana, temperatura predtretmana, pH vrednost rastvora za predtretman, primenjeni aditiv, primena ultrazvuka tokom predtretmana, masa tretiranog uzorka pri konstantnoj zapremini rastvora i metod sušenja) na koncentraciju ovih elemenata.

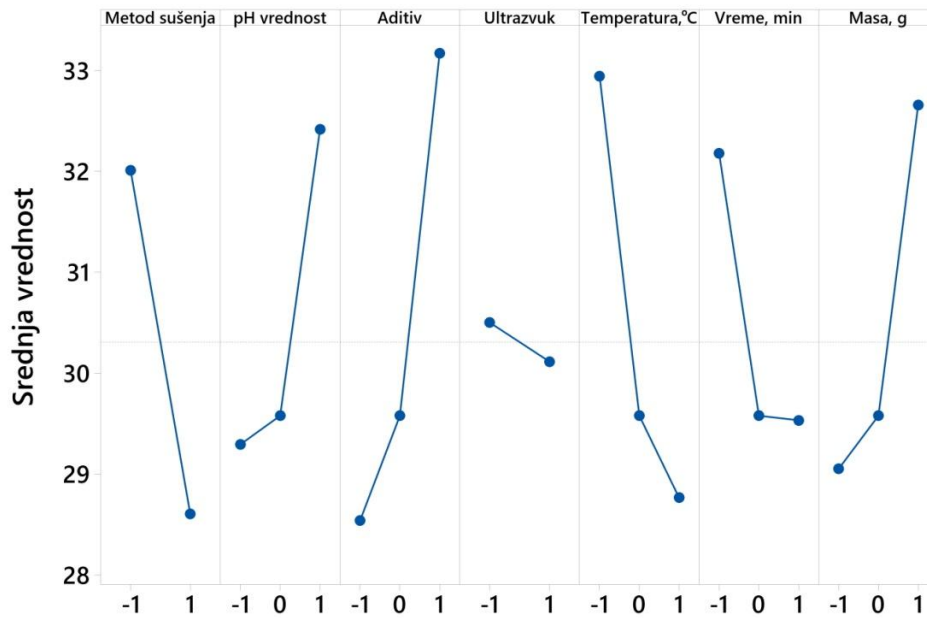
Od svih posmatranih faktora, najveći uticaj na sadržaj elemenata imala je metoda sušenja. Tumačenjem Pareto grafikona i dijagrama glavnih efekata dobijenih za pojedinačne elemente, ustanovljeno je da klasično sušenje, u odnosu na liofilizaciju, doprinosi boljem očuvanju K, Ca, Na, P, Fe, Zn, Cu, Co i Cr. Na sadržaj Ca, Cu i Zn statistički značajan uticaj imao je samo metod sušenja.

Vrsta primenjenog aditiva je uticala na sadržaj Fe, K, Na i Mo. Viši sadržaj Fe, K i Mo kod sušene začinske paprike se postiže primenom predtretmana sa kalijum-metabisulfitom, dok je za viši sadržaj Na bio bolji predtretman sa smešom limunske kiseline i kalijum-metabisulfita. Povećan sadržaj K vodi poreklo iz primenjenog aditiva, dok se povišen sadržaj Na kod predtretmana sa smešom objašnjava upotrebom NaOH za regulaciju pH vrednosti rastvora za predtretman. Više temperature predtretmana doprinele su višim gubicima svih elemenata, a najveći uticaj se odrazio na sadržaj Cr, K i P. Na Slici 4.9. dat je Pareto dijagram uticaja različitih faktora na sadržaj K u sušenoj začinskoj paprici. Sa ovoga grafikona se može primetiti da statistički značaj na sadržaj K imaju primenjeni aditiv, metod sušenja, dok temperatura predtretmana ima veliki uticaj, mada on nije statistički značajan.



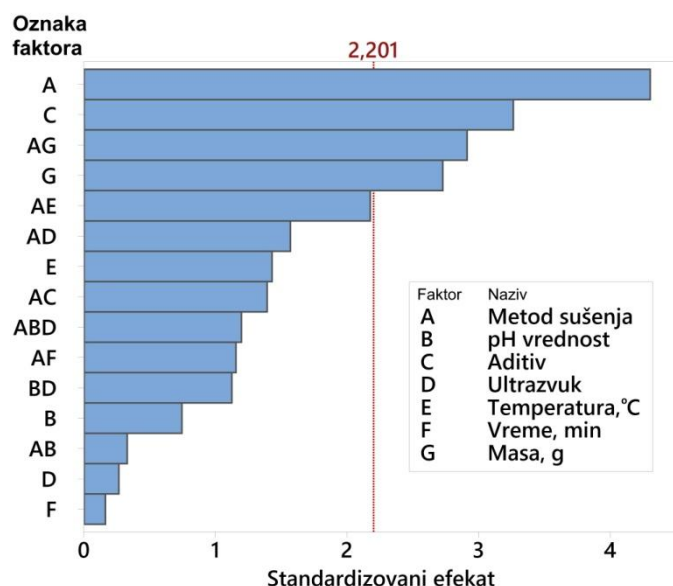
Slika 4. 9. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj K u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)

Na Slici 4.10. dat je dijagram glavnih efekata, sa koga se može videti na koji način pomenuti faktori utiču na sadržaj K u plodovima sušene začinske paprike. Više koncentracije K u osušenoj paprici postižu se nakon primene kalijum-metabisulfita za predtretman, primenom nižih temperatura predtretmana i sušenjem klasičnim postupkom u tunelskoj sušari. Mada brojna istraživanja ukazuju na bolje očuvanje nutrijenata postupkom liofilizacije, ovde to nije bio slučaj za mineralni sastav. Niži sadržaj K, ali i drugih elemenata u liofilizovanim uzorcima je verovatno posledica toga što su uzorci zamrznuti odmah posle predtretmana. Usled izdvajanja viška tečnosti, došlo je do formiranja kristala leda izvan ploda, a samim tim i do većeg gubitka minerala.

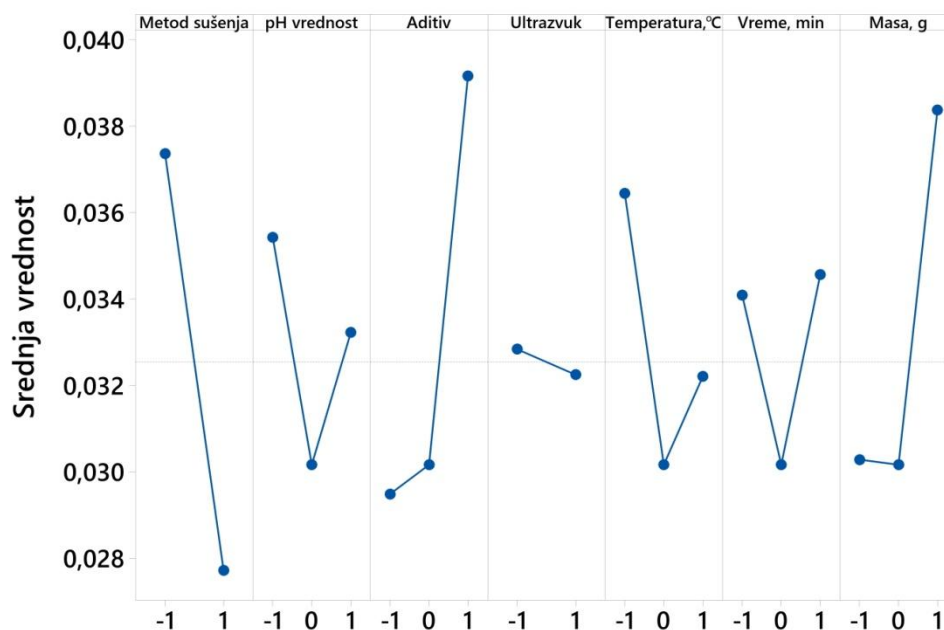


Slika 4. 10. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih faktora na sadržaj K u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)

Ostali parametri su takođe imali uticaj na sadržaj minerala u sušenoj začinskoj paprici. Duže vreme predtretmana je doprinelo višem izluživanju većine elemenata, pri čemu je statistički značaj ovog faktora zabeležen kod Na. Veća masa tretiranog uzorka, pri konstantnoj zapremini rastvora, obezbedila je manji gubitak većine elemenata, a to se posebno odrazilo na sadržaj Cr, Co i Fe. Na Slici 4.11. prikazan je Pareto dijagram uticaja različitih faktora na sadržaj Fe u plodovima sušene začinske paprike, dok je na Slici 4.12. prikazan dijagram glavnih efekata koji bliže objašnjava uticaj ovih faktora. Sa ovih dijagrama se može uočiti da su kao i slučaju K statistički značajni faktori sušenje, primenjeni aditiv, gde statistički značajan uticaj ima i masa tretiranog uzorka i interakcija ovog parametra sa postupkom sušenja.



Slika 4. 11. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj Fe u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)



Slika 4. 12. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih faktora na sadržaj Fe u plodu sušene začinske paprike (odgovor mg/g s.m., $\alpha = 0,05$)

Uticaj ultrazvuka i pH vrednosti se ispoljio kroz interakciju ova dva parametra sa drugim faktorima. Tako je na primer na sadržaj P statistički značaj imao metod sušenja, ali i interakcija sušenje-pH-ultrazvuk i interakcija sušenje-temperatura predtretmana.

Toksični elementi Pb i Hg nisu detektovani u osušenim uzorcima začinske paprike. Potencijalno toksični Al je izlužen u većoj meri prilikom tretiranja manje količine uzorka, dok se više izluživanje Cd postiže pri višim temperaturama predtretmana, višim pH vrednostima, manjoj količini tretiranog uzorka, kraćem vremenu predtretmana i sušenjem postupkom liofilizacije.

4.2. UTICAJ PREDTRETMANA I SUŠENJA NA ANTIOKSIDATIVNA SVOJSTVA PAPRIKE

4.2.1. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj L-askorbinske kiseline

4.2.1.1. Sadržaj vitamina C u svežim plodovima

Kod svežih plodova paprike prvo je određen sadržaj L-askorbinske kiseline, a potom ukupan sadržaj vitamina C nakon redukcije L-dehidroaskorbinske kiseline (DHAA) u L-askorbinsku kiselinu (AA). Analiza vitamina C je izvršena kod četiri različite sorte paprike u tri stepena zrelosti. Upotrebene su sorte *Kurtovska kapija*, *Dukat*, *Slonovo uvo* i *Kalifornijska*. Redukcija je vršena na tri načina: redukcija sa DTT u prisustvu citratnog pufera, redukcija sa TGA u prisustvu citratnog pufera i redukcija sa TGA bez citratnog pufera. Za redukciju DTT i TGA su pripremljeni u mobilnog fazi (pH vrednost oko 5,8). Citratni pufer je imao pH vrednost 7,7. Glavni cilj ovoga istraživanja je bio da se utvrdi na koji način se menja sadržaj vitamina C sa sazrevanjem plodova paprike, kvantitativno i kvalitativno. Osim toga istraživanje je imalo za cilj poređenje redukcije L-dehidroaskorbinske kiseline primenom dva različita redukciona agensa. Rezultati sadržaja L-askorbinske kiseline, L-dehidroaskorbinske kiseline i ukupnog sadržaja vitamina C nakon redukcije sa DTT dati su u Tabeli 4.9. Rezultati sadržaja L-askorbinske kiseline, L-dehidroaskorbinske kiseline i ukupnog sadržaja vitamina C nakon redukcije sa TGA dati su u Tabeli 4.10.

Tabela 4. 9. Sadržaj ukupnog vitamina C, L-askorbinske i L-dehidroaskorbinske kiseline u plodovima četiri sorte paprike u tri stepena zrelosti (mg/100 g). Redukcija L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu je vršena sa ditiotreitolom (DTT)

Uzorak	L-askorbinska kiselina	L-dehidroaskorbinska kiselina	Ukupan sadržaj vitamina C
<i>Kurtovska kapija</i> zelena	60,4	6,22	66,6
<i>Kurtovska kapija</i> poluzrela	105	5,16	110
<i>Kurtovska kapija</i> zrela	116	11,0	127
<i>Dukat</i> zelena	78,5	n.d.	78,5
<i>Dukat</i> poluzrela	133	n.d.	133
<i>Dukat</i> zrela	137	n.d.	137
<i>Slonovo uvo</i> zelena	108	7,51	115
<i>Slonovo uvo</i> poluzrela	107	7,71	115
<i>Slonovo uvo</i> zrela	112	4,57	117
<i>Kalifornijska</i> zelena	126	15,4	142
<i>Kalifornijska</i> poluzrela	115	27,5	143
<i>Kalifornijska</i> zrela	108	20,2	128

Kod sorti paprike *Kurtovska kapija*, *Dukat* i *Slonovo uvo* sadržaj L-askorbinske kiseline raste sa povećanjem stepena zrelosti plodova, dok je kod sorte *Kalifornijska* situacija obrnuta – sadržaj L-askorbinske kiseline je najviši kod zelenih plodova, a potom opada sa povećanjem stepena zrelosti. Najmanje razlike u sadržaju L-askorbinske kiseline između različitih stepena zrelosti postoje kod sorte *Slonovo uvo*, dok su najviše razlike izmerene kod zelenih i poluzrelih plodova sorte *Dukat*.

Nakon redukcije L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu sa DTT u prisustvu citratnog pufera kod svih sorti, sem sorte *Dukat*, došlo je do povećanja sadržaja L-askorbinske kiseline. Na osnovu izmerenih vrednosti ustanovljeno je da najveći sadržaj DHAA prisutan kod sorte *Kalifornijske* paprike, dok kod plodova sorte *Dukat* ovaj oblik vitamina C nije detektovan. Na osnovu ukupnog sadržaja vitamina C nakon redukcije sa DTT u prisustvu citratnog pufera (Tabela 4.9.) može se primetiti da se menjaju koncentracije ovoga vitamina između stepena zrelosti, u odnosu na vrednosti za L-askorbinsku kiselinu. Kod sorte *Slonovo uvo* skoro da ne postoje razlike u

sadržaju vitamina C između stepena zrelosti, dok kod sorte *Kalifornijska* razlike su znatno manje u odnosu na razlike u sadržaju L-askorbinske kiseline. Kod sorte *Kurtovska kapija* (koja se kasnije koristi u eksperimentima za ispitivanje uticaja predtretmana i sušenja) sadržaj ukupnog vitamina C raste sa stepenom zrelosti ploda.

Tabela 4. 10. Sadržaj ukupnog vitamina C, L-askorbinske i L-dehidroaskorbinske kiseline u plodovima četiri sorte paprike u tri stepena zrelosti (mg/100g). Redukcija L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu je vršena sa tioglikolnom kiselinom

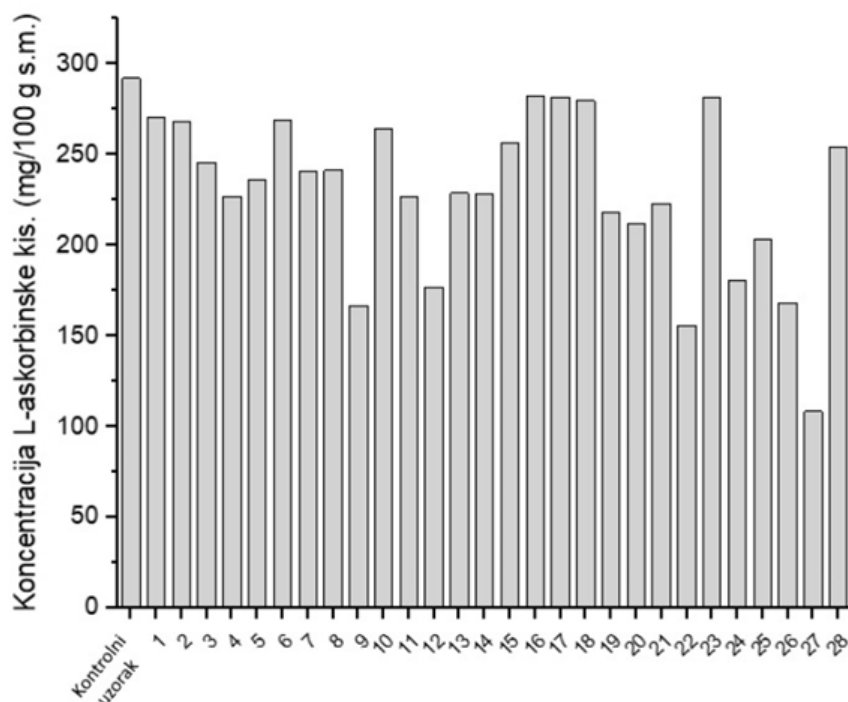
Šifra	L-askorbinska kiselina	L-dehidroaskorbinska kiselina	Ukupan sadržaj vitamina C
<i>Kurtovska kapija</i> zelena	60,4	12,1	72,5
<i>Kurtovska kapija</i> poluzrela	105	19,0	124
<i>Kurtovska kapija</i> zrela	116	n.d.	116
<i>Dukat</i> zelena	78,5	15,2	93,7
<i>Dukat</i> poluzrela	133	23,5	157
<i>Dukat</i> zrela	137	14,1	151
<i>Slonovo uvo</i> zelena	108	19,5	127
<i>Slonovo uvo</i> poluzrela	107	14,5	122
<i>Slonovo uvo</i> zrela	112	9,70	122
<i>Kalifornijska</i> zelena	126	14,3	140
<i>Kalifornijska</i> poluzrela	115	5,95	121
<i>Kalifornijska</i> zrela	108	15,0	123

U slučaju redukcije sa tioglikolnom kiselinom dobijeni rezultati se dosta razlikuju u odnosu na redukciju sa ditiotreitolum. Za razliku od redukcije sa DTT, redukcija sa TGA ukazuje da sorta *Dukat* sadrži DHAA u plodovima. Osim toga, vrednosti DHAA su više i za većinu drugih uzoraka u odnosu na redukciju sa DTT, osim za sortu *Kalifornijska* gde su zabeležene niže vrednosti, kao i za zrele plodove sorte *Kurtovska kapija* gde nije zabeleženo povećanje sadržaja vitamina C, tj. rezultati ukazuju da nema DHAA. Potrebna su dodatna ispitivanja redukcije L-dehidroaskorbinske kiseline u L-askorbinsku kiselinu pomoću tioglikolne kiseline, pošto je moguće da i neka druga jedinjenja apsorbuju u istom delu spektra kao i vitamin C.

Rezultati redukcije sa tioglikolnom kiselinom u prisustvu citratnog pufera nisu prikazani iz razloga što su u svim slučajevima izmerene vrednosti L-askorbinske kiseline bile niže u odnosu na vrednosti kod redukcije sa tioglikolnom kiselinom bez citratnog pufera. Osim toga, u nekim slučajevima (5/12) sadržaj L-askorbinske kiseline je bio niži od očekivanih vrednosti.

4.2.1.2. Sadržaj L-askorbinske kiseline nakon fizičko-hemijskog predtretmana

Početna koncentracija L-askorbinske kiseline u svežim uzorcima paprike je bila u proseku 292 mg/100 g suve materije. Svi primenjeni predtretmani, pre postupka sušenja (Tabela 3.6.), su doveli u većoj ili manjoj meri do smanjenja sadržaja L-askorbinske kiseline. Smanjenje sadržaja L-askorbinske se kretalo od 3,3 do 62,8%.



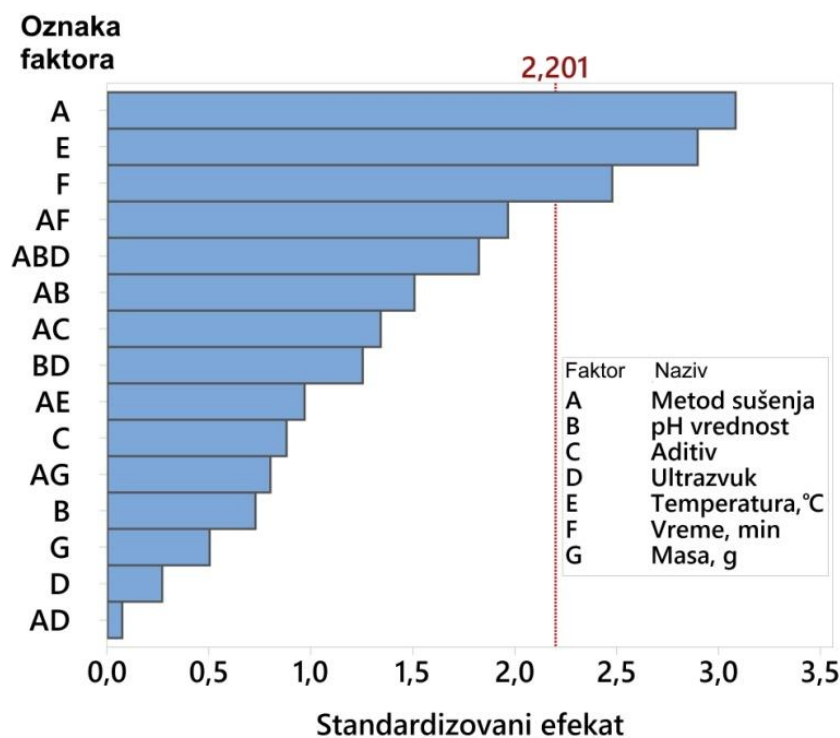
Slika 4. 13. Promena sadržaja L-askorbinske kiseline sa primenom različitih predtretmana. Kontrolni uzorak – sveža paprika bez predtretmana. Uzorci od 1-28 su pripremljeni po eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.6.)

Na Slici 4.13. su prikazane koncentracije L-askorbinske kiseline nakon različitih predtretmana. Najveći uticaj na promenu sadržaja L-askorbinske kiseline imala je temperatura predtretmana. Više temperature vodile su i većim gubicima ovoga vitamina. Do najvećeg pada u sadržaju L-askorbinske kiseline došlo je kod uzoraka 9, 12, 22 i 27. Uzorci 9 i 12 podrazumevali su predtretman na temperaturi od 80°C, dok su uzorci 22 i 27 podrazumevali predtretman na 50°C.

4.2.1.3. Sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj paprici

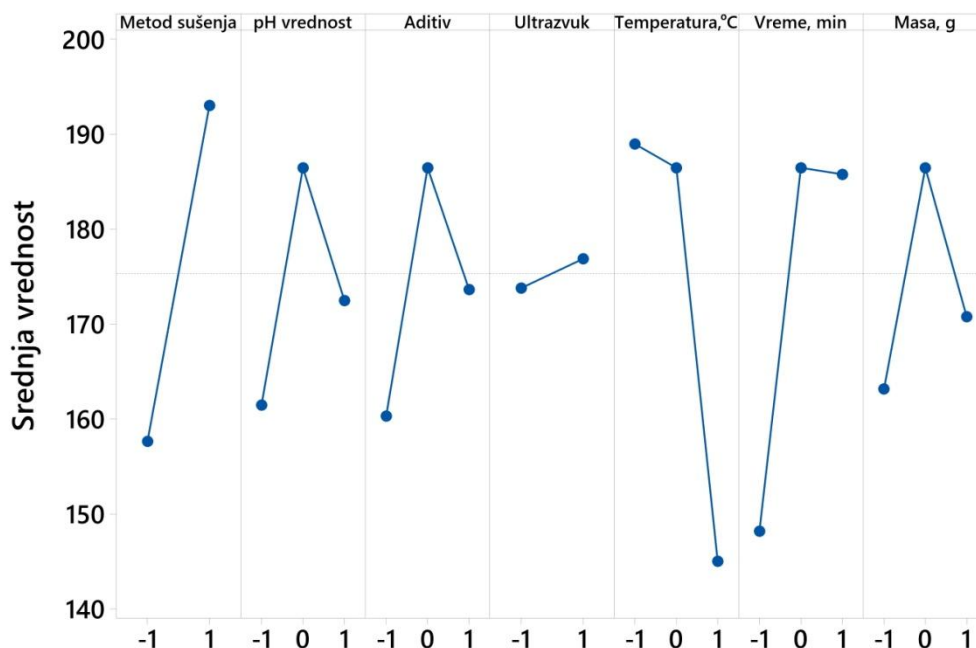
Proces sušenja vodi do degradacije i gubitka mnogih vrednih komponenti hrane. Vitamin C spada u grupu jedinjenja koja su termolabilna i lako dolazi do njegovog gubitka na povišenim temperaturama. U ovom delu istraživanja cilj je bio da se utvrdi da li određeni predtretmani mogu uticati na bolje očuvanje vitamina C u sušenim uzorcima paprike. Kod uzoraka sušene konzumne paprike sadržaj L-askorbinske kiseline je analiziran nakon mesec dana skladištenja, a kod sušene začinske paprike nakon osam meseci skladištenja. Preliminarni rezultati su ukazali da je sušenjem sveže začinske paprike (L-askorbinska kiselina 292 mg/100 g s.m.) u tunelskoj sušari na 60 °C pri brzini strujanja vazduha 2 m/s sadržaj L-askorbinske kiseline pao na 162 mg/100 g s.m., dok je prosečan sadržaj u liofilizovanim uzorcima iznosio 183 mg/100 g s.m.

Na Slici 4.14. i 4.15. prikazani su Pareto i dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj začinskoj paprici, nakon primene odgovarajućih tretmana. Na osnovu Pareto dijagrama prikazanog na Slici 4.14. uočava se da statistički značaj na sadržaj L-askorbinske kiseline imaju (1) metod sušenja, (2) temperatura rastvora za predtretman i (3) vreme predtretmana. Osim ovih faktora, sadržaj L-askorbinske kiseline je uslovljen i interakcijama između sušenja i drugih faktora, mada ove interakcije nemaju statistički značaj.



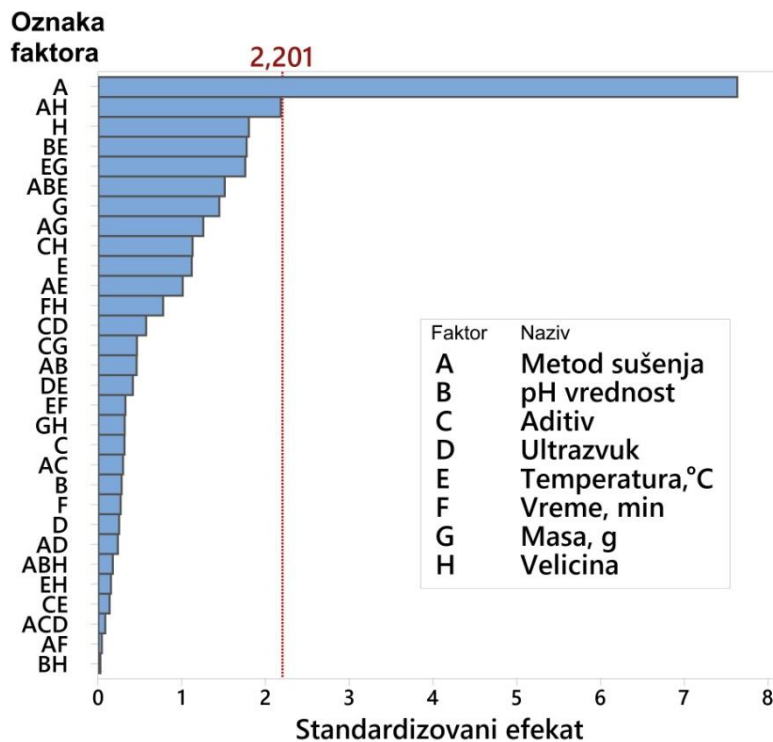
Slika 4. 14. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj začinskoj paprici (odgovor mg/100 g s.m., $\alpha = 0,05$)

Sa Slike 4.15., gde je prikazan dijagram glavnih efekata za sadržaj L-askorbinske kiseline, uočava se da je liofilizacija bolji postupak sušenja u odnosu na sušenje u tunelskoj sušari; bolje su niže temperature rastvora za predtretman i duže vreme predtretmana. Pozitivan uticaj dužeg predtretmana je možda neočekivan, s obzirom da duži predtretman može dovesti do većih gubitaka L-askorbinske kiseline usled njenog prelaska u rastvor. Međutim, objašnjenje za ovaj fenomen se može tražiti u činjenici da su uzorci začinske paprike analizirani 8 meseci nakon sušenja. Slični rezultati su otkriveni i od strane drugih autora, koji su utvrdili da sam postupak blanširanja, kao i primena predtretmana sa kalijum-metabisulfitom vode boljem očuvanju askorbinske kiseline posle 6 meseci skladištenja (Santos & Silva, 2008).



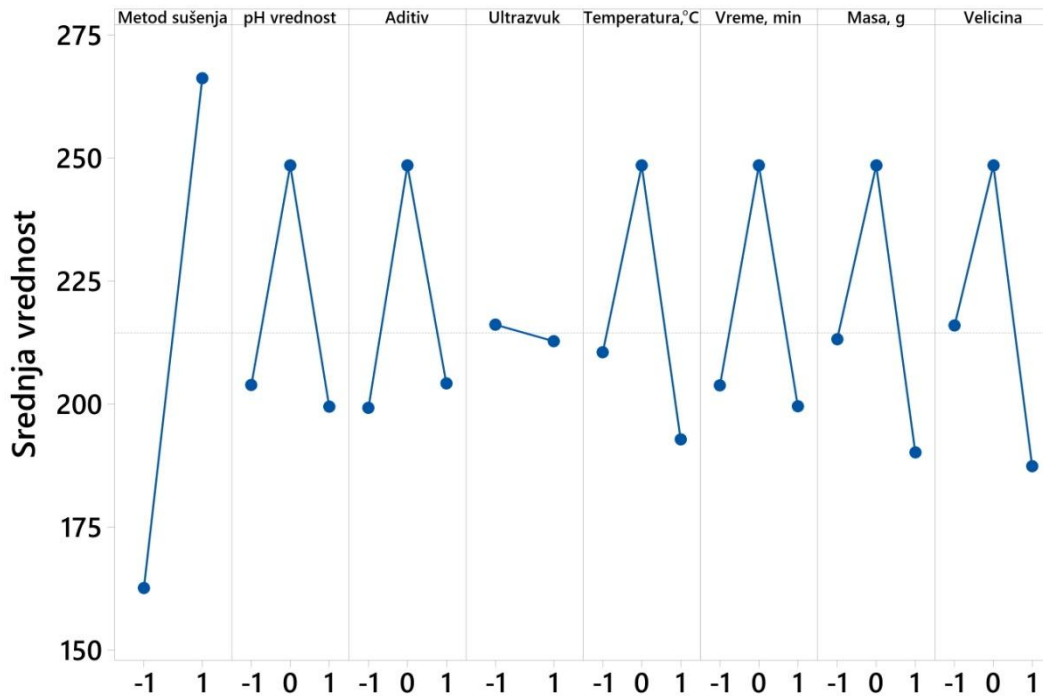
Slika 4.15. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj začinskoj paprici

Uzorci konzumne paprike, sorta *Kurtovska kapija* pripremljeni su po eksperimentalnom dizajnu prikazanom u Tabeli 3.4. Analiza L-askorbinske kiseline je izvršena mesec dana nakon sušenja uzoraka.

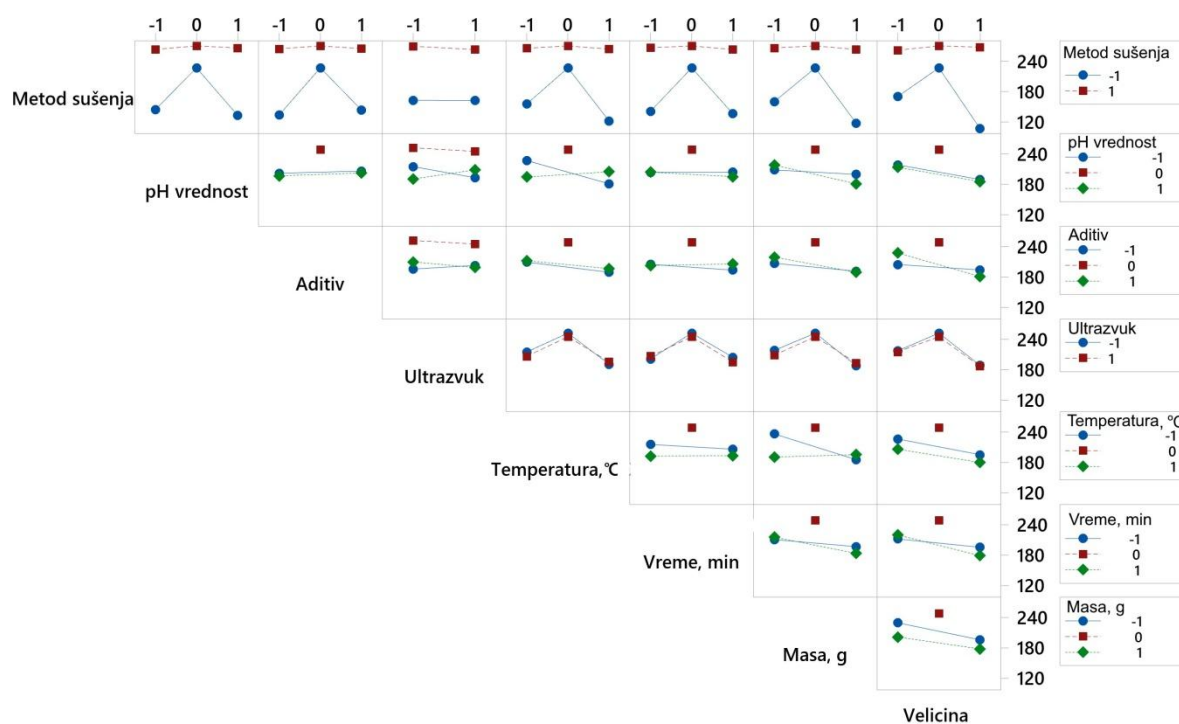


Slika 4.16 Pareto dijagram uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj konzumnoj paprici (odgovor mg/100 g s.m., $\alpha = 0,05$)

Na Slici 4.16. prikazan je Pareto dijagram uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj konzumnoj papriki. Kod konzumne paprike statistički značajan uticaj imao je metod sušenja, a odmah uz referentnu liniju našla se i interakcija metod sušenja - veličina komadića paprike. Kao i u slučaju sušene začinske paprike, liofilizacija je i ovde obezbedila bolje očuvanje L-askorbinske kiseline (Slika 4.17.). Sa dijagrama glavnih efekata (Slika 4.17.), može se takođe uočiti da se najbolje očuvanje ovog vitamina postiže primenom predtretmana sa srednjom vrednošću ispitivanih parametara.



Slika 4. 17. Dijagram glavnih efekata uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u sušenoj konzumnoj papriki



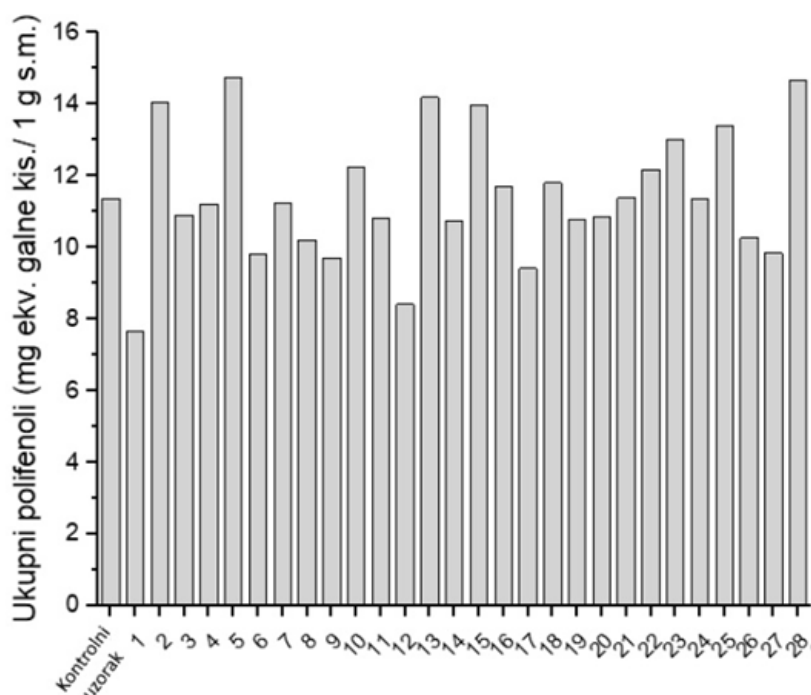
Slika 4. 18. Dijagram interakcija uticaja ispitivanih parametara na sadržaj L-askorbinske kiseline u uzorcima sušene konzumne paprike

Veoma je značajan i uticaj interakcije metod sušenja - veličine komadića paprike. Na Slici 4.18. prikazan je dijagram interakcija sa koga se uočava da se bolje očuvanje ovog vitamina kod uzoraka sušenih u klasičnoj sušari postiže kada su komadići paprike dimenzija 4×4 cm u odnosu na manje (2×2 cm) i veće (8×8 cm) dimenzije. U slučaju liofilizovanih uzoraka nije postojao uticaj veličine komadića paprike na očuvanje L-askorbinske kiseline. Manje dimenzije ploda paprike su verovatno obezbedile bolju penetraciju primenjenih aditiva što je za posledicu imalo bolji zaštitni efekat na L-askorbinsku kiselinu tokom klasičnog postupka sušenja u tunelskoj sušari. Sitniji komadići (2×2 cm) su doveli do većih gubitaka verovatno usled izluživanja, dok se krupniji komadi (8×8 cm) pokazali kao najnepovoljniji za očuvanje ovoga vitamina, verovatno usled slabog dejstva aditiva (zbog njihove slabije difuzije tokom predtretmana).

4.2.2. Uticaj predtretmana i sušenja na sadržaj ukupnih polifenola i ukupnih karotenoida

4.2.2.1. Sadržaj ukupnih polifenola nakon fizičko-hemijskog predtretmana

Fizičko-hemijski predtretmani koji su primenjeni na plodovima začinske paprike podrazumevali su primenu različite temperature, vremena predtretmana, mase tretiranog uzorka (pri konstantnoj zapremini rastvora za predtretman), pH vrednosti, ultrazvuka i primenu različitih aditiva (kalijum-metabisulfit, limunska kiselina ili smeša ova dva rastvora). Jedan deo predtretmana je naizgled doveo do povećanja sadržaja ukupnih polifenola, mada je verovatno došlo do reakcije između primenjenih aditiva i Folin Ciocalteu reagensa. Istraživanja pokazuju da određivanje polifenola metodom zasnovanom na primeni Folin Ciocalteu reagensa i nije pouzdano, pošto ovaj reagens može reagovati i sa ne-fenolnim jedinjenjima (Mojzer et al., 2016), pa je metoda pogodnija kao merilo ukupne antioksidativne aktivnosti uzorka (Everette et al., 2010). Metoda ipak može poslužiti za grubo određivanje sadržaja ukupnih polifenola, s obzirom na to da su polifenoli najznačajnija antioksidativna jedinjenja (Everette et al., 2010). Najveći broj predtretmana nije uticao značajnije na promenu sadržaja ukupnih polifenola. Najveći smanjenje sadržaja primećeno je kod predtretmana sa višim temperaturama rastvora (50 i 80 °C) što se može videti na Slici 4.19.



Slika 4.19. Sadržaj ukupnih polifenola u svežoj začinskoj paprici (kontrolni uzorak) i u uzorcima koji su podvrgnuti predtretmanu, a pre koraka sušenja. Uzorci su pripremljeni po eksperimentalnom dizajnu (Tabela 3.6.)

4.2.2.2. Sadržaj ukupnih polifenola i karotenoida u sušenoj paprici

Sadržaj ukupnih polifenola u sušenoj začinskoj paprici najviše je bio uslovljen metodom sušenja, mada su i drugi faktori i njihove interakcije uticali na ova jedinjenja (Slika P3., Slika P4. i Slika P5., vidi ispod) Sušenje u tunelskoj sušari se pokazalo kao bolja opcija u odnosu na postupak liofilizacije (Tabela 4.11., Slika P4., vidi ispod). Pretprostavljaju se da tokom sušenja na temperaturi od 60 °C dolazi do oštećenja ćelija u većem stepenu u odnosu na liofilizaciju, pa su samim tim polifenolna jedinjenja dostupnija za ekstrakciju (Campos-Hernández et al., 2018). Drugo stanovište je da se na višim temperaturama javljaju ne-enzimatske reakcije koje daju nova fenolna jedinjenja iz postojećih fenolnih jedinjenja (Que et al., 2008). Metod sušenja je imao isti uticaj na sadržaj ukupnih polifenola u kontrolnim uzorcima proizvedenih od sveže paprike tj. viši sadržaj polifenola bio je kod uzoraka sušenih u tunelskoj sušari. Sa druge strane kod uzoraka proizvedenih od blanširane paprike (voda, 80 °C, 3 minuta) viši sadržaj polifenola je bio kod liofilizovanih uzoraka. Posmatrano u odnosu na blanširanje, hemijski predtretmani su doprineli višem sadržaju polifenola kod uzoraka sušenih u tunelskoj sušari (od 2,3% do 91,3%), dok su kod liofilizovanih uzoraka doveli i do povećanja i do smanjenja sadržaja polifenola (od -21,4% do + 26,9%). Najveći broj predtretmana ipak nije doprineo boljem očuvanju polifenola u odnosu na sušenu papriku proizvedenu bez predtretmana. Blago povećanje sadržaja polifenola zapaženo je sa povećanjem temperature predtretmana sa 20 na 50 °C i znatno veće povećanje sa produžetkom vremena predtretmana do 3 minuta. Dalje povećanje temperature i produžetak vremena predtretmana vodili su značajnom gubitku polifenola, verovatno usled njihove veće rastvorljivosti i prelaska u rastvor, kao i degradacije na višim temperaturama (Bouzari et al., 2015; Mokrani & Madani, 2016). Najveće očuvanje fenolnih jedinjenja postignuto je kod plodova koji su osušeni u tunelskoj sušari na 60 °C pri brzini strujanja vazduha 2 m/s, a prethodno su potopljeni u 0,25% rastvoru limunske kiseline i kalijum-metabisulfita, pH vrednosti 6,5, temperature 50 °C u trajanju od 3 minuta, gde je zapremina rastvora bila 1 L, a masa paprike 100 g (eksperiment 27, Tabela 3.6.).

Tabela 4. 11. Rezultati analize antioksidativne aktivnosti, sadržaja ukupnih polifenola i ukupnih karotenoida kod kontrolnih uzoraka

Oznaka	Predtretman	Metod sušenja	DPPH ^a	FRAP ^a	TPC ^b	TCC ^c
X1a	Nema	TS	7.53±0.80	16.3±1.57	11.6±1.46	3.84±0.42
X1b	Nema	LF	6.51±1.22	13.2±1.93	8.46±1.31	5.86±0.21
X2a	Blanširanje#	TS	5.66±0.43	9.66±0.03	7.35±0.39	4.91±0.33
X2b	Blanširanje#	LF	9.21±0.31	13.4 ±0.03	8.96±0.58	5.60±0.47

blanširanje u vodi na 80 °C, 3 minuta

^a ekv. Trolox mg/g suve materije^b ekv. GAE mg/g suve materije, GAE – gallic acid equivalents^c mg/g suve materije

Mada je blanširanje poboljšalo očuvanje karotenoida kod uzoraka sušenih strujom toplog vazduha (povećanje ukupnog sadržaja za 28,64% u odnosu na uzorke bez predtretmana), najveći broj hemijskih predtretmana nije doprineo boljem očuvanju karotenoida ni kod jednog metoda sušenja. Kontrolni uzorci su ukazali da je liofilizacija bolja metoda sušenja u odnosu na sušenje u tunelskoj sušari (65,45% viši sadržaj ukupnih karotenoida). Suprotno ovim podacima, rezultati eksperimentalnog dizajna nisu pokazali statistički značaj ni za jedan parametar, mada postoji određeni uticaj: interakcije sušenje-masa tretiranog uzorka, metode sušenja, interakcije sušenje-aditiv i mase tretiranog uzorka. Kao i kod kontrolnih uzoraka i ovde sušenje strujom toplog vazduha deluje nepovoljnije na karotenoide, što je u saglasnosti sa rezultatima drugih autora (Kaur, Kaur, & Ahluwalia, 2020), gde je primećeno da dolazi do većeg gubitka karotenoida pri sušenju na 60 °C u odnosu na niže temperature. Tretmani iz eksperimentalnog dizajna su doprineli i smanjenu i povećanju sadržaja ukupnih karotenoida, kada se poredi sa uzorcima proizvedenim od blanširane paprike (voda, 80 °C, 3 minuta). Promene su se kretale od -38,67% do +18,30% za uzorke sušene strujom toplog vazduha, odnosno od -39,42% do +5,03% za liofilizovane uzorke. Najveće očuvanje karotenoida postignuto je kod liofilizovanog uzorka koji je prethodno tretiran sa rastvorom limunske kiseline, pH=10 uz primenu ultrazvuka, na temperaturi 20 °C pri vremenu 1 min i masi 30 g u 1 L rastvora. Za uzorke sušene strujom toplog vazduha kao najbolji predtretman pokazao se smeša limunske kiseline i kalijum-metabisulfita, pH = 6,5 sa primenom ultrazvuka, na temperaturi 50 °C pri vremenu 3 minuta i masi 100 g u 1 L rastvora. Bechoff i saradnici su takođe primetili da potapanje u smešu limunske kiseline i natrijum-metabisulfita ima pozitivan uticaj na očuvanje sadržaja ukupnih karotenoida (Bechoff et al., 2011).

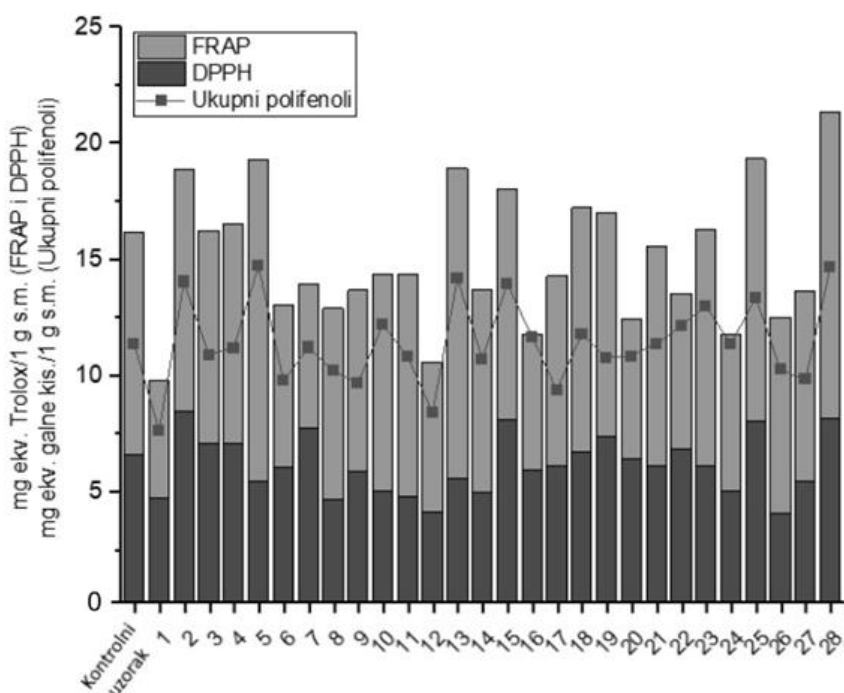
4.2.3. Uticaj predtretmana i sušenja na antioksidativnu aktivnost

Biljke poseduju enzimске i ne-enzimске mehanizme koji učestvuju u borbi protiv oksidativnog stresa kroz uklanjanje reaktivnih formi kiseonika i sprečavanje njihovog nastanka. Reaktivne forme kiseonika (eng. reactive oxygen species - ROS) nastaju dejstvom enzima katalaze (enzimski katalizovana oksidacija supstrata) ili u elektron-transportnom sistemu (u procesu fotosinteze ili respiracije). Ove forme kiseonika su veoma reaktivne i uzrokuju oštećenje DNK, proteina i lipida. Postoji više ROS formi, a najznačajnije su superoksidni radikal ($O_2^{\bullet-}$), peroksidni anjon (O_2^{2-}), vodonik peroksid (H_2O_2) i singletni kiseonik (1O_2) (Gupta et al., 2018; Miller et al., 2014). Antioksidativna jedinjenja spadaju u ne-enzimске mehanizme borbe protiv oksidativnog stresa. Redovna konzumacija prirodnih antioksidanata, koji se nalaze u voću i povrću utiče na smanjenje rizika od kardiovaskularnih oboljenja i raka. Brojna jedinjenja poseduju antioksidativnu aktivnost, a najznačajniji antioksidanti su vitamini, polifenoli i karotenoidi (Miller et al., 2014; Thaipong et al., 2006).

Proces sušenja utiče na degradaciju i gubitak antioksidativnih jedinjenja usled dejstva povišene temperature. Na primer, visoke temperature sušenja doprinose značajnom gubitku vitamina C kod plodova paprike. Sa druge strane, proces sušenja može uticati i na povećanje ukupne antioksidativne aktivnosti usled nastanka novih jedinjenja tokom ovog procesa (Vega-Gálvez et al., 2009).

4.2.3.1. Antioksidativna aktivnost nakon fizičko-hemijskog predtretmana

Antioksidativna aktivnost uzoraka paprike određena je nakon predtretmana primenom DPPH i FRAP testa. Rezultati su izraženi kao ekv. Trolox, pri čemu su više vrednosti dobijene primenom FRAP testa. Na osnovu Slike 4.20. može se videti da promena sadržaja ukupnih polifenola uglavnom prati i promenu antioksidativne aktivnosti. Jedan deo predtretmana je doveo do blagog povećanja antioksidativne aktivnosti, dok drugi deo nije doveo do značajnijih promena ili je došlo do blagog smanjenja antioksidativne aktivnosti.



Slika 4. 20. Grafički prikaz promene antioksidativne aktivnosti i sadržaja ukupnih polifenola kod plodova začinske paprike nakon fizičko-hemijskih predtretmana

4.2.3.2. Antioksidativna aktivnost nakon predtretmana u sušenoj paprici

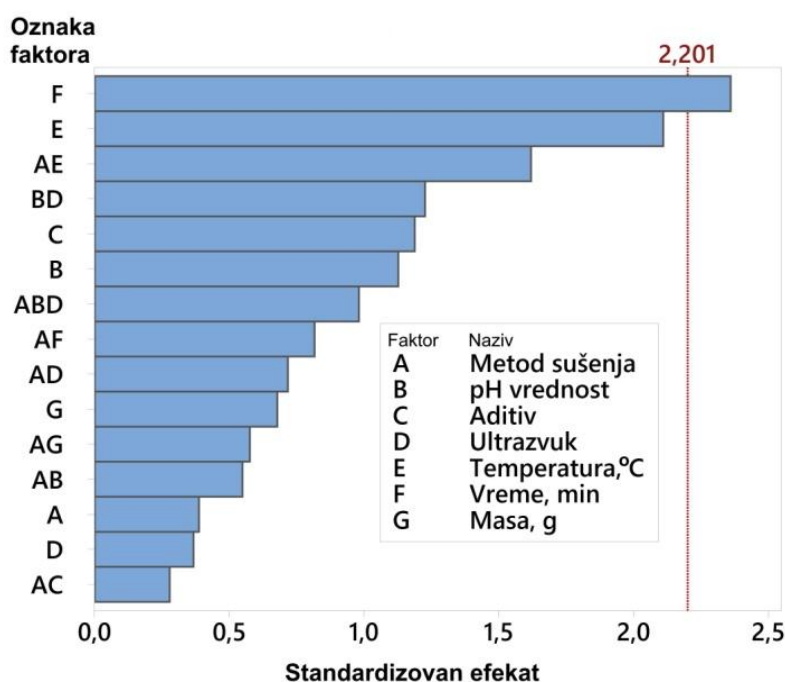
Poređenjem dobijenih rezultata sa rezultatima kontrolnih uzoraka ustanovljeno je sledeće:

- kod tunnelski sušene paprike blanširanje pre sušenja je smanjilo antioksidativni kapacitet u odnosu na uzorke koji su osušeni bez primene blanširanja (smanjenje 42,2% i 40,9% za DPPH i FRAP test, respektivno).
- kod liofilizovane paprike blanširanje pre sušenja je poboljšalo antioksidativni kapacitet u odnosu na uzorke koji su osušeni bez primene blanširanja (41,5% i 1,3% za DPPH i FRAP test, respektivno).
- kod tunnelski sušene paprike svi primenjeni hemijski predtretmani su obezbedili višu feričnu redukcionu aktivnost u odnosu na blanširanje (od 5,4 do 105% u odnosu na uzorke koji su blanširani pre sušenja).

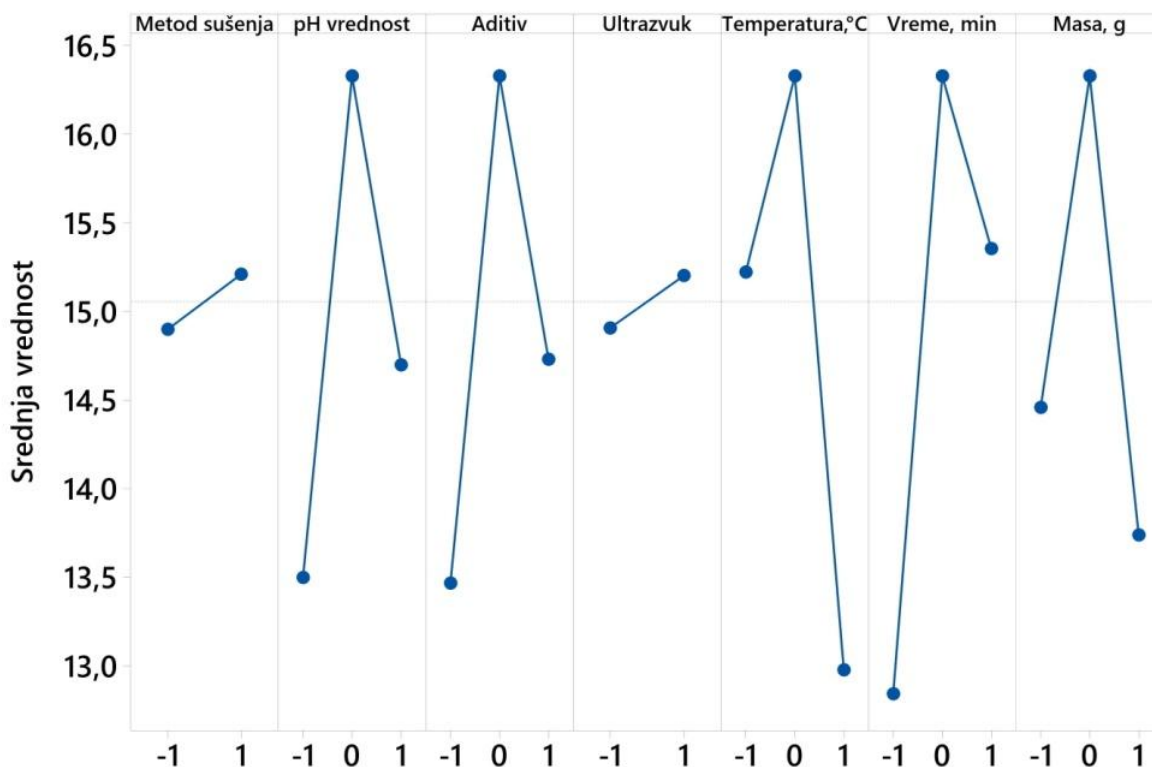
- kod liofilizovane paprike hemijski predtretmani su poboljšali sposobnost hvatanja stabilnog slobodnog DPPH radikala u odnosu na kontrolu koja je samo osušena bez predtretmana (povećanje antioksidativne aktivnosti od 4,2% do 71,9%).

Dobijeni rezultati ukazuju da primena hemijskih predtretmana može značajno doprineti očuvanju antioksidativne aktivnosti sušene začinske paprike, bez obzira da li se radi o sušenju klasičnim postupkom u tunelskoj sušari ili se uzorci suše postupkom liofilizacije.

Kod uzoraka gde su primenjeni hemijski predtretmani, ali i gde je vršeno ispitivanje uticaja drugih parametara, nakon postupka sušenja antioksidativna aktivnost se kretala od $10,03 \pm 1,12$ do $20,2 \pm 0,03$ mg ekv. Trolox/1 g s.m. mereno FRAP testom, odnosno od $4,0 \pm 0,30$ do $15,7 \pm 0,80$ mg ekv. Trolox/1 g s.m. mereno DPPH testom. Kod oba testa većina faktora je pokazala sličan uticaj (pH vrednost, vrsta aditiva, temperatura predtretmana i masa tretiranog uzorka pri konstantnoj količini rastvora za predtretman). Vreme predtretmana je imalo statistički značaj kod FRAP testa (Slika 4.21., Pareto dijagram), gde predtretman do 3 minuta pozitivno utiče na antioksidativni kapacitet (Slika 4.22.), dok duže vreme deluje negativno, verovatno usled gubitka antioksidativnih jedinjenja. U prilog ovoj tvrdnji ide i to da je vreme predtretmana imalo sličan uticaj na sadržaj ukupnih polifenola, mada bez statističkog značaja. U pogledu vrste aditiva, oba testa ukazuju da je najbolji uticaj aditiva po sledećem redosledu LK/KMS>KMS>LK. Kalijum-metabisulfit poseduje antioksidativna svojstva, a može da sačuva i stabilizuje karotenoide koji doprinose antioksidativnoj aktivnosti (Deng et al., 2017). Zabeležen je pozitivan uticaj predtretmana sa rastvorom natrijum-metabisulfita i smešom natrijum-metabisulfita i limunske kiseline na karotenoide kod krompirovog čipsa nakon jednog meseca skladištenja (Bechoff et al., 2011).



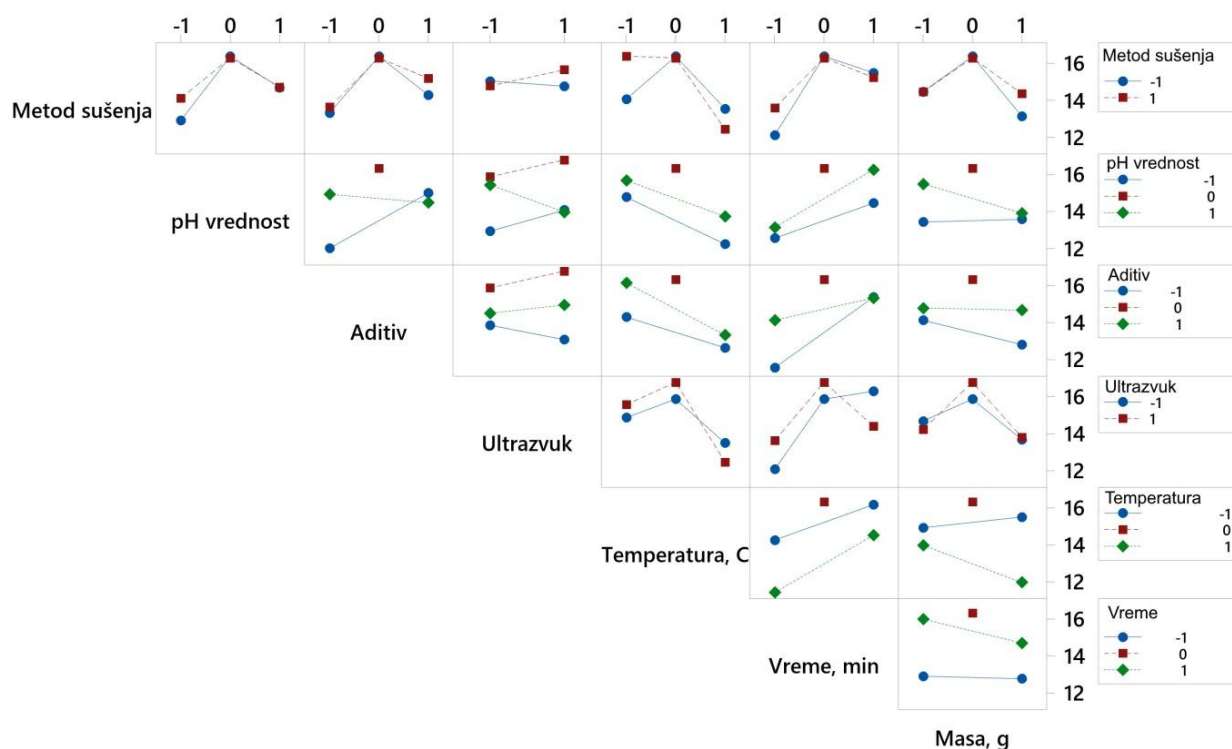
Slika 4. 21. FRAP test: Pareto dijagram (odgovor mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$)



Slika 4. 22. FRAP test: Dijagram glavnih efekata (odgovor mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$)

Kod oba testa povećanje temperature predtretmana do 50 °C ima blagi pozitivan efekat, dok više temperature vode ka naglom padu antioksidativne aktivnosti. Temperatura predtretmana ima isti efekat i na sadržaj ukupnih polifenola. Više temperature predtretmana i duži predtretman utiču na smanjenje antioksidativnog kapaciteta usled prelaska vodeno rastvornih polifenola i drugih antioksidativnih jedinjenja u rastvor za predtretman, ako i usled njihove degradacije. Smanjenje antioksidativnog kapaciteta nakon blanširanja u vrućoj vodi je zabeleženo u brojnim studijama (Bouzari et al., 2015; Eyarkai Nambi et al., 2016; J. Wang et al., 2017). Antioksidativni kapacitet sušene začinske paprike u određenoj meri zavisi i od pH vrednosti rastvora za predtretman, pri čemu se najbolji rezultati postižu pri pH vrednosti 6,5 (Slika 4.22.).

Na Slici 4.23. prikazan je dijagram interakcija ispitivanih faktora na antioksidativnu aktivnost uzoraka paprike mereno FRAP testom.



Slika 4. 23. FRAP test: Dijagram interakcija ispitivanih parametara (mg ekv. Trolox/g suve materije, $\alpha=0,05$)

Oba testa su ukazala da antioksidativni kapacitet zavisi i od određenih interakcija između parametara. Kod FRAP testa zabeležene su interakcije metod sušenja-temperatura predtretmana, pH vrednost rastvora-primena ultrazvuka, dok je kod DPPH testa zabeležena interakcija metod sušenja-primenjeni aditiv. Sa dijagrama interakcija za FRAP test (Slika 4.23.) primećuje se da povećanje temperature predtretmana utiče na smanjenje antioksidativne aktivnosti osušenih uzoraka, gde se kod liofilizovanih uzoraka najveći antioksidativni kapacitet postiže pri temperaturi predtretmana 20 °C i 50 °C, a kod klasično sušenih uzoraka pri temperaturi predtretmana 50 °C. Što se tiče uticaja ultrazvuka, porast temperature utiče na smanjenje antioksidativne aktivnosti bez obzira da li se ultrazvuk primenjuje ili ne. Sa druge strane, sa istog dijagrama jasno je da je antioksidativni kapacitet najveći u sušenim proizvodima sa predtretmanom od 3 minuta sa uključenim ultrazvukom. Primena ultrazvuka tokom predtretmana pozitivno je uticala na antioksidativnu aktivnost uzoraka paprike pri pH vrednostima 3 i 6,5 dok je pri pH vrednosti 10 ultrazvuk imao negativan uticaj. Interakcija metod sušenja-primenjenog aditiva, kod DPPH testa, ukazala je da je za obe metode sušenja najbolje primeniti predtretman sa smešom limunske kiseline i kalijum-metabisulfita.

Najviša antioksidativna aktivnost, mereno sa oba testa, je postignuta kod tunelski sušene začinske paprike koja je pre sušenja podvrgnuta ultrazvučnom predtretmanu u 0,25% rastvoru limunske kiseline i kalijum-metabisulfita, pH vrednosti 6,5, na temperaturi 50 °C u trajanju od 3 minuta pri čemu je zapremina rastvora bila 1 L, a masa tretirane paprike 100g.

4.3. UTICAJ PREDTRETMANA NA FIZIČKA SVOJSTVA SUŠENE PAPRIKE

4.3.1. Uticaj predtretmana na boju sušene paprike

Boja prehrambenih proizvoda predstavlja veoma bitan parametar kvaliteta na osnovu koga potrošač procenjuje kvalitet. Osim boje značajni parametri kvaliteta su i ukus, tekstura, veličina, oblik itd. Proces sušenja veoma često vodi do vidljivih promena boje prehrambenih proizvoda, uglavnom usled pojave reakcija tamnjenja koje mogu biti enzimske i ne-enzimske prirode. Enzimske promene su vezane za dejstvo enzima polifenol oksidaze koji utiče na promene fenolnih jedinjenja, pri čemu nastaju braon pigmenti. Ne-enzimske promene obuhvataju veći broj reakcija kao što su Maillardove reakcije, oksidacija vitamina C, karamelizacija (Calín-Sánchez et al., 2020; Wrolstad & Smith, 2017). Boja plodova paprike dosta varira u zavisnosti od kultivara, dok kod sušenih plodova velike razlike nastaju i u zavisnosti od primenjene tehnike sušenja. Prema istraživanju Maurya i saradnika (2018) ustanovljeno je da sušenje na suncu najviših utiče na promenu boje paprike, dok proces liofilizacije daje proizvode sa najbolje očuvanom prvobitnom bojom ploda (parametri L^* , a^* i b^*). Visok stepen promene boje takođe je uočen kod plodova koji su sušeni u tunelskoj sušati (na temperaturama od 50 do 70 °C) i u mikrotalasnoj pećnici pod vakuumom (Maurya et al., 2018).

4.3.1.1. CIE Lab boja

Merenjem parametara boje mlevene sušene začinske paprike ustanovljeno je da vrednosti parametara L^* (svetloća), b^* (žuto) i hue° (ugao) nisu uslovljene ni jednim od ispitivanih eksperimentalnih faktora. Sa druge strane, vrednost parametra a^* (crveno) je zavisila od metoda sušenja i vremena predtretmana; vrednost parametra C^* (hroma) je zavisila od vremena predtretmana. Sušenje postupkom liofilizacije je obezbedilo bolje očuvanje crvene boje, najverovatnije usled manje degradacije crvenih karotenoida (kapsantin i kapsorubin, koji čine 50% karotenoida paprike) na nižim temperaturama sušenja (Yang et al., 2018). Duži predtretman je pozitivno uticao na crvenu boju (a^*) i na zasićenje boje (C^*). Tokom dužeg predtretmana obezbeđeno je bolje usvajanje aditiva od strane ploda, što je doprinelo izraženijoj („življoj“) crvenoj boji mlevene sušene začinske paprike. Ostali ispitivani faktori nisu imali statistički značaj na parametre boje. Najbolje karakteristike boje su postignute kod liofilizovanog uzorka koji je pre sušenja podvrgnut ultrazvučnom predtretmanu u rastvoru limunske kiseline, pH vrednosti 3, na temperaturi 80 °C u trajanju od 5 minuta, pri čemu je zapremina rastvora za predtretman bila 1 L, a masa uzorka 30 g.

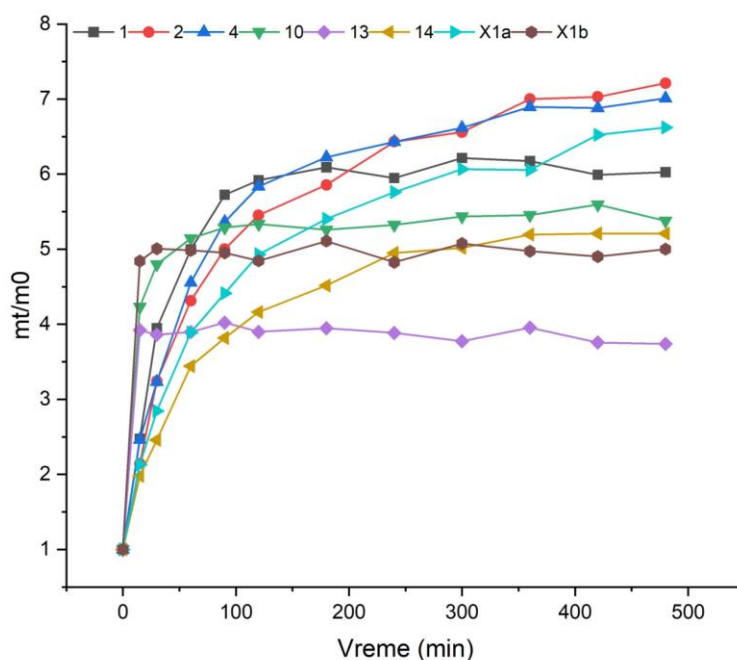
4.3.1.2. Ne-enzimatski indeks tamnjenja

Gotovo svi predtretmani iz eksperimentalnog dizajna (izuzev eksperimenta br. 15, Tabela 3.6.) su doprineli smanjenju ne-enzimatskog indeksa tamnjenja sušene začinske paprike u odnosu na kontrolne uzorke koji su dobijeni sušenjem sveže paprike bez primene predtretmana. Kod tunelski sušene paprike smanjenje vrednosti ovoga indeksa se kretalo od 30,7% do 72,6%, dok se kod liofilizovanih uzoraka kretalo od 19,6% do 58,5%. Primena blanširanja (kontrolni uzorak) je takođe doprinela smanjenju ne-enzimatskog indeksa tamnjenja kod osušenih uzoraka (smanjenje 16,3% i 25,3% za tunelski sušene i liofilizovane uzorke, respektivno). Mada je duže vreme predtretmana doprinelo boljem očuvanju crvene boje, takođe je uticalo i na veće vrednosti ne-enzimatskog indeksa tamnjenja. Rezultati ovoga istraživanja ukazuju da su predtretmani sa dodatkom aditiva svakako bolji za sprečavanje ne-enzimatskog tamnjenja u odnosu na obično blanširanje, a oba postupka su bolja u odnosu na sušenje bez predtretmana. Jedan od glavnih ciljeva primene predtretmana sa kalijum-metabisulfitom i limunskom kiselinom je upravo postizanje bolje boje i kvaliteta finalnog osušenog proizvoda. Smanjenje ne-enzimatskog indeksa tamnjenja je primećeno nakon sulfitnog predtretmana kod osušene jabuke, banane i mrkve (Krokida et al., 2000), dok su

predtretmani sa KMS, LK i KMS/LK imali pozitivan uticaj na boju slatke mlevene paprike dobijene sušenjem ploda paprike babure (Sharma et al., 2015). Mada vrsta primenjenog aditiva nije imala statistički značajan uticaj na smanjenje ne-enzimatskog indeksa tamnjenja, ovo istraživanje je ukazalo da određeni uticaj aditiva postoji i da se najbolji rezultati postižu sa limunskom kiselinom. Limunska kiselina kao aditiv ima prednost u odnosu na kalijum-metabisulfit, jer je bezbednija usled određenih zdravstvenih problema koji se povezuju sa upotrebom kalijum-metabisulfita (na primer astmatične reakcije) (Deng et al., 2017). Tokom ovoga istraživanja najveće smanjenje ne-enzimatskog indeksa tamnjenja ostvareno je nakon primene ultrazvučnog predtretmana u rastvoru kalijum-metabisulfita, pri pH vrednosti 3, na temperaturi 20 °C u trajanju od 1 minut, pri čemu je zapremina rastvora za predtretman bila 1 L, a masa tretirane paprike 30 g.

4.3.2. Uticaj primenjenih predtretmana na rehidraciju sušene paprike

Sposobnost rehidracije dehidrisane hrane jedan je od bitnih parametara kvaliteta. Osušeni komadići povrća čest su sastojak raznih gotovih jela koja se nalaze u dehidrisanom stanju. Poželjne osobine dehidrisanih komadića povrća su da se postupak rehidracije odvija brzo, da proizvod zadržava vodu u što većoj meri i da komadići imaju oblik i izgled najbliži svežoj paprici. Osim za uzorke pripremljene sa primenom predtretmana, analiza sposobnosti rehidracije izvršena je i za kontrolne uzorke X1a (paprika osušena u tunelskoj sušari bez primene predtretmana) i X1b (paprika osušena u liofilizatoru bez primene predtretmana). Grafički prikaz sposobnosti rehidracije odgovarajućih uzoraka sušene paprike prikazan je na Slici 4.24.



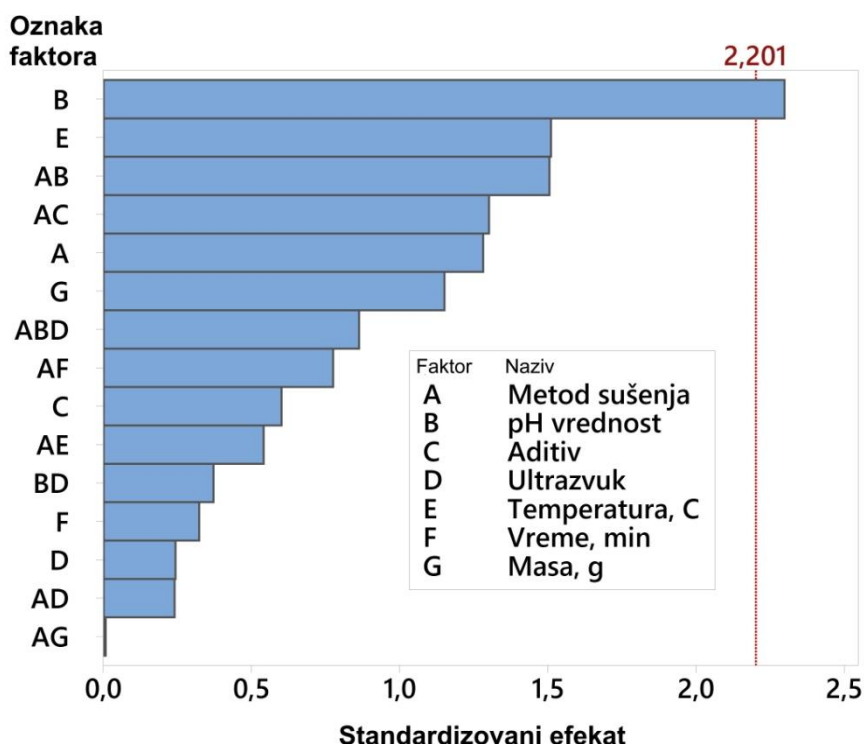
Slika 4. 24. Rehidracija uzoraka sušene začinske paprike pripremljenih po eksperimentalnom dizajnu prikazanom u Tabeli 3.6. Liofilizovani uzorci: 1, 10, 13. Uzorci sušeni u tunelskoj sušari: 2, 4, 14. Kontrolni uzorak bez predtretmana osušen u tunelskoj sušari – X1a i kontrolni uzorak bez predtretmana osušen u liofilizatoru – X1b

U slučaju analiziranih uzoraka sušene paprike primećeno je da tokom rehidracije metod sušenja ima statistički značajan uticaj tokom prvih 30 minuta, gde se liofilizovani uzorci brže rehidratiraju (eksperimenti 1, 10, 13 i kontrola X1B na Slici 4.24.). U kasnijim intervalima rehidracije, odnosno posle 8h (tačka ravnoteže) ustanovljeno je da metod sušenja i dalje ima najveći uticaj na proces rehidracije, mada on nije statistički značajan. Pri dostizanju ravnoteže, uticaj metoda sušenja je obrnut u odnosu na početak rehidracije – postiže se bolja rehidracija

tunelski sušene paprike (eksperimenti 2, 4, 14 i kontrola X1a na Slici 4.24.). Tokom procesa rehidratacije primećeno je da uzorci tunelski sušene paprike zadržavaju bolju strukturu i izgled, i da su otporniji na lomove u odnosu na liofilizovane. Liofilizovani uzorci su se lomili u većoj meri, verovatno kao posledica vakumiranja odmah posle sušenja.

4.3.3. Uticaj primenjenih predtretmana na teksturna svojstva sušene paprike

Tekstura analiziranih uzoraka sušene začinske paprike u značajnoj meri zavisila je od pH vrednosti rastvora za predtretman (Slika 4.25.). Više pH vrednosti doprinele su boljoj teksturi finalnog proizvoda (Slika 4.26.). Pretpostavlja se da su više pH vrednosti dovele do geliranja pektina pod uticajem monovalentnih Na^+ jona, dodatih u vidu NaOH za podešavanje pH vrednost rastvora za predtretman.

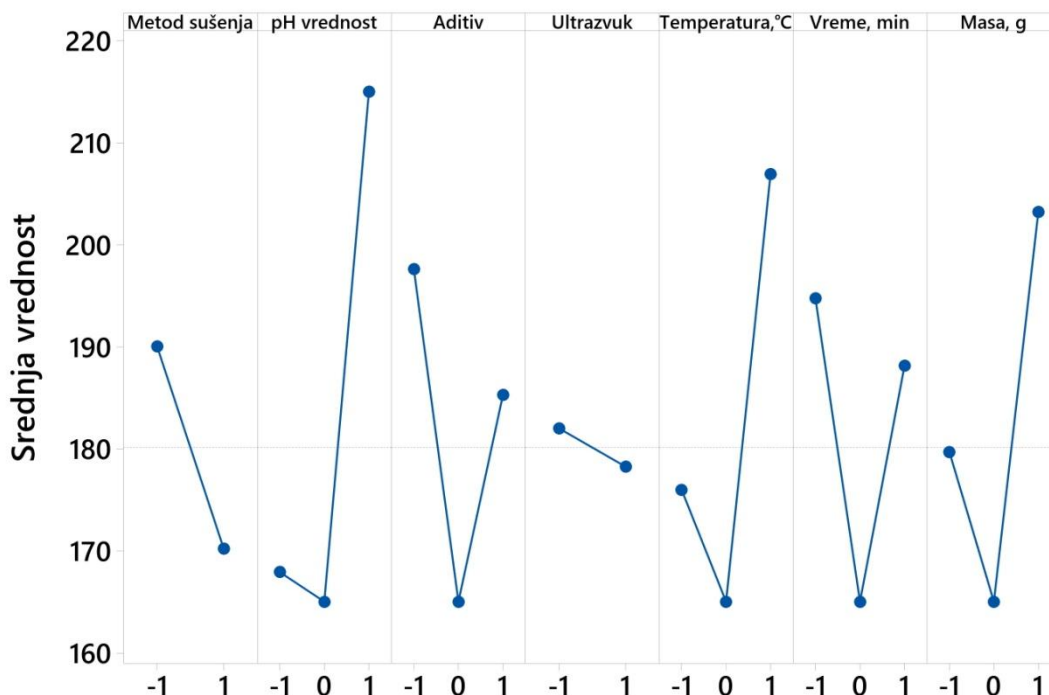


Slika 4. 25. Pareto dijagram uticaja ispitivanih faktora na teksturu sušene začinske paprike (odgovor sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$)

Plodovi paprike mogu biti značajan izvor pektina (do Nascimento et al., 2017). Na osnovu stepena metilacije pektin se deli na dve grupe: visoko metilovani pektin (eng. highly methylated pectin - HMP) sa stepenom metilacije više od 50% i nisko metilovani pektin (low methylated pectin - LMP) sa stepenom metilacije manjim od 50% (Pan et al., 2021). Brojne studije ukazuju da divalentni katjoni (Ca^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}) mogu uticati na geliranje LMP-a, dok monovalentni katjoni mogu dovesti do geliranja i LMP-a i HMP-a (Pan et al., 2021; Haiyan Wang et al., 2019; Wehr et al., 2004). Alkalni uslovi utiču na demetilaciju pektina, nakon čega dolazi do formiranja gela pod dejstvom monovalentnih katjona (Wehr et al., 2004), a što dalje vodi ka povećanju čvrstoće voća i povrća (Castro et al., 2006). Wang i saradnici (2019) su utvrdili da pod alkalnim uslovima joni Na^+ i K^+ vode ka geliranju HMP-a, dok su Pan i saradnici (2021) utvrdili da joni Na^+ mogu dovesti i do geliranja LMP-a.

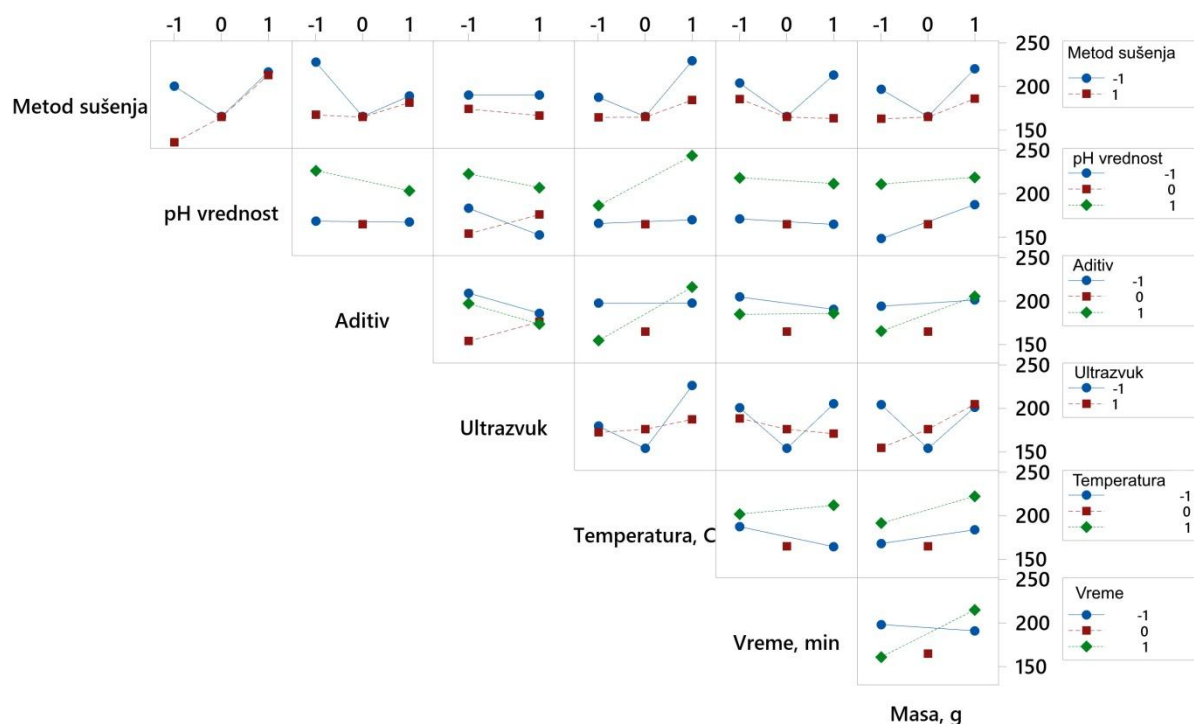
Drugi parametri, mada ne statistički značajni, takođe su imali uticaj na teksturu sušene paprike: temperatura predtretmana, interakcije metod sušenja - pH vrednost, metod sušenja – primenjeni aditiv, metod sušenja i masa uzorka koji je tretiran (Slika 4.25.). Viša temperatura predtretmana

doprinosi boljoj teksturi sušene začinske paprike (Slika 4.26.). Proces blanširanja vodi ka aktivaciji enzima pektin-metilesteraze (PME) koji vrši de-esterifikaciju pektina. Novonastali proizvod, odnosno njegove slobodne karboksilne grupe mogu reagovati sa prisutnim katjonima što vodi ka geliranju (Castro et al., 2006).



Slika 4. 26. Dijagram glavni efekata uticaja ispitivanih faktora na teksturu sušene začinske paprike (odgovor sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$)

Prisutne interakcije metod sušenja - pH vrednost i metod sušenja – primenjeni aditiv ukazuju da povećanje pH vrednosti rastvora za predtretman kod liofilizovanih uzoraka vodi ka povećanju čvrstine osušenog ploda, dok se kod tunelski sušene paprike najbolji rezultati postižu pri pH 3 i pH 10, a najlošiji pri pH vrednosti pH 6,5 (Slika 4.27.). Ovakva zavisnost teksture od pH vrednosti može biti posledica razgradnje pektina pri pH vrednosti 6,5 što je u saglasnosti sa zapažanjima Moreira i saradnika koji su primetili da pri pH vrednostima 5,35 i višim dolazi do razgradnje pektina i ne može doći do formiranja gela (Moreira et al., 2014). Najčvršći plodovi paprike dobijeni su kod uzoraka osušenih u tunelskoj sušari koji su prethodno podvrgnuti ultrazvučnom predtretmanu u rastvoru limunske kiseline, pH vrednosti 10, na temperaturi 80 °C u trajanju od 1 minut, pri čemu je zapremina rastvora za predtretman bila 1 L, a masa tretirane paprike 170 g.



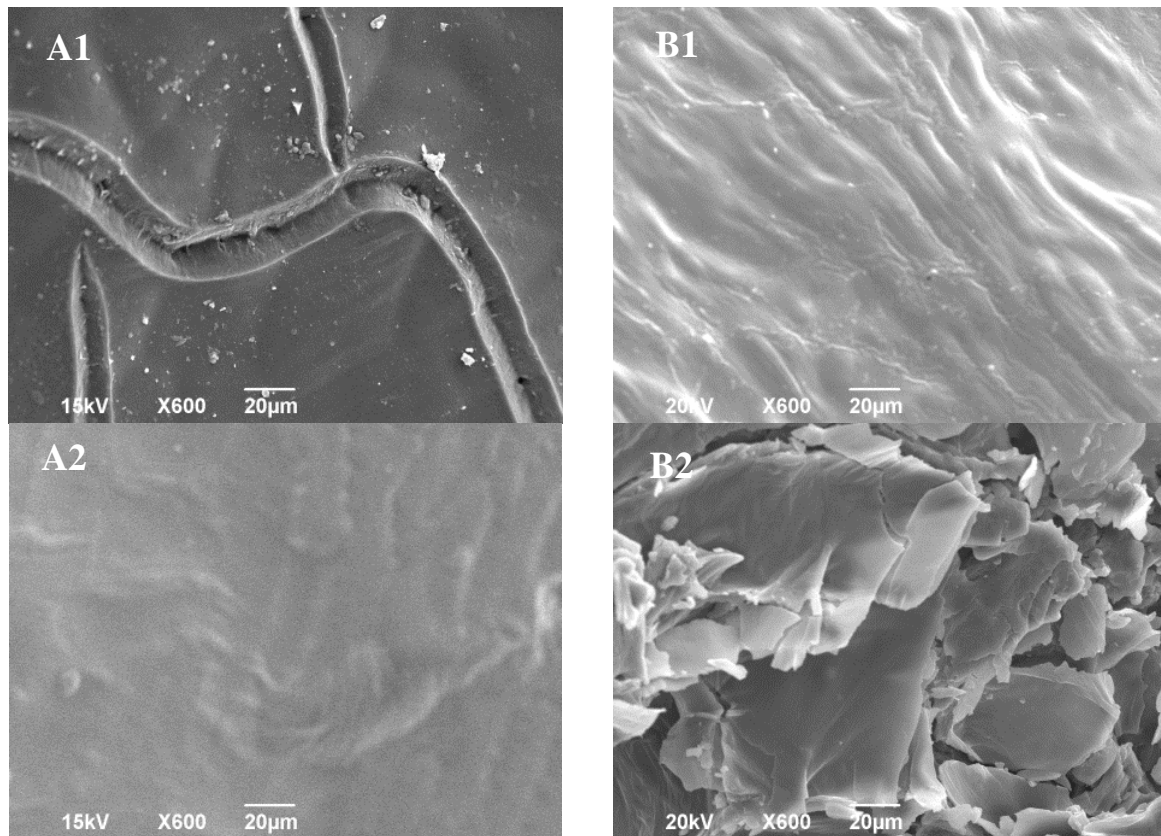
Slika 4. 27. Dijagram interakcija ispitivanih parametara na teksturu sušene začinske paprike (sila proboja pokožice (g), $\alpha=0,05$)

4.3.4. Uticaj primenjenih predtretmana na morfološka svojstva sušene paprike

Analizom slika dobijenih primenom skenirajuće elektronske mikroskopije primećeno je da fizičko-hemijski predtretmani mogu uticati na promene morfoloških svojstava sušene paprike. Promene na površini osušenih plodova ukazuju na eventualna oštećenja tkiva koje mogu uticati na smanjenje nutritivne vrednosti hrane. Analizom kontrolnih uzoraka kod kojih nije vršen predtretman, tj. uzorci dobijeni sušenjem sveže paprike ustanovljeno je da sušenje u tunelskoj sušari (60° C, brzini strujanja vazduha 2 m/s) vodi ka nastanku brazda na površini komadića sušene paprike (Slika 4.28. A1), dok proces liofilizacije utiče na lomljenje unutrašnje strane ploda (Slika 4.28. B2).

Sušenje u tunelskoj sušari

Sušenje postupkom liofilizacije

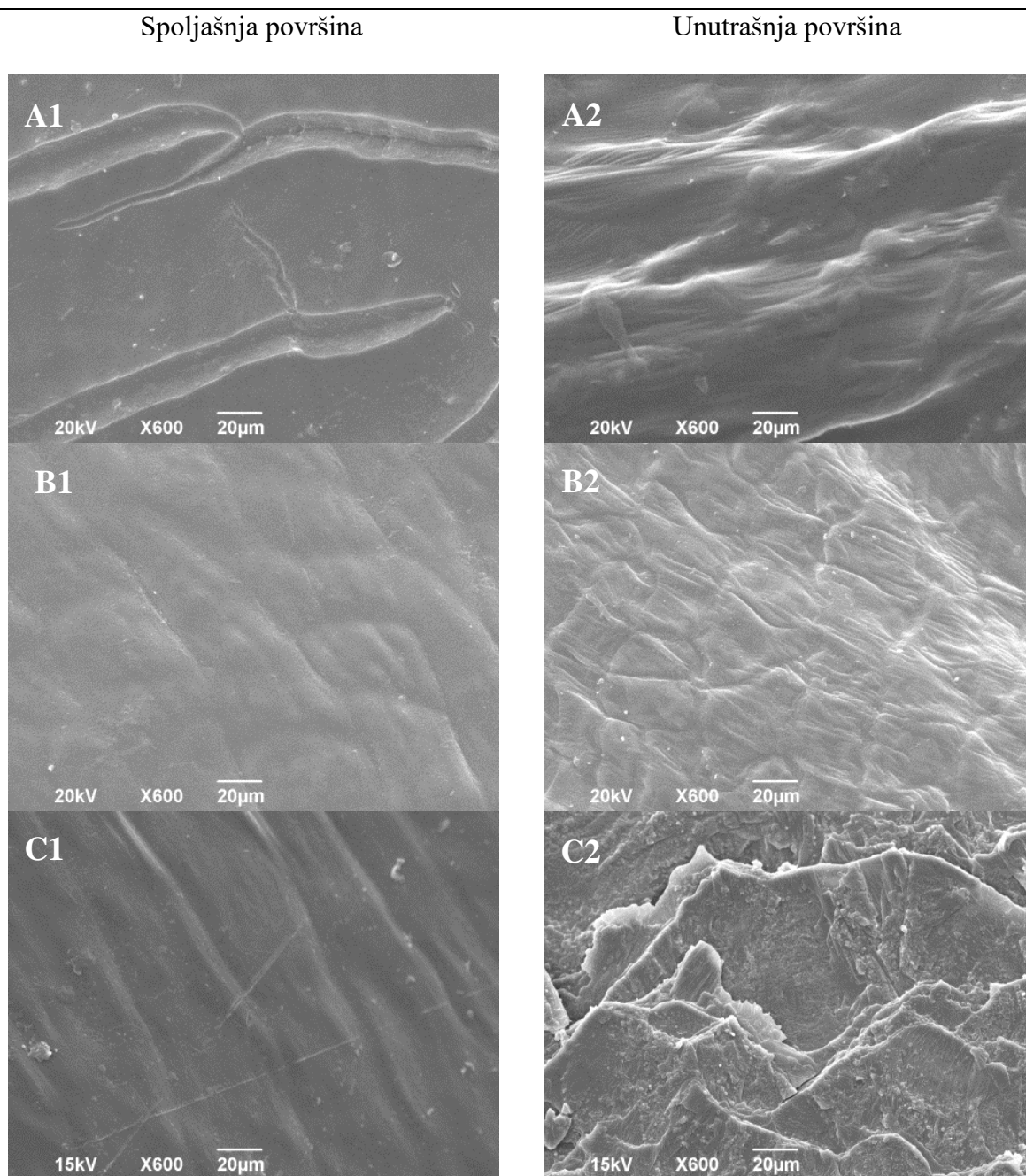


Slika 4. 28. SEM analiza sušene začinske paprike: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina kontrolnog uzorka sušenog u tunelskoj sušari; B1 - spoljašnja i B2 – unutrašnja površina kontrolnog uzorka sušenog postupkom liofilizacije, bez primene predtretmana

Većina predtretmana koji su korišćeni u okviru eksperimentalnog dizajna imali su pozitivan efekat na morfološke karakteristike sušene začinske paprike. Predtretmani su uticali na smanjenje (Slika 4.29. A1) ili potpuno sprečavanje (Slika 4.29. B1 i C1; Slika P6. A i P6. B) pucanja spoljašnje površine i nastanak brazda kod tunelski sušene paprike. Većina predtretmana nisu imali značajniji uticaj na unutrašnju površinu tunelski sušenih uzoraka (Slika 4.29. A2 i B2; Slika P6. C) izuzev predtretmana br. 14 iz eksperimentalnog dizajna za začinsku papriku (Tabela 3.6.; Slika 4.29. C2). Kod ovog uzorka došlo je do značajnog pucanja unutrašnje površine ploda. Promene prikazane na Slici 4.29. C2, mogu biti posledica primene ultrazvuka tokom predtretmana i povišene temperature rastvora za predtretman od 80 °C u trajanju od jednog minuta.

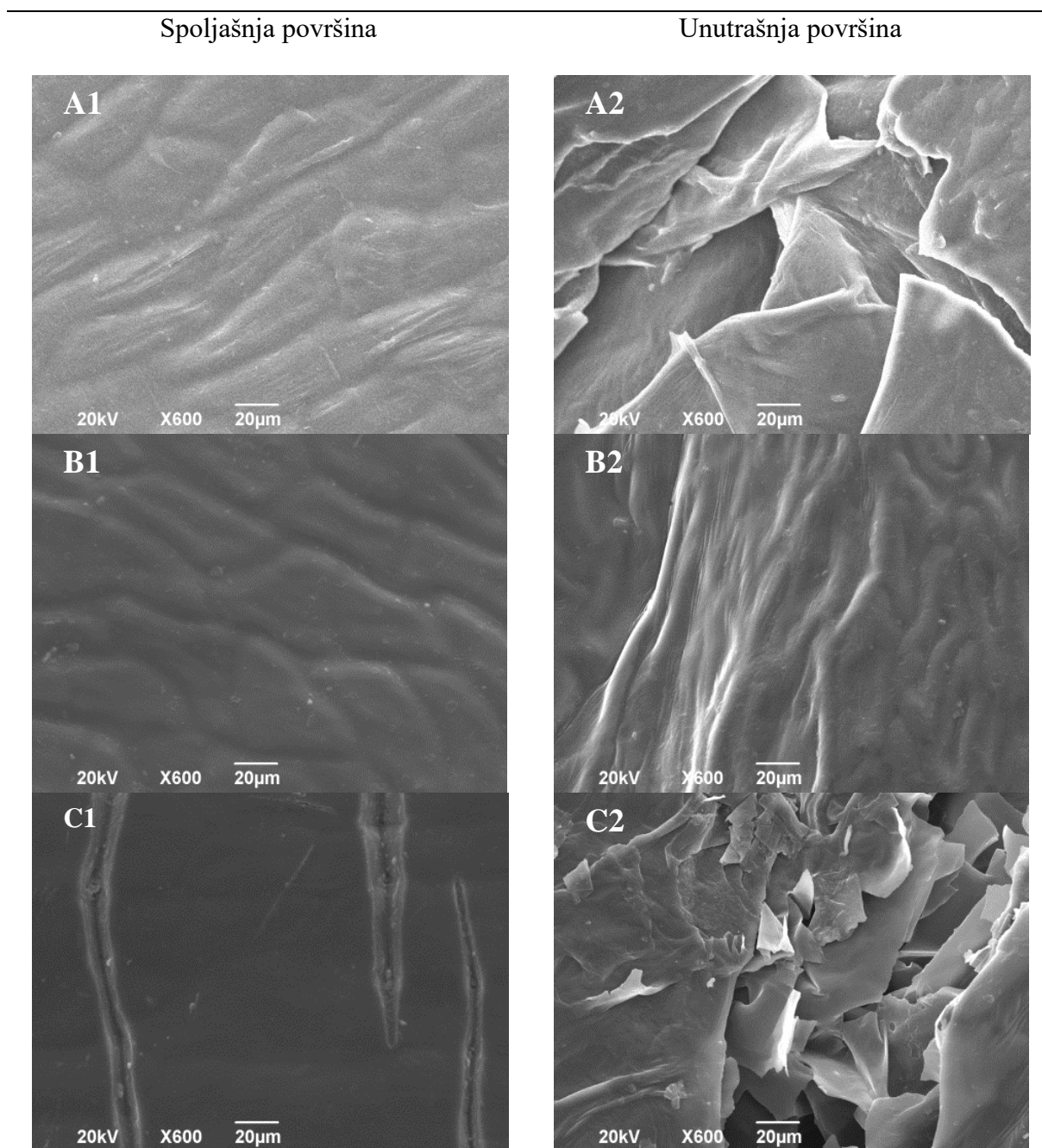
Najveći broj primenjenih predtretmana nije sprečio pucanje unutrašnje površine liofilizovanih uzoraka (Slika 4.30. A2 i C2) izuzev eksperimenta br. 11 (Tabela 3.6., Slika 4.30. B2). Predtretman primenjeni kod eksperimenta br. 16 (Tabela 3.6.; Slika 4.30. C1 i C2) povećali su pucanje i spoljašnje i unutrašnje površine sušene paprike. Prisutne razlike u morfologiji sušene paprike, kao posledica primene predtretmana možda ukazuju da ultrazvučni predtretman utiče na promene unutrašnje površine tokom sušenja paprike (Slika 4.29. C2 i Slika 4.30. C2) bez obzira na to da li se plodovi suše na klasičan način primenom struje toplog vazduha ili pak postupkom liofilizacije.

Uzorci sušeni u tunelskoj sušari



Slika 4. 29. SEM analiza uzoraka tunelski sušene paprike koji su pre sušenja prošli odgovarajuće fizičko-hemijske predtretmane: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina uzorka 2 iz FFD; B1 – spoljašnja i B2 – unutrašnja površina uzorka 4 iz FFD; C1 – spoljašnja i C2 – unutrašnja površina uzorka 14 iz FFD

Uzorci sušeni postupkom liofilizacije

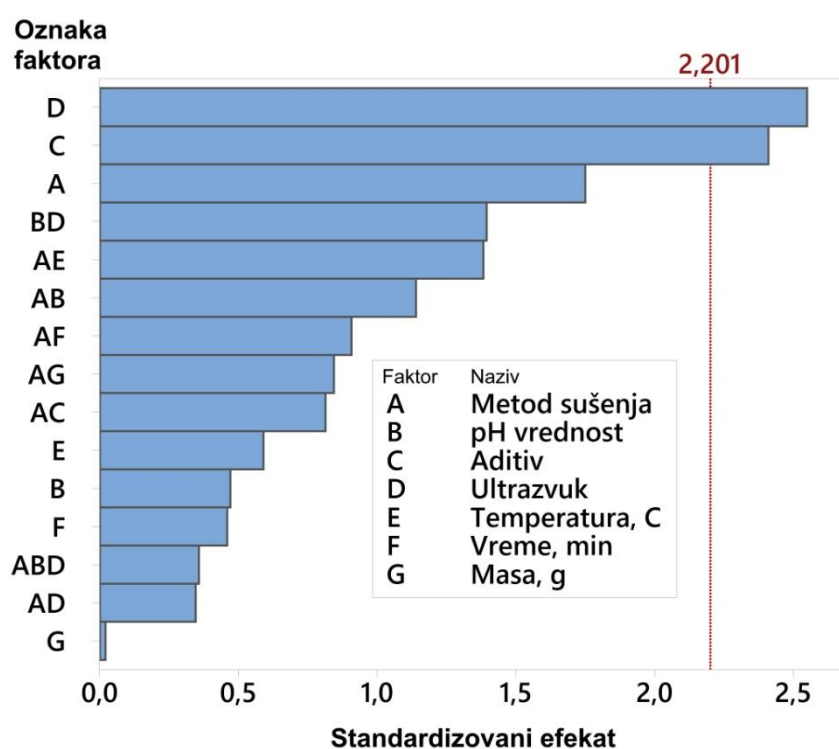


Slika 4. 30. SEM analiza liofilizovanih uzoraka paprike, koji su pre sušenja prošli odgovarajuće fizičko-hemijske predtretmane: A1 – spoljašnja i A2 – unutrašnja površina uzorka 6 iz FFD; B1 – spoljašnja i B2 – unutrašnja površina uzorka 11 iz FFD; C1 – spoljašnja i C2 – unutrašnja površina uzorka 16 iz FFD

Na osnovu ispitivanja izvedenih u okviru ove disertacije procenjeno je da primena predtretmana doprinosi smanjenju vremena sušenja paprike, što svakako utiče na hemijski i fizičke parametre kvaliteta finalnog proizvoda. Za određivanje stvarnog uticaja pojedinačnih predtretmana potrebno je uraditi dodatna ispitivanja koja bi se izvodila u realnim industrijskim uslovima proizvodnje.

4.4. FUNKCIJA POŽELJNOSI

U cilju utvrđivanja eksperimentalnih uslova pri kojima se dobija najbolji kvalitet sušene začinske paprike prikupljeni podaci su analizirani primenom funkcije poželjnosti. Ovom analizom je obuhvaćeno ukupno trinaest odgovora sistema i to: (1) sadržaj ukupnih polifenola, (2) sadržaj ukupnih karotenoida, (3) sadržaj L-askorbinske kiseline, (4) antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, (5) antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje (6) svetloća (L^*), (7) crvena boja (a^*), (8) žuta boja (b^*), (9) ugao (hue°), (10) zasićenje boje (C^*), (11) ne-enzimatski indeks tamnjenja, (12) tekstura i (13) rehidracija. Poželjnost svih odgovora sistema, izuzev žute boje (b^*) i ne-enzimatskog indeksa tamnjenja su podešeni da budu najmanji. Poželjnost žute boje (b^*) i ne-enzimatskog indeksa tamnjenja je podešena da bude minimalna. Takođe, značaj svih odgovora je bio isti, tj. svi odgovori su imali isto „opterećenje“. Funkcija poželjnosti je ukazala da na kvalitet sušene začinske paprike, kada se posmatra navedenih trinaest karakteristika, statistički značajan uticaj imaju primena ultrazvuka i vrste aditiva što se može videti na Pareto dijagramu koji je prikazan na Slici 4.31.

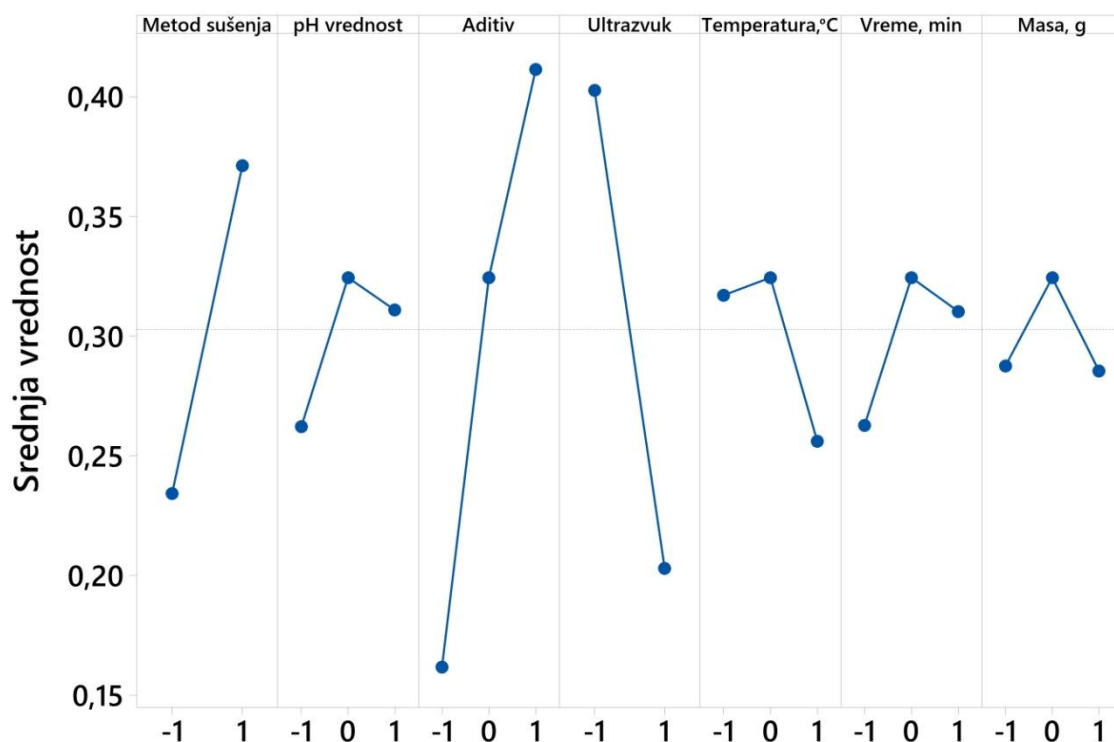


Slika 4. 31. Pareto dijagram funkcije poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L^*), crvena boja (a^*), žuta boja (b^*), ugao boje (hue°), zasićenje boje (C^*), ne-enzimatski indeks tamnjenja i stepen rehidracije)

Analizom ostvarenih rezultata za pojedinačne odgovore sistema utvrđeno je da ultrazvuk nema statistički značaj ni za jedan odgovor sistema, pri čemu u manjoj meri doprinosi boljem očuvanju polifenola, karotenoida, antioksidativnog kapaciteta sušene začinske paprike, kao i smanjenju ne-enzimatskog indeksa tamnjenja i žute boje sušene začinske paprike. Sa druge strane, primena ultrazvuka je negativno uticala na teksturu osušenog ploda, sposobnost rehidracije, i većinu parametara boje L^* , a^* , C^* i hue° . Uticaj ultrazvuka na sadržaj vitamina C je bio neznan, i imao je blag pozitivan uticaj kod začinske paprike, dok je kod plodova konzumne paprike uticao na gubitak ovog vitamina. Bez obzira na rezultate dobijene kod pojedinačnih odgovora sistema, primena

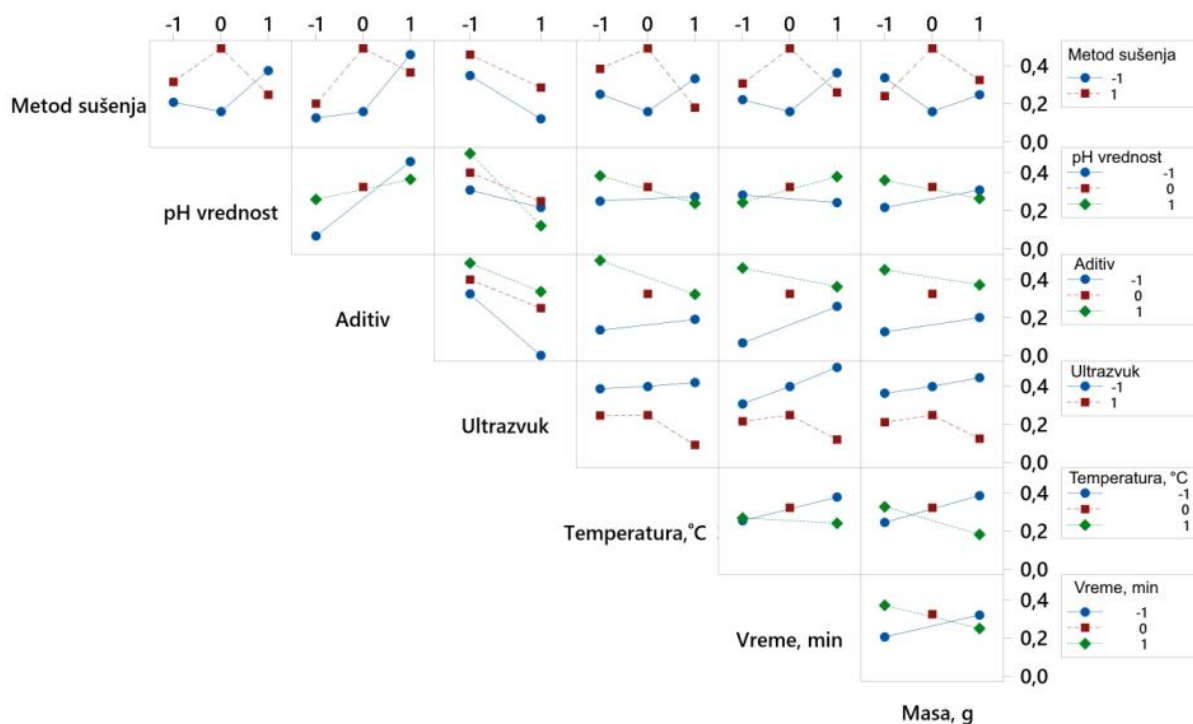
funkcije poželjnosti je ukazala da ultrazvučni predtretman ima statistički značaj za ukupan kvalitet sušene začinske paprike (Slika 4.31.) i da je taj uticaj negativan (dijagram glavnih efekata prikazan na Slici 4.32.). Ovakvi rezultati se mogu objasniti negativnim uticajem ultrazvuka na boju, teksturu i sposobnost rehidracije sušene začinske paprike, pri čemu je funkcija poželjnosti obuhvatila šest parametara koji se odnose na boju i fizičke parametre. Primena ultrazvuka tokom predtretmana verovatno oštećuje ćelijske zidove usled čega se narušava sposobnost rehidracije osušenih uzoraka. Dejstvo ultrazvučnih talasa u tečnom medijumu stvara kavitacije koje dalje utiču na pojavu naglih, lokalizovanih promena temperature i pritiska. Mehanizami dejstva ultrazvuka na materijal koji se tretira su već prethodno objašnjeni. Ultrazvučni predtretman utiče na ekstrakciju jedinjenja iz čvrstih komadića, kao i do ulaska tečnosti spolja kroz formirane pukotine (u ovom slučaju ulazak rastvora koji se koristi za predtretman). Pored nastanka većih pukotina mogu nastati i mikrokanali koji olakšavaju maseni transport (Rodriguez et al., 2017).

Najbolji ukupan kvalitet sušene začinske paprike, posmatrano sa stanovišta uticaja glavnih efekata ostvaruje se nakon primene sledećeg predtretmana: rastvor KMS sa pH vrednošću 6,5 u trljanju 3 minuta na 50 °C, bez primene ultrazvuka, pri odnosu čvrsto-tečno 100:1 (g:L) i finalnim sušenjem postupkom liofilizacije.



Slika 4. 32. Dijagram glavnih efekata za funkciju poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L^*), crvena boja (a^*), žuta boja (b^*), ugao boje (hue°), zasićenje boje (C^*), ne-enzimatski indeks tamnjenja, tekstura i stepen rehidracije)

Mada ostali parametri i njihove interakcije nisu imali statistički značajan uticaj na ukupan kvalitet sušene začinske paprike, određeni uticaj ovih parametara ipak postoji, što se i vidi sa Pareto dijagrama prikazanog na Slici 4.31. Dijagram interakcija dat je na Slici 4.33., i pomoću njega se može izvršiti tumačenje uticaja ovih interakcija na ukupan kvalitet.



Slika 4. 33. Dijagram interakcija ispitivanih parametara za funkciju poželjnosti kada se obuhvati 13 odgovora sistema (sadržaj ukupnih polifenola, sadržaj ukupnih karotenoida, sadržaj L-askorbinske kiseline, antioksidativna aktivnost merena DPPH testom, antioksidativna aktivnost merena FRAP testom, parametri boje svetloća (L^*), crvena boja (a^*), žuta boja (b^*), ugao boje (hue°), zasićenje boje (C^*), ne-enzimatski indeks tamnjenja, tekstura i stepen rehidracije)

Neke od bitnijih interakcija su pH vrednost – ultrazvuk, metod sušenja – temperatura predtretmana i metod sušenja – pH vrednost. Sa dijagrama interakcija (4.33.) primećuje se da primena ultrazvuka pri svim pH vrednostima rastvora za predtretman utiče na smanjenje ukupnog kvaliteta sušene začinske paprike, a do najvećih promena dolazi pri pH vrednosti 10, tj. najveći pad ukupnog kvaliteta se dešava tokom primene ultrazvuka pri pH vrednosti 10. Kod liofilizovanih uzoraka povećanje temperature predtretmana utiče na smanjenje ukupnog kvaliteta sušene začinske paprike, dok je kod uzoraka sušenih u tunelskoj sušari situacija obrnuta – najbolje očuvanje ukupnog kvaliteta sušene začinske paprike se postiže nakon primene više temperature predtretmana (80°C). Interakcija između metoda sušenja i pH vrednosti rastvora za predtretman ukazuje da je kod liofilizovanih uzoraka bolje primeniti pH vrednost 6,5, a kod uzoraka sušenih u tunelskoj sušari bolje očuvanje ukupnog kvaliteta se postiže kada je vrednost rastvora za predtretman jednaka 10.

4.5. MIKROBIOLOŠKA SVOJSTVA OSUŠENIH PROIZVODA

Mikrobiološka analiza sušene hrane i začina je od posebnog značaja, pošto ova vrsta proizvoda može imati povećan broj mikroorganizama (bakterija, kvasaca i plesni), ali i prisustvo patogena, kao što je *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* i *Escherichia coli* O157:H7. Broj i vrste mikroorganizma u finalnom sušenom proizvodu zavise od stepena kontaminacije polaznog svežeg voća/povrća, kao i od higijenskih uslova tokom predtretmana, sušenja i kasnijeg skladištenja. U sušenoj hrani često su prisutne različite plesni, koje mogu stvoriti različite toksine opasne po ljudsko zdravlje (Alp & Bulantekin, 2021; Chitrakar et al., 2019). Kao što je već ranije pomenuto, u teorijskom delu disertacije, metod sušenja može značajno uticati na mikrobiološku aktivnost osušene hrane. Sušenje na suncu predstavlja najrizičniji postupak sušenja zbog izloženosti spoljašnjem vazduhu, dugog perioda sušenja i uslovljenosti vremenskim uslovima. Sušenje u tunelskim sušarama strujom toplog vazduha je znatno bolje sa mikrobiološke tačke gledišta zbog viših temperatura i boljih higijenskih uslova, mada ovaj postupak sušenja utiče na degradaciju boje i drugih visokovrednih komponenti paprike (Topuz et al., 2009). Predtretmani takođe imaju veliki uticaj na smanjenje broja mikroorganizama ukoliko se primene pre procesa sušenja. Brojne studije ukazuju da predtretmani u kiselim rastvorima i kalijum-metabisulfitu utiču na inaktivaciju mikroorganizama i doprinose boljoj bezbednosti osušene hrane (Alp & Bulantekin, 2021). Osim hemijskih predtretmana i sam postupak blanširanja takođe doprinosi inaktivaciji i smanjenju broja mikroorganizama zbog dejstva povišene temperature, i kasnijeg uklanjanja vode koja je upotrebljena tokom blanširanja. Problem može nastati, ukoliko se voda iz ciklusa hlađenja koristi duži vremenski period, što vodi do povećanja kontaminacije i umnožavanja bakterija (Fellows & Fellows, 2017).

Rezultati mikrobiološke analize kontrolnih uzoraka sušene začinske paprike prikazani su u Tabeli 4.12., dok su rezultati odabranih uzoraka iz eksperimentalnog dizajna za začinsku papriku prikazani u Tabeli 4.13.

Tabela 4. 12. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod kontrolnih uzoraka sušene začinske paprike cfu/g

Mikroorganizmi	Sušenje na suncu	LF	LF*	TS	TS*	Granične vrednosti ^a
Ukupan broj mezofilnih bakterija	650	5500	3250	5200	350	$<1 \times 10^5$ cfu/g
Kvaci i plesni	3950	20	< 10	< 10	< 10	$<1 \times 10^3$ cfu/g
Koliformi	< 10	< 10	<10	50	<10	$<1 \times 10^3$ cfu/g
<i>Escherichia coli</i>	<10	<10	< 10	< 10	< 10	<10 cfu/g
Sulfitoredukujuće klostridije	<10	<10	<10	<10	<10	$<1 \times 10^2$ cfu/g
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND	ND	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND	ND	$<1 \times 10^2$ cfu/g
<i>Bacillus cereus</i>	70	50	40	<10	<10	$<1 \times 10^3$ cfu/g

LF – uzorci osušeni postupkom liofilizacije

LF* - uzorci osušeni postupkom liofilizacije, prethodno blanširani u vodi 3 minuta na temperaturi 80°C

TS – uzorci osušeni u tunelskoj sušari

TS* - uzorci osušeni u tunelskoj sušari, prethodno blanširani u vodi 3 minuta na temperaturi 80°C

^a – Granične vrednosti su date na osnovu Vodiča za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu Ministarstva poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije i na osnovu regulativa Evropske Unije (Commission regulation, 2005, 2007; Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, 2011)

Rezultati analize kontrolnih uzoraka ukazuju da metod sušenja i blanširanje pre sušenja imaju uticaj na sadržaj ukupnih bakterija, kvasaca i plesni i broj *Bacillus cereus*, dok ni jedan od ispitivanih uzoraka nije imao povećan sadržaj *Escherichia coli*, sulfitoredujućih klostridija, odnosno nisu detektovane *Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes*. Sadržaj kvasaca i plesni je bio povišen u slučaju uzoraka sušenih na suncu, usled dužeg perioda sušenja i izloženosti spoljašnjem vazduhu. Uzorci sušeni postupkom liofilizacije i strujom toplog vazduha u tunelskoj sušari su imali viši sadržaj ukupnih bakterija u odnosu na uzorke sušene na suncu, pri čemu je blanširanje pre sušenja doprinelo smanjenju broja bakterija pogotovo kod paprike sušene na povišenoj temperaturi. Ovakvi rezultati su u saglasnosti sa literaturnim podacima, gde se navodi da je vijabilnost ćelija mnogo veća u suvom stanju, nego kada je prisutan viši sadržaj vode, odnosno u slučaju tzv. „vlažnog sušenja“ (Chitrakar et al., 2019). Osim toga do smanjenja broja mikroorganizama dolazi i tokom samog procesa blanširanja, usled njihovog prelaska u vodu i inaktivacije na povišenim temperaturama (Fellows & Fellows, 2017). U pogledu broja kolonija *Bacillus cereus*, može se zaključiti da je kod svih kontrolnih uzoraka prisustvo ove bakterije ispod granične vrednosti. Najniži broj je zabeležen kod tunelski sušenih uzoraka (<10), a najveći kod uzoraka sušenih na suncu. Kod uzoraka sušenih u tunelskoj sušari proizvedenih od sveže paprike ustanovljeno je prisustvo koliformnih bakterija, što s obzirom na niže vrednosti ukupnih bakterija ukazuje da je najverovatnije došlo do postkontaminacije tokom mlevenja ili pakovanja uzoraka.

Tabela 4. 13. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod odabranih uzoraka sušene začinske paprike iz eksperimentalnog dizajna (Tabela 3.6.) cfu/g

Mikroorganizmi	Eksperiment 1	Eksperiment 10	Eksperiment 11	Granične vrednosti
Ukupan broj mezofilnih bakterija	23000	350	500	$<1 \times 10^5$ cfu/g
Kvaci i plesni	20	< 10	< 10	$<1 \times 10^3$ cfu/g
Koliformi	< 10	< 10	< 10	$<1 \times 10^3$ cfu/g
<i>Escherichia coli</i>	< 10	< 10	< 10	<10 cfu/g
Sulfitoredujuće klostridije	< 10	< 10	< 10	$<1 \times 10^2$ cfu/g
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	$<1 \times 10^2$ cfu/g
<i>Bacillus cereus</i>	40	20	< 10	$<1 \times 10^3$ cfu/g

Eksperiment 1 - liofilizovani uzorci začinske paprike koji su pre sušenja potopljani u 0,25% rastvor KMS, pH vrednosti 3 na temperaturi 20 °C tokom 1 minuta, uz primenu ultrazvuka pri masi uzorka od 170 g

Eksperiment 10 - liofilizovani uzorci začinske paprike koji su pre sušenja potopljani u 0,25% rastvor KMS i LK, pH vrednosti 6,5 na temperaturi 50 °C tokom 3 minuta, uz primenu ultrazvuka pri masi uzorka od 100 g

Eksperiment 11 - liofilizovani uzorci začinske paprike koji su pre sušenja potopljani u 0,25% rastvor KMS i LK, pH vrednosti 6,5 na temperaturi 50 °C tokom 3 minuta, pri masi uzorka od 100 g

Iz eksperimentalnog dizajna su odabrana tri liofilizovana uzorka sušene začinske paprike, gde se na osnovu rezultati mikrobiološke aktivnosti može zaključiti da dodatak smeše KMS i LK tokom predtretmana utiče na smanjenje broja ukupnih bakterija čak i pri nižim temperaturama predtretmana (50 °C). Sa druge strane predtretman u rastvoru KMS i temperaturi 20 °C je uticao na povećanje broja ukupnih bakterija u odnosu na kontrolne uzorke, mada su vrednosti bile ispod graničnih. Eksperiment 1 iz eksperimentalnog dizajna za začinsku papriku koji je podrazumevao predtretman sa KMS na temperaturi 20 °C dao je isti broj cfu/g za *Bacillus cereus*, kao i u slučaju postupka blanširanja u vodi.

Rezultati mikrobiološke analize kontrolnih uzoraka konzumne paprike prikazani su u Tabeli 4.14., dok su rezultati mikrobiološke analize odabranih uzoraka konzumne paprike iz eksperimentalnog dizajna prikazani u tabeli 4.15. Kod kontrolnih uzoraka je zabeleženo prisustvo ukupnih mezofilnih bakterija, kvasaca i plesni, koliformnih bakterija i *Bacillus cereus*, dok su *Escherichia coli* i sulfitoredujuće klostridije bile u koncentraciji < 10, a *Salmonella* spp. i *Listeria*

monocytogenes nisu detektovane kao i slučaju sušene začinske paprike. Najviša kontaminacija kontrolnih uzoraka kod konzumne paprike, kao i u slučaju začinske paprike zabeležena je kod uzoraka sušenih na suncu. Kod konzumne paprike sušene na suncu i konzumne paprike sušene u tunelskoj sušari sadržaj ukupnih bakterija je bio niži u odnosu na odgovarajuće kontrolne uzorke sušene začinske paprike. Takođe, kod svih uzoraka sušene konzumne paprike zabeležen je niži sadržaj kvasaca i plesni, čak i kod paprike sušene na suncu. Sa druge strane, uzorci paprike sušeni na suncu imali su visok sadržaj koliformnih bakterija 1×10^4 , što je iznad granične vrednosti. Kod kontrolnih uzoraka broj *Bacillus cereus* je bio ispod graničnih vrednosti, s tim da su najviše vrednosti detektovane kod liofilizovanih uzoraka koji su pre sušenja blanširani.

Tabela 4. 14. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod kontrolnih uzoraka sušene konzumne paprike cfu/g

Mikroorganizmi	Sušenje na suncu	LF	LF*	TS
Ukupan broj mezofilnih bakterija	7400	3500	2250	4980
Kvaci i plesni	60	40	< 10	< 10
Koliformi	10000	< 10	< 10	20
<i>Escherichia coli</i>	< 10	< 10	< 10	< 10
Sulfitoredujuće klostridije	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	< 10	< 10	80	60

LF – uzorci osušeni postupkom liofilizacije

LF* – uzorci osušeni postupkom liofilizacije, prethodno blanširani u vodi 3 minuta na temperaturi 80°C

TS – uzorci osušeni u tunelskoj sušari

Tabela 4. 15. Sadržaj određenih grupa mikroorganizama kod odabranih uzoraka sušene konzumne paprike iz eksperimentalnog dizajna (Tabela 3.6.) cfu/g

Mikroorganizmi	Eksperiment 8	Eksperiment 11	Eksperiment 16
Ukupan broj mezofilnih bakterija	1100	< 10	1850
Kvaci i plesni	30	30	50
Koliformi	< 10	< 10	< 10
<i>Escherichia coli</i>	< 10	< 10	< 10
Sulfitoredujuće klostridije	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	ND	ND
<i>Bacillus cereus</i>	< 10	< 10	< 10

Eksperiment 8 – liofilizovani uzorci konzumne paprike, dimenzija 4×4 cm×cm, koji su pre sušenja potopljeni u 0,25% rastvor KMS i LK, pH vrednosti 6,5 na temperaturi 50 °C tokom 3 minuta, uz primenu ultrazvuka pri masi uzorka od 100 g

Eksperiment 11 – liofilizovani uzorci konzumne paprike, dimenzija 2×2 cm×cm, koji su pre sušenja potopljeni u 0,25% rastvor KMS, pH vrednosti 3 na temperaturi 20 °C tokom 5 minuta, uz primenu ultrazvuka pri masi uzorka od 30 g

Eksperiment 16 – liofilizovani uzorci konzumne paprike, dimenzija 4×4 cm×cm, koji su pre sušenja potopljeni u 0,25% rastvor KMS i LK, pH vrednosti 6,5 na temperaturi 50 °C tokom 3 minuta, pri masi uzorka od 100 g

Iz eksperimentalnog dizajna su odabrana tri liofilizovana uzorka sušene konzumne paprike, gde je mikrobiološka aktivnost ukazala na niži sadržaj svih analiziranih mikroorganizama u odnosu na kontrolne uzorke. Kod ovih uzoraka s obzirom na duže dejstvo KMS (5 minuta) i pri nižoj

temperaturi 20 °C došlo je do značajnog smanjenja broja svih mikroorganizama, gde je i broj ukupnih mezofilnih bakterija bio ispod 10 cfu/g.

5. ZAKLJUČAK

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije mogu se podeliti na tri dela na osnovu faze prerade ploda paprike. U okviru prvog dela urađena su ispitivanja koja se odnose na analizu sirovih paprika, kao i ispitivanja koja se odnose na komercijalne gotove proizvode paprike. Neki od najvažnijih zaključaka koji se mogu izvesti na bazi rezultata dobijenih u ovoj disertaciji su:

- Koncentracija esencijalnih i toksičnih elemenata značajno varira u analiziranim komercijalnim uzorcima paprike usled različitih sorti, porekla, dodatih sastojaka kod prerađenih proizvoda i usled različitog sadržaja vode (sveže, prerađene i suve paprike).
- Prerađeni proizvodi paprike (kisele paprike, paprika u pavlaci i punjena paprika) imaju povišen sadržaj Na i Ca usled njihovog dodatka tokom postupka prerade plodova. Kalcijum se dodaje u cilju poboljšanja teksture, dok se Na dodaje u vidu natrijumovih soli u cilju korekcije ukusa.
- Analizom komercijalno dostupnih uzoraka ustanovljeno je da je najzastupljeniji element K, a prate ga P, Mg, Ca i Na. Sadržaj mikroelemenata imao je sledeći redosled: Fe>Zn>Mn>Cu>Mo>Co>Se, dok su ne-esencijalni/toksični elementi imali sledeću zastupljenost: Al>B>Li>Ni>As>Cr>Pb>Cd>Hg.
- Analizom većeg broja uzoraka paprike detektovano je prisustvo toksičnih elemenata Al, Ni, As, Pb i Cd, dok je Hg bila prisutna u 10 od 28 uzoraka. Ipak sadržaj ovih elemenata, ne prelazi zakonom propisane norme.
- Kod sorte *Kurtovska kapija* analiziran je elementarni sastav svežih plodova u tri stepena zrelosti: zeleni, poluzreli i zreli plodovi. Rezultati ovoga istraživanja su ukazali na kontinualnu promenu sadržaja elemenata tokom sazrevanja ploda, što se ogleda u višem stepenu usvajanja i specifične translokacije K, Zn, Mn, Cu, B i gotovo stalne cirkulacije Mg i Fe do pune zrelosti ploda.
- Analizom plodova sorte *Kurtovska kapija* detektovano je prisustvo Ni, Al, Pb, Cd, Hg, i As u sva tri stepena zrelosti, pri čemu zabeležene koncentracije nisu prešle dozvoljene granične vrednosti.
- Mada su plodovi paprike bogat izvor različitih nutrijenata kao što su vitamini, karotenoidi, polifenoli, vlakna itd., ova vrsta povrća ne predstavlja značajan izvor minerala u ishrani. U okviru ovoga istraživanja utvrđeno je da najveći broj analiziranih uzoraka paprike ne doprinosi značajno preporučenom dnevnom unosu minerala. Izuzetak su bili određeni plodovi svežih i kiselih paprika koji značajno doprinose preporučenom dnevnom unosu mikroelemenata kao što su Cu, Cr i Mo.
- Konzumacija različitih plodova paprike i proizvoda na bazi paprike ne predstavlja zdravstveni rizik za decu i odrasle sa stanovišta unosa toksičnih elemenata Al, Hg, Cd i As. Sa druge strane, rezultati ovoga istraživanja ukazuju da postoji potencijalna potreba praćenja sadržaja Pb i Ni u povrću sa aspekta zdravstvenih rizika, pošto su kod par uzoraka zabeležene povišene koncentracije ovih elemenata.
- Kod četiri sorte konzumne paprike (*Dukat*, *Slonovo uvo*, *Kalifornijska* i *Kurtovska kapija*), u tri stepena zrelosti, određen je sadržaj L-askorbinske kiseline, sadržaj dehidroaskorbinske kiseline i sadržaj ukupnog vitamina C. Kod začinske paprike određen je sadržaj L-askorbinske kiseline zrelih plodova. Sadržaj L-askorbinske kiseline raste sa stepenom zrelosti ploda izuzev za sortu *Kalifornijska* (opada sa promenom boje ploda u crvenu). Redukcija dehidroaskorbinske kiseline u askorbinsku sa ditiotreitolum (DTT) je ukazala na prisustvo dehidroaskorbinske kiseline za sva tri stepena zrelosti kod sorti *Slonovo uvo*, *Kalifornijska* i *Kurtovska kapija*, dok kod sorte *Dukat* ovaj oblik vitamina C nije detektovan. Redukcija sa tioglikolnom kiselinom (TGA) je dala različite rezultate u odnosu na redukciju sa DTT – rezultati ukazuju da i plodovi sorte *Dukat* sadrže dehidroaskorbinsku kiselinu.

U okviru drugog dela ispitivanja izvršena je analiza uticaja određenih predtretmana (bez faze sušenja) na određene parametre kvaliteta konzumne i začinske paprike.

- Za sortu *Kurtovska kapija* izvršeno je ispitivanje uticaja ultrazvučnog predtretmana na sadržaj esencijalnih i toksičnih elemenata. U toku istraživanja upotrebljena su dva rastvarača: voda i rastvor sirćetne kiseline. Istraživanje je ukazalo da se ne mogu postići optimalni uslovi pri kojima bi se ostvarilo istovremeno očuvanje svih esencijalnih elemenata. Pored toga utvrđeno je da su zeleni plodovi najnepogodniji za proces prerade, pošto kod ovih plodova dolazi do najvećeg gubitka minerala. Upotreba rastvora sirćetne kiseline može poboljšati ekstrakciju toksičnih elemenata Al, Hg i As. Ekstrakcija Al bila je uslovljena koncentracijom sirćetne kiseline, gde je ekstrakcija ovog elementa opadala sa porastom koncentracije sirćetne kiseline. Niže koncentracije sirćetne kiseline (1:5 g:mL) vodile su i većim gubicima Fe, B i Mn. Predtretman podpomognut ultrazvukom u rastvoru sirćetne kiseline doveo je do gubitka 77% ukupno sadržaja Fe kod zrelih crvenih plodova paprike *Kurtovska kapija*.
- Sadržaj L-askorbinske kiseline u svežim plodovima začinske paprike (sorta *Horgoška slatka 6*) bio je dosta visok i iznosio je 292 mg/g suve materije. Kod plodova začinske paprike izvršeno je ispitivanje uticaja kombinacije ultrazvučnog, hemijskih i toplotnih predtretmana na sadržaj L-askorbinske kiseline. Istraživanje je ukazalo da većina predtretmana vodi ka smanjenju sadržaja ovog vitamina, gde je do najvećeg pada došlo nakon predtretmana na povišenoj temperaturi (50 i 80 °C).
- Najveći broj predtretmana kod plodova začinske paprike nije značajno uticao na promenu sadržaja ukupnih polifenola. Jedan deo predtretmana je naizgled doveo do povećanja sadržaja, ali najverovatnije je došlo do reakcije između primenjenih aditiva (kalijum-metabisulfit i limunska kiselina) i Folin Ciocalteu reagensa. Do najvećeg smanjenja sadržaja ukupnih polifenola, kao i u slučaju L-askorbinske kiseline, došlo je nakon predtretmana na povišenim temperaturama (50 i 80 °C).

U okviru trećeg dela ispitivanja izvršena je analiza uticaja određenih predtretmana i metoda sušenja na odgovarajuće parametre kvaliteta sušene konzumne i začinske paprike. Kod konzumne paprike upotrebljena je sorta *Kurtovska kapija*, a ispitivan je uticaj osam različitih parametara: (1) temperatura rastvora za predtretman, (2) vreme predtretmana, (3) pH vrednost rastvora za predtretman, (4) vrsta primenjenog aditiva (kalijum-metabisulfit, limunska kiselina i smeša kalijum-metabisulfita i limunske kiseline), (5) masa tretiranog ploda pri konstantnoj zapremini rastvora za predtretman, (6) dimenzije komadića ploda, (7) primena ultrazvuka i (8) metod sušenja. Kod začinske paprike upotrebljena je sorta *Horgoška slatka 6*, a ispitivan je uticaj sedam parametara: (1) temperatura rastvora za predtretman, (2) vreme predtretmana, (3) pH vrednost rastvora za predtretman, (4) vrsta primenjenog aditiva (kalijum-metabisulfit, limunska kiselina i smeša kalijum-metabisulfita i limunske kiseline), (5) masa tretiranog ploda pri konstantnoj zapremini rastvora za predtretman, (6) primena ultrazvuka i (7) metod sušenja.

- Analizom sadržaja L-askorbinske kiseline u sušenim plodovima začinske i konzumne paprike ustanovljeno je da oba postupka sušenja (sušenje u tunelskoj sušari i liofilizacija) utiču na gubitak ovog vitamina. Uzorci sušene konzumne paprike analizirani su mesec dana nakon sušenja i kod ovih uzoraka je utvrđeno da metod sušenja ima statistički značajan uticaj na sadržaj vitamina C. Postupak liofilizacije je bio bolji za očuvanje ovog vitamina. Uzorci sušene začinske paprike analizirani su osam meseci nakon sušenja i kod ovih uzoraka je utvrđeno da tri parametra imaju statistički značajan uticaj na sadržaj vitamina C: metod sušenja, temperatura predtretmana i vreme predtretmana. Bolje očuvanje L-askorbinske kiseline postignuto je prilikom sušenja postupkom liofilizacije i prethodnim predtretmanom na nižim temperaturama pri dužem vremenu predtretmana. Duže vreme

- predtretmana obezbedilo je bolje usvajanje upotrebljenih aditiva (kalijum-metabisulfita i limunske kiseline), koji su doprineli boljem očuvanju L-askorbinske kiseline u dužem periodu nakon sušenja.
- Analizom elementarnog sastava sušene začinske paprike nakon primenjenih tretmana utvrđeno je da ispitivani faktori utiču na sadržaj većine analiziranih elemenata. Više temperature predtretmana doprinele su višim gubicima svih elemenata, a najveći uticaj se odrazio na sadržaj Cr, K i P. Metod sušenja je takođe imao statistički značajan uticaj na sadržaj većeg broja elemenata, pri čemu je bolje očuvanje minerala postignuto pri sušenju u tunelskoj sušari. Pretpostavka je da do većih gubitaka kod liofilizovanih uzoraka dolazi zbog formiranja kristala leda i gubitka elemenata nakon otapanja leda. Primena kalijum-metabisulfita je doprinela povećanju koncentracije K, dok je Na takođe bio povećan kod većeg broja uzoraka usled dodatka NaOH za regulaciju pH vrednosti rastvora.
 - Analizom sadržaja ukupnih polifenola kod sušene začinske paprike utvrđeno je da se viši sadržaj dobija nakon sušenja u tunelskoj sušari. Predpostavlja se da na višim temperaturama sušenja dolazi do oštećenja ćelija pa su ova jedinjenja dostupnija za ekstrakciju, ali i da dolazi do formiranja novih fenolnih jedinjenja iz postojećih. Posmatrano u odnosu na sušenu papriku bez predtretmana, kao i na sušenu papriku proizvedenu od blanširane paprike utvrđeno je sledeće: (1) najbolje očuvanje polifenola se postiže kada se ne primenjuju predtretmani i (2) ukoliko se predtretmani primenjuju bolje očuvanje polifenola se postiže sa hemijskim predtretmanima u odnosu na klasično blanširanje, ali samo u slučaju tunelski sušene paprike (ne važi za liofilizovane uzorke).
 - Mada je postupak blanširanja uticao na bolje očuvanje ukupnih karotenoida kod sušene začinske paprike, većina primenjenih predtretmana nije doprinela boljem očuvanju ove grupe jedinjenja u odnosu na sušenje bez predtretmana. Postupak liofilizacije se pokazao kao bolja metoda sušenja za očuvanje ukupnih karotenoida u odnosu na sušenje u tunelskoj sušari.
 - Postupak blanširanja uticao je smanjenje antioksidativnog kapaciteta sušene začinske paprike u odnosu na sušenje bez predtretmana (smanjenje 42,2% i 40,9% za DPPH i FRAP test, respektivno). Kod liofilizovanih uzoraka situacija je bila obrnuta, blanširanje pre sušenja je doprinelo boljem očuvanju antioksidativnog kapaciteta u odnosu na sušenje bez predtretmana (41,5% i 1,3% za DPPH i FRAP test, respektivno). Kod tunelski sušene paprike svi primenjeni hemijski predtretmani su obezbedili viši feri redukcionni kapacitet u odnosu na blanširanje (od 5,4 do 105%). Kod liofilizovane paprike hemijski predtretmani su uticali na povećanje antioksidativne aktivnosti mereno DPPH testom u odnosu na sušenje bez predtretmana (povećanje antioksidativne aktivnosti od 4,2% do 71,9%).
 - Vreme predtretmana je imalo statistički značajan uticaj na crvenu boju (parametar a^*), zasićenost boje (parametar C^*) i ne-enzimatski indeks tamnjenja. Duže vreme predtretmana se pozitivno odrazilo na boju mlevene začinske paprike, međutim takođe je doprinelo i višim vrednostima ne-enzimatskog indeksa tamnjenja. Ipak, većina predtretmana je uticala na smanjenje ne-enzimatskog indeksa tamnjenja (do 72,6% u odnosu na uzorke koji su sušeni bez predtretmana). Limunska kiselina se pokazala kao bolji aditiv za očuvanje „žive“ crvene boje, dok je kalijum-metabisulfit bolji za sprečavanje ne-enzimatskog tamnjenja do koga dolazi tokom procesa sušenja.
 - Tekstura sušene začinske paprike je bila uslovljena pH vrednošću rastvora za predtretman, pri čemu su se čvršći plodovi dobijali u slučaju predtretmana na višim pH vrednostima.
 - SEM analiza uzoraka je ukazala da većina predtretmana ima pozitivan efekat na morfološke karakteristike sušene začinske paprike. Predtretmani su doprineli smanjenju ili potpunom sprečavanju pucanja spoljašnje površine tunelski sušene paprike.
 - Ukupan kvalitet sušene začinske paprike je procenjen korišćenjem funkcije poželjnosti (eng. desirability). Ovom analizom je obuhvaćeno trinaest analiziranih parametara kvaliteta, pri čemu je utvrđeno da na kvalitet sušene začinske paprike najviše utiču dva faktora: ultrazvuk

- i vrsta aditiva. Primena ultrazvuka tokom predtretmana je imala negativan uticaj na ukupan kvalitet sušene začinske paprike, dok se kalijum-metabisulfit pokazao kao bolji aditiv u odnosu na limunsku kiselinu i smešu limunske kiseline sa kalijum-metabisulfitom.
- Rezultati mikrobiološke analize ukazali su da svi uzorci sadrže prihvatljive vrednosti mikrobiološke kontaminacije, pri čemu su primenjeni predtretmani doprineli smanjenju broja mikroorganizama u odnosu na kontrolne uzorke.

6. LITERATURA

- Adams, M. R. (2014). Vinegar. In *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition* (pp. 717–721). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00348-7>
- Allahdad, Z., Nasiri, M., Varidi, M., & Varidi, M. J. (2019). Effect of sonication on osmotic dehydration and subsequent air-drying of pomegranate arils. *Journal of Food Engineering*, 244, 202–211. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.09.017>
- Alp, D., & Bulantekin, Ö. (2021). The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research and Technology*, 247, 1333–1343. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00217-021-03731-z>
- Alvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2011). Antioxidant activity of fresh and processed Jalapeño and Serrano peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 163–173. <https://doi.org/10.1021/jf103434u>
- Amiri, A., Ramezani, A., Mortazavi, S. M. H., & Hosseini, S. M. H. (2021). Ultrasonic potential in maintaining the quality and reducing the microbial load of minimally processed pomegranate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105302>
- Arimboor, R., Natarajan, R. B., Menon, K. R., Chandrasekhar, L. P., & Moorkoth, V. (2015). Red pepper (*Capsicum annum*) carotenoids as a source of natural food colors: analysis and stability—a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1258–1271. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1260-7>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Baiano, A., & Del Nobile, M. A. (2016). Antioxidant Compounds from Vegetable Matrices: Biosynthesis, Occurrence, and Extraction Systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(12), 2053–2068. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.812059>
- Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Bioactive components from leaf vegetable products. *Studies in Natural Products Chemistry*, 41, 321–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00011-5>
- Barciela-Alonso, M. C., & Bermejo-Barrera, P. (2015). Variation of food mineral content during industrial and culinary processing. In *Handbook of Mineral Elements in Food* (pp. 163–176). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118654316.ch8>
- Bechoff, A., Westby, A., Menya, G., & Tomlins, K. I. (2011). Effect of pretreatments for retaining total carotenoids in dried and stored orange-fleshed-sweet potato chips. *Journal of Food Quality*, 34(4), 259–267. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2011.00391.x>
- Berke, T. G., & Shieh, S. C. (2012). Capsicum cultivars. In *Handbook of Herbs and Spices: Second Edition* (Vol. 1, pp. 116–130). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.116>
- Bernardo, A., Martínez, S., Álvarez, M., Fernández, A., & López, M. (2008). The composition of two Spanish pepper varieties (fresno de la vega and benavente-los valles) in different ripening stages. *Journal of Food Quality*, 31(6), 701–716. <https://doi.org/10.1111/j.1745->

4557.2008.00229.x

- Bhandari, S. R., Bashyal, U., & Lee, Y. S. (2016). Variations in proximate nutrients, phytochemicals, and antioxidant activity of field-cultivated red pepper fruits at different harvest times. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 57(5), 493–503. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-1008-6>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Bhutia, K. L., Khanna, V., Meetei, T. N., & Bhutia, N. D. (2018). Effects Of Climate Change On Growth And Development Of Chillii. *Agrotechnology*, 07(02), 2–5. <https://doi.org/10.4172/2168-9881.1000180>
- Blasa, M., Gennari, L., Angelino, D., & Ninfali, P. (2010). Chapter 3 - Fruit and Vegetable Antioxidants in Health. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Bioactive Foods in Promoting Health*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00003-7>
- Bosland, W. P., & Voltava, J. E. (2012). *Peppers: Vegetables and spice Capsicum 2nd Edition* (S. Hulbert, G. Spearing, & S. Hill (Eds.); Second edi). CAB International.
- Bouzari, A., Holstege, D., & Barrett, D. M. (2015). Mineral, fiber, and total phenolic retention in eight fruits and vegetables: A comparison of refrigerated and frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(3), 951–956. <https://doi.org/10.1021/jf504890k>
- Brock, T. L. (2019). *pile of chili photo – Free Food Image on Unsplash*. <https://unsplash.com/photos/WJ5mej6mWi4>
- Brouillard, A. M., Kraja, A. T., & Rich, M. W. (2019). Trends in Dietary Sodium Intake in the United States and the Impact of USDA Guidelines: NHANES 1999-2016. *American Journal of Medicine*, 132(10), 1199-1206.e5. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.04.040>
- Buczowska, H., Michałojć, Z., Konopińska, J., & Kowalik, P. (2015). Content of macro- and microelements in sweet pepper fruits depending on foliar feeding with calcium. *Journal of Elementology*, 20(2), 261–272. <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.3.712>
- Çakmak, R. Ş., Tekeoğlu, O., Bozkir, H., Ergün, A. R., & Baysal, T. (2016). Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 197–202. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.01.032>
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Extraction and purification of pedunculoside from the dried barks of *Ilex rotunda* using crystallization combined with polyamide column chromatography. *Foods*, 9(9), 1–27.
- Campos-Hernández, N., Jaramillo-Flores, M. E., Téllez-Medina, D. I., & Alamilla-Beltrán, L. (2018). Effect of traditional dehydration processing of pepper jalapeno rayado (*Capsicum annuum*) on secondary metabolites with antioxidant activity. *CYTA - Journal of Food*, 16(1), 316–324. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1406407>
- Campos, M. R. S., Gómez, K. R., Ordoñez, Y. M., & Ancona, D. B. (2013). Polyphenols, Ascorbic Acid and Carotenoids Contents and Antioxidant Properties of Habanero Pepper (*Capsicum chinense*) Fruit. *Food and Nutrition Sciences*, 04(08), 47–54. <https://doi.org/10.4236/fns.2013.48a006>

- Capuano, E., van der Veer, G., Verheijen, P. J. J., Heenan, S. P., van de Laak, L. F. J., Koopmans, H. B. M., & van Ruth, S. M. (2013). Comparison of a sodium-based and a chloride-based approach for the determination of sodium chloride content of processed foods in the Netherlands. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(1), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.04.004>
- Cárcel, J. A., Castillo, D., Simal, S., & Mulet, A. (2018). Influence of temperature and ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of red pepper. *Drying Technology*, 37(4), 486–493. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1473417>
- Cash, P., Stanković, T., & Štorga, M. (2016). *Experimental Design Research Approaches, Perspectives, Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33781-4>
- Castro, S. M., Loey, A. Van, Saraiva, J. A., Smout, C., & Hendrickx, M. (2006). Inactivation of pepper (*Capsicum annuum*) pectin methylesterase by combined high-pressure and temperature treatments. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.050>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chitrakar, B., Zhang, M., & Adhikari, B. (2019). Dehydrated foods: Are they microbiologically safe? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(17), 2734–2745. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1466265>
- Corguinha, A. P. B., Souza, G. A. de, Gonçalves, V. C., Carvalho, C. de A., Lima, W. E. A. de, Martins, F. A. D., Yamanaka, C. H., Francisco, E. A. B., & Guilherme, L. R. G. (2015). Assessing arsenic, cadmium, and lead contents in major crops in Brazil for food safety purposes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.004>
- Darvishi, H., Asl, A. R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., & Khodaei, J. (2014). Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.03.002>
- Delgado-Andrade, C., Morales, F. J., Seiquer, I., & Pilar Navarro, M. (2010). Maillard reaction products profile and intake from Spanish typical dishes. *Food Research International*, 43(5), 1304–1311. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.03.018>
- Denev, P., Todorova, V., Ognyanov, M., Georgiev, Y., Yanakieva, I., Tringovska, I., Grozeva, S., & Kostova, D. (2019). Phytochemical composition and antioxidant activity of 63 Balkan pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2510–2520. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00171-y>
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2017). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408–1432. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>
- Dewanto, V., Xianzhong, W., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3010–3014. <https://doi.org/10.1021/jf0115589>
- Díaz, J., Pomar, F., Bernal, Á., & Merino, F. (2004). Peroxidases and the metabolism of capsaicin

- in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews*, 3, 141–157. <https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047801.41574.6e>
- do Nascimento, G. E., Iacomini, M., & Cordeiro, L. M. C. (2017). New findings on green sweet pepper (*Capsicum annuum*) pectins: Rhamnogalacturonan and type I and II arabinogalactans. *Carbohydrate Polymers*, 171, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.029>
- Don, O. R. A., Ahi, P. A., Gnanguy, S. N., & Kouame, L. P. (2019). Physical, Nutritional Characteristics and Bioavailability of a Chili Pepper Cultivar (*Capsicum annuum*) Grown in Eastern Côte d' Ivoire. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 9(3), 49–56. <https://doi.org/10.5923/j.food.20190903.01>
- Du, Q., Zhao, X., Jiang, C., Wang, X., Han, Y., Wang, J., & Yu, H. (2017). Effect of Potassium Deficiency on Root Growth and Nutrient Uptake in Maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences*, 08(11), 1263–1277. <https://doi.org/10.4236/as.2017.811091>
- EFSA. (2009). Scientific Opinion on Arsenic in Food. *EFSA Journal*, 7(10), 1351. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351>
- EFSA. (2012). Lead dietary exposure in the European population. *EFSA Journal*, 10(7), 1–59. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>
- EFSA. (2017a). Dietary Reference Values for nutrients Summary report. In *EFSA Supporting Publications* (Vol. 14, Issue 12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- EFSA. (2017b). Overview on Dietary Reference Values for the EU population as derived by the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). In *Summary of Dietary Reference Values - version 4 (September 2017)*.
- European Union. (2005). Commission regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuff. *Official Journal of the European Union*, 50, 1–26. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-41.6.481>
- European Union. (2007). Commission regulation (EC) No 1441/2007, of 5 December 2007, amending Regulation (EC) No 2073/2005 on microbiological criteria for foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 322, 12–29.
- Everette, J. D., Bryant, Q. M., Green, A. M., Abbey, Y. A., Wangila, G. W., & Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the folin-Ciocalteu reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14), 8139–8144. <https://doi.org/10.1021/jf1005935>
- Eyarkai Nambi, V., Gupta, R. K., Kumar, S., & Sharma, P. C. (2016). Degradation kinetics of bioactive components, antioxidant activity, colour and textural properties of selected vegetables during blanching. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 3073–3082. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2280-2>
- FAOSTAT. (2019). *FAOSTAT*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fellows, P. J., & Fellows, P. J. (2017). 9 - Blanching. In *Food Processing Technology (Fourth Edition)* (pp. 525–538). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100522-4.00009-2>
- Ferrazzano, G. F., Amato, I., Ingenito, A., Zarrelli, A., Pinto, G., & Pollio, A. (2011). Plant polyphenols and their anti-cariogenic properties: A review. *Molecules*, 16(2), 1486–1507. <https://doi.org/10.3390/molecules16021486>

- Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C., da Silva, E. G. P., Portugal, L. A., dos Reis, P. S., Souza, A. S., & dos Santos, W. N. L. (2007). Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, 597(2), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.07.011>
- Fijalkowska, A., Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2016). Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. *Journal of Food Process Engineering*, 39(3), 256–265. <https://doi.org/10.1111/JFPE.12217>
- Finger, F. L., & Pereira, G. M. (2016). Physiology and postharvest of pepper fruits. In E. R. do Rêgo, M. M. do Rêgo, & F. L. Finger (Eds.), *Production and Breeding of Chilli Peppers (Capsicum Spp.)* (pp. 27–40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_2
- Galanakis, C. M. (2018). *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications* (C. M. Galanakis (Ed.)). Woodhead Publishing.
- Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Weller, C. L., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2014). Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2222–2227. <https://doi.org/10.1007/S13197-012-0724-X>
- Gjeorgjievski, M., Kocevski, V., Jakimov, D., & Koleva, L. (1997). The production and technological characteristics of some lines of pepper variety Kurtovska kapija in the region of Strumica. *First Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes*.
- Gnayfeed, M. H., Daood, H. G., Biacs, P. A., & Alcaraz, C. F. (2001). Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(15), 1580–1585. <https://doi.org/10.1002/jsfa.982>
- Górska-Warsewicz, H., Rejman, K., Laskowski, W., & Czczotko, M. (2019). Milk and Dairy Products and Their Nutritional Contribution to the Average Polish Diet. *Nutrients*, 11, 1771. <https://doi.org/10.3390/nu11081771>
- Grozeva, S., & Tringovska, I. (2020). Assessment of Fruit Quality and Fruit Morphology in Androgenic Pepper Lines (*Capsicum annum* L.). *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(1), e200005. <https://doi.org/https://doi.org/10.20900/cbgg20200005>
- Guil-Guerrero, J. L., Martínez-Guirado, C., Del Mar Reboloso-Fuentes, M., & Carrique-Pérez, A. (2006). Nutrient composition and antioxidant activity of 10 pepper (*Capsicum annum*) varieties. *European Food Research and Technology*, 224(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0281-5>
- Gupta, D. K., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2018). Antioxidants Plants Enzymes in Higher and Antioxidant. In Dharmendra K. Gupta, J. M. Palma, & F. J. Corpas (Eds.), *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0>
- Hallmann, E., Marszałek, K., Lipowski, J., Jasińska, U., Kazimierczak, R., Średnicka-Tober, D., & Rembiałkowska, E. (2019). Polyphenols and carotenoids in pickled bell pepper from organic and conventional production. *Food Chemistry*, 278, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.052>
- Han, X., Shen, T., & Lou, H. (2007). Dietary Polyphenols and Their Biological Significance. *International Journal of Molecular Sciences*, 8, 950–988.

- Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. del R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). Capsicum annuum (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972–2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- Hosseini, H., Mahmoudzadeh, M., Rezaei, M., Mahmoudzadeh, L., Khaksar, R., Khosroshahi, N. K., & Babakhani, A. (2014). Effect of different cooking methods on minerals, vitamins and nutritional quality indices of kutum roach (*Rutilus frisii kutum*). *Food Chemistry*, 148, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.012>
- Howard, L. R., Talcott, S. T., Brenes, C. H., & Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1713–1720. <https://doi.org/10.1021/jf990916t>
- Hu, W., Jiang, N., Yang, J., Meng, Y., Wang, Y., Chen, B., Zhao, W., Oosterhuis, D. M., & Zhou, Z. (2016). Potassium (K) supply affects K accumulation and photosynthetic physiology in two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars with different K sensitivities. *Field Crops Research*, 196, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.005>
- Ignjatov, M. (2013). *Diverzitet populacije Xanthomonas spp. patogena paprike u Srbiji*. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Ilić, S. Z., Milenković, L., Dimitrijević, A., Stanojević, L., Cvetković, D., Kevrešan, Fallik, E., & Mastilović, J. (2017). Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. *Scientia Horticulturae*, 226, 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.009>
- Institute of Medicine. (2006). Dietary reference intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements (2006). In J. J. Otten, J. P. Hellwig, & L. D. Meyers (Eds.), *The National Academies Press*. The National Academies Press. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9329268>
- Institute of Medicine. (2021). *Nutrient Recommendations : Dietary Reference Intakes (DRI)*. U.S. Department of Health and Human Services, National Institute of Health. https://ods.od.nih.gov/HealthInformation/Dietary_Reference_Intakes.aspx
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Paniwnyk, L., & Lelas, V. (2007). Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.009>
- Jayaprakasha, G. K., Bae, H., Crosby, K., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2012). Bioactive compounds in peppers and their antioxidant potential. *ACS Symposium Series*, 1109, 43–56. <https://doi.org/10.1021/bk-2012-1109.ch004>
- JECFA. (2018). *Joint FAO/WHO food standards programme Codex Committee on contaminants in foods: Working document for information and use in discussions related contaminants and toxins in the GSCTFF* (Issue March). http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-12%252FWD%252Fcf12_INF01x.pdf
- Joe. (2017). *Pepper Red Hot - Free image on Pixabay*. <https://pixabay.com/illustrations/pepper-red-hot-long-1990837/>

- Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. (2001). Human energy requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. In *Food and nutrition bulletin*. FAO World Health Organization. <http://www.fao.org/3/y5686e/y5686e.pdf>
- Kammar, M. (2020). *Red and white heart shaped decor photo – Free Byadgi Image on Unsplash*. Unsplash License. <https://unsplash.com/photos/Nzxqc-Vb6zw>
- Karadaş, C., & Kara, D. (2012). Chemometric approach to evaluate trace metal concentrations in some spices and herbs. *Food Chemistry*, 130(1), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.006>
- Karatas, F., Baysar, A., & Alpaslan, M. (2017). A comparison of vitamin and folic acid levels of sun and microwave dried Capsicum annum L. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), 1–5. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13275>
- Kaur, R., Kaur, K., & Ahluwalia, P. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 117, 108604. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108604>
- Kaur, R., Kaur, K., Wagh, R. V., Kaur, A., & Aggarwal, P. (2020). Red bell pepper (*Capsicum annum L.*): Optimization of drying conditions and preparation of functional bread. *Journal of Food Science*, 85(8), 2340–2349. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15317>
- Kim, J. S., Ahn, J., Lee, S. J., Moon, B. K., Ha, T. Y., & Kim, S. (2011). Phytochemicals and Antioxidant Activity of Fruits and Leaves of Paprika (*Capsicum Annum L.*, var. Special) Cultivated in Korea. *Journal of Food Science*, 76(2), 193–198. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01891.x>
- Kimura, M., & Itokawa, Y. (1990). Cooking Losses of Minerals in Foods and Its Nutritional Significance. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 36, S25–S33. https://doi.org/10.3177/jnsv.36.4-SupplementI_S25
- Köhler, N. (2014). *Bell Peppers Vegetables Food Sweet - Free photo on Pixabay*. <https://pixabay.com/photos/bell-peppers-vegetables-food-421087/>
- Kopsell, D. A., & Kopsell, D. E. (2010). Carotenoids in vegetables: Biosynthesis, occurrence, impacts on human health, and potential for manipulation. In *Bioactive Foods in Promoting Health* (First Edit). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00040-2>
- Korus, A. (2021). Effect of pre-treatment and drying methods on the content of minerals, B-group vitamins and tocopherols in kale (*Brassica oleracea L.* var. *acephala*) leaves. In *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05012-9>
- Kowalski, S. J., & Szadzińska, J. (2014). Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 82, 65–70. <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2014.05.006>
- Kowalski, S. J., Szadzińska, J., & Pawłowski, A. (2015). Ultrasonic-Assisted Osmotic Dehydration of Carrot Followed by Convective Drying with Continuous and Intermittent Heating. *Drying Technology*, 33(13), 1570–1580. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1012265>
- Krokida, M. K., Kiranoudis, C. T., Maroulis, Z. B., & Marinou-Kouris, D. (2000). Effect of pretreatment on color of dehydrated products. *Drying Technology*, 18(6), 1239–1250. <https://doi.org/10.1080/07373930008917774>
- Krzykowski, A., Dziki, D., Rudy, S., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., & Biernacka, B. (2018). Effect of

- pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 98, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.022>
- Kumar, S., Kumar, R., & Singh, J. (2006). Cayenne/American pepper. In K. V. Peter (Ed.), *Handbook of Herbs and Spices* (pp. 299–312). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845691717.3.299>
- Łechtańska, J. M., Szadzińska, J., & Kowalski, S. J. (2015). Microwave- and infrared-assisted convective drying of green pepper: Quality and energy considerations. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 98, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.10.001>
- Li, X., Li, Z., Lin, C. J., Bi, X., Liu, J., Feng, X., Zhang, H., Chen, J., & Wu, T. (2018). Health risks of heavy metal exposure through vegetable consumption near a large-scale Pb/Zn smelter in central China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.080>
- Liang, J., Liang, X., Cao, P., Wang, X., Gao, P., Ma, N., Li, N., & Xu, H. (2019). A Preliminary Investigation of Naturally Occurring Aluminum in Grains, Vegetables, and Fruits from Some Areas of China and Dietary Intake Assessment. *Journal of Food Science*, 84(3), 701–710. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14459>
- Ligor, M., Trziszka, T., & Buszewski, B. (2013). Study of Antioxidant Activity of Biologically Active Compounds Isolated from Green Vegetables by Coupled Analytical Techniques. *Food Analytical Methods*, 6(2), 630–636. <https://doi.org/10.1007/s12161-012-9367-9>
- Liu, Y., Duan, X., Zhang, M., Li, C., Zhang, Z., Liu, A., Hu, B., He, J., Wu, D., Chen, H., & Wu, W. (2020). Cooking methods effect on the nutrients, bioaccessibility and antioxidant activity of *Craterellus cornucopioides*. *LWT-Food Science and Technology*, 131, 109768. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109768>
- Lucio-Juárez, J. S., Moscosa-Santillán, M., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., & Ruiz-Cabrera, M. A. (2013). Ultrasonic assisted pre-treatment method for enhancing mass transfer during the air-drying of habanero chili pepper (*Capsicum chinense*). *International Journal of Food Properties*, 16(4), 867–881. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.570468>
- Maffei, D. F., Alvarenga, V. O., Sant'Ana, A. S., & Franco, B. D. G. M. (2016). Assessing the effect of washing practices employed in Brazilian processing plants on the quality of ready-to-eat vegetables. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 474–481. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.02.001>
- Maluly, H. D. B., Arisseto-Bragotto, A. P., & Reyes, F. G. R. (2017). Monosodium glutamate as a tool to reduce sodium in foodstuffs: Technological and safety aspects. *Food Science and Nutrition*, 5(6), 1039–1048. <https://doi.org/10.1002/fsn3.499>
- Mañin, A., Rubio, J. S., Martínez, V., & Gila, M. I. (2009). Antioxidant compounds in green and red peppers as affected by irrigation frequency, salinity and nutrient solution composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(8), 1352–1359. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3594>
- Marković M. (2005). *Proizvodnja i perspektive gajenja začinske paprike u AP Vojvodina*. Sveska 41.
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. In *Mineral nutrition of higher plants* (3rd Editio). Elsevier Ltd.

- Martínez, S., López, M., González-Raurich, M., & Alvarez, A. B. (2005). The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 56(1), 45–51. <https://doi.org/10.1080/09637480500081936>
- Mas, A., Troncoso, A. M., García-Parrilla, M. C., & Torija, M. J. (2015). Vinegar. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 418–423). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00726-1>
- Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1750–1756. <https://doi.org/10.1021/jf035331k>
- Maurya, V. K., Gothandam, K. M., Ranjan, V., Shakya, A., & Pareek, S. (2018). Effect of drying methods (microwave vacuum, freeze, hot air and sun drying) on physical, chemical and nutritional attributes of five pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3492–3500. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8868>
- Mccarty, D. R. (1995). Genetic Control and Integration of Maturation and Germination Pathways in. *Gene Expression*, 71–93.
- Medina-Lara, F., Echevarría-Machado, I., Pacheco-Arjona, R., Ruiz-Lau, N., Guzmán-Antonio, A., & Martínez-Estevéz, M. (2008). Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience*, 43(5), 1549–1554. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.5.1549>
- Mehta, D., Prasad, P., Bansal, V., Siddiqui, M. W., & Sharma, A. (2017). Effect of drying techniques and treatment with blanching on the physicochemical analysis of bitter-melon and capsicum. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 479–488. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.005>
- Mi, S., Yu, W., Li, J., Liu, M., Sang, Y., & Wang, X. (2020). Characterization and discrimination of chilli peppers based on multi-element and non-targeted metabolomics analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 131, 109742. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109742>
- Miano, A. C., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2019). Structural changes caused by ultrasound pretreatment: Direct and indirect demonstration in potato cylinders. *Ultrasonics - Sonochemistry Journal*, 52, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.015>
- Mierzwa, D., & Kowalski, S. J. (2016). Ultrasound-assisted osmotic dehydration and convective drying of apples: Process kinetics and quality issues. *Chemical and Process Engineering - Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, 37(3), 383–391. <https://doi.org/10.1515/cpe-2016-0031>
- Mikkelsen, K., & Apostolopoulos, V. (2018). B Vitamins and ageing. *Subcellular Biochemistry*, 90, 451–470. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2835-0_15
- Milder, I. E. J., Arts, I. C. W., Van De Putte, B., Venema, D. P., & Hollman, P. C. H. (2022). Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinoresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal of Nutrition*, 93, 393–402. <https://doi.org/10.1079/BJN20051371>
- Miller, D. D., Li, T., & Liu, R. H. (2014). Antioxidants and Phytochemicals. In *Reference Module in Biomedical Sciences* (pp. 1–13). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801238-3.00236-1>
- Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije (2011). *Vodič za*

primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu. Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije.

- Mojzer, B. E., Hrnčič, K. M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, 21(7), 901–939. <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
- Mokrani, A., & Madani, K. (2016). Effect of solvent, time and temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Separation and Purification Technology*, 162, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.043>
- Molnár, H., Kónya, É., Zalán, Z., Bata-Vidács, I., Tömösközi-Farkas, R., Székács, A., & Adányi, N. (2018). Chemical characteristics of spice paprika of different origins. *Food Control*, 83, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.028>
- Montalvo-González, E., Anaya-Esparza, L. M., Abraham Domínguez-Avila, J., & González-Aguilar, G. A. (2018). Chapter 5 - Ultrasonic Processing Technology for Postharvest Disinfection. In M. W. Siddiqui (Ed.), *Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables* (pp. 101–119). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812698-1.00005-4>
- Moreira, H. R., Munarin, F., Gentilini, R., Visai, L., Granja, P. L., Tanzi, M. C., & Petriani, P. (2014). Injectable pectin hydrogels produced by internal gelation: pH dependence of gelling and rheological properties. *Carbohydrate Polymers*, 103(1), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.057>
- Mühlbauer, W., & Müller, J. (2020a). Chili (*Capsicum annuum* L.). In W. Mühlbauer & J. Müller (Eds.), *Drying Atlas* (pp. 209–217). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00024-9>
- Mühlbauer, W., & Müller, J. (2020b). Paprika (*Capsicum annuum*, *C. frutescens*). In W. Mühlbauer & J. Müller (Eds.), *Drying Atlas* (pp. 185–193). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818162-1.00022-5>
- Murkovic, M. (2003). Phenolic Compounds. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second Ed., pp. 4507–4514). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823569-0.00001-1>
- Mustacich, D. J., Bruno, R. S., & Traber, M. G. (2007). Vitamin E. In G. Litwack (Ed.), *Vitamins and Hormones* (Vol. 76, pp. 1–21). Elsevier Inc. [https://doi.org/10.1016/S0083-6729\(07\)76001-6](https://doi.org/10.1016/S0083-6729(07)76001-6)
- Nadery Dehsheikh, F., & Taghian Dinani, S. (2019). Coating pretreatment of banana slices using carboxymethyl cellulose in an ultrasonic system before convective drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 401–413. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2018.12.018>
- Nankar, A. N., Todorova, V., Tringovska, I., Pasev, G., Radeva-Ivanova, V., Ivanova, V., & Kostova, D. (2020). A step towards Balkan *Capsicum annuum* L. core collection: Phenotypic and biochemical characterization of 180 accessions for agronomic, fruit quality, and virus resistance traits. *PLoS ONE*, 15, 1–28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237741>
- Nekhoroshkov, P. S., Bezuidenhout, J., Frontasyeva, M. V., Zinicovscaia, I. I., Yushin, N. S., Vergel, K. N., & Petrik, L. (2021). Trace elements risk assessment for consumption of wild mussels along South Africa coastline. *Journal of Food Composition and Analysis*, 98, 103825. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103825>

- Nenadis, N., & Tsimidou, M. (2018). DPPH (2,2-di(4-tert-octylphenyl)-1-picrylhydrazyl) radical scavenging mixed-mode colorimetric assay(s). In *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity* (Apak, Resa, pp. 77–106). Wiley.
- Nora Moreb, Caron O'Dwyer, S. J. and A. K. J. (2020). moreb2020.pdf. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. (pp. 223–238). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00013-1>
- Nowacka, M., & Wedzik, M. (2016). Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. *Applied Acoustics*, 103, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.06.011>
- Nowakowski, P., Markiewicz-Żukowska, R., Soroczyńska, J., Puścion-Jakubik, A., Mielcarek, K., Borawska, M. H., & Socha, K. (2021). Evaluation of Toxic Element Content and Health Risk Assessment of Edible Wild Mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103698. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103698>
- Oliveira, S. M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2015). Influence of Drying Processes and Pretreatments on Nutritional and Bioactive Characteristics of Dried Vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134–163. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9124-0>
- Ördög, A., Poór, P., Štajner, D., Popović, B., Bátori, Z., & Tari, I. (2018). Comparison of the mineral content of processed spice samples of sweet and hot paprika from the szeged region*. *Journal of Elementology*, 23(2), 521–530. <https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.4.1497>
- Palacios-Morillo, A., Jurado, J. M., Alcázar, Á., & De Pablos, F. (2014). Geographical characterization of Spanish PDO paprika by multivariate analysis of multielemental content. *Talanta*, 128, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.04.025>
- Palma, J. M., Sevilla, F., Jiménez, A., Del Río, L. A., Corpas, F. J., Lvarez De Morales, P. A. ´, & Camejo, D. M. (2015). Physiology of pepper fruit and the metabolism of antioxidants: chloroplasts, mitochondria and peroxisomes. *Annals of Botany*, 116, 627–636. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv121>
- Pan, M. K., Zhou, F. F., Liu, Y., & Wang, J. H. (2021). Na⁺-induced gelation of a low-methoxyl pectin extracted from *Premna microphylla* Turcz. *Food Hydrocolloids*, 110, 106153. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106153>
- Parvaiz, A. (2014). *Oxidative Damage to Plants, Antioxidant Networks and Signaling*. Academic Press.
- Paz, S., Rubio, C., Gutiérrez, Á. J., González-Weller, D., & Hardisson, A. (2021). Dietary Intake of Essential Elements (Na, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Fe, Cu, Mo, Co) from Tofu Consumption. *Biological Trace Element Research*, 199(1), 382–388. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02151-6>
- Peng, J., Song, Y., Zhang, X., Pan, L., & Tu, K. (2019). Calcium absorption in asparagus during thermal processing: Different forms of calcium ion and cell integrity in relation to texture. *LWT - Food Science and Technology*, 111(May), 889–895. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.095>
- Pérez-González, A., Prejan, M., Russo, N., Marino, T., & Galano, A. (2020). Capsaicin , a Powerful • OH-Inactivating Ligand. *Antioxidants*, 9(1247), 1–15. <https://doi.org/doi:10.3390/antiox9121247>

- Pérez-López, A. J., López-Nicolas, J. M., Núñez-Delicado, E., Del Amor, F. M., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2007). Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(20), 8158–8164. <https://doi.org/10.1021/jf071534n>
- Picó, Y. (2013). Ultrasound-assisted extraction for food and environmental samples. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 43, 84–99. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2012.12.005>
- Po, L. G., Siddiq, M., & Shahzad, T. (2018). Chili, Peppers, and Paprika - Introduction - Nomenclature and History - Production and Consumption. In Muhammad Siddiq and Mark A. Uebersax (Ed.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing, Second Edition: Vol. II* (pp. 633–660). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119098935.ch27>
- Polak-Juszczak, L., & Podolska, M. (2021). Mineral and toxic metal composition in three commercial species of Gadidae. *Journal of Food Composition and Analysis*, 95(August 2020), 103658. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103658>
- Prakash Maran, J., Manikandan, S., Thirugnanasambandham, K., Vigna Nivetha, C., & Dinesh, R. (2013). Box-Behnken design based statistical modeling for ultrasound-assisted extraction of corn silk polysaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.020>
- Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., & Chandra, K. (2020). Potential health risk of heavy metals via consumption of rice and vegetables grown in the industrial areas of Bangladesh. *Human and Ecological Risk Assessment*, 26(4), 921–943. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546114>
- Puupponen-Pimiä, R., Häkkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A. M., Euroala, M., Piironen, V., Nuutila, A. M., & Oksman-Caldentey, K. M. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(14), 1389–1402. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1589>
- Que, F., Mao, L., Fang, X., & Wu, T. (2008). Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(7), 1195–1201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x>
- Rajaković, L. V., Todorović, Ž. N., Rajaković-Ognjanović, V. N., & Onjia, A. E. (2013). Analytical methods for arsenic speciation analysis. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 78(10), 1461–1479. <https://doi.org/10.2298/JSC130315064R>
- Ražić, S., & Onjia, A. (2010). Trace Element Analysis and Pattern Recognition Techniques in Classification of Wine from Central Balkan Countries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(4). <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.10002>
- Ren, F., Perussello, C. A., Zhang, Z., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2018). Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 102–111. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.08.053>
- Republički zavod za statistiku. (2020a). *Household Budget Survey, 2019*. Statistical Office of the Republic of Serbia.
- Republički zavod za statistiku. (2020b). *Statistical yearbook of the Republic of Serbia*. Statistical Office of the Republic of Serbia.

- Rodriguez, O., Eim, V., Rossello, C., Femenia, A., Carcel, A. J., & Simal, S. (2017). Application of Power Ultrasound on the Convective Drying of Fruits and Vegetables: Effects on quality. *Journal of the Science and Food and Agriculture*, 98(5), 1660–1673. <https://doi.org/doi.org/10.1002/jsfa.8673>
- Rosa, A., Deiana, M., Casu, V., Paccagnini, S., Appendino, G., Ballero, M., & Dessì, M. A. (2002). Antioxidant activity of capsinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7396–7401. <https://doi.org/10.1021/jf020431w>
- Rubio, C., Hardisson, A., Martín, R. E., Báez, A., Martín, M. M., & Álvarez, R. (2002). Mineral composition of the red and green pepper (*Capsicum annuum*) from Tenerife Island. *European Food Research and Technology*, 214(6), 501–504. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0534-x>
- Rybak, K., Parniakov, O., Samborska, K., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., & Nowacka, M. (2021). Energy and Quality Aspects of Freeze-Drying Preceded by Traditional and Novel Pre-Treatment Methods as Exemplified by Red Bell Pepper. *Sustainability*, 13, 2035. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13042035>
- Rybak, K., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., Parniakov, O., & Nowacka, M. (2021). The Quality of Red Bell Pepper Subjected to Freeze-Drying Preceded by Traditional and Novel Pretreatment. *Foods*, 10(226). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods10020226>
- Sanatombi, K., & Rajkumari, S. (2019). Effect of Processing on Quality of Pepper : A Review Effect of Processing on Quality of Pepper : A Review. *Food Reviews International*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1669161>
- Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - A review. *Drying Technology*, 26(12), 1421–1437. <https://doi.org/10.1080/07373930802458911>
- Scheers, N., Rossander-Hulthen, L., Torsdottir, I., & Sandberg, A.-S. (2016). Increased iron bioavailability from lactic-fermented vegetables is likely an effect of promoting the formation of ferric iron (Fe³⁺). *European Journal of Nutrition*, 55, 373–382. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0857-6>
- Selina Wamucii. (2019). *Capsicum (Bell Pepper) Production in Serbia - Markets, Suppliers and Exporters*. <https://www.selinawamucii.com/insights/market/serbia/capsicum-bell-pepper/>
- Šregelj, V., Tumbas Šaponjac, V., Lević, S., Kalušević, A., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Nedović, V., Stajčić, S., Vulić, J., & Vidaković, A. (2019). Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. *Journal of Microencapsulation*, 36(8), 704–714. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1668488>
- Sethuramiah, A., & Kumar, R. (2016). Statistics and Experimental Design in Perspective. In A. Sethuramiah & R. Kumar (Eds.), *Modeling of Chemical Wear* (pp. 129–159). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804533-6.00006-8>
- Shamaei, S., Emam-Djomeh, Z., & Moini, S. (2012). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of cranberries: effect of finish drying methods and ultrasonic frequency on textural properties. *Journal of Texture Studies*, 43(2), 133–141. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4603.2011.00323.X>
- Sharafi, K., Yunesian, M., Mahvi, A. H., Pirsahab, M., Nazmara, S., & Nabizadeh Nodehi, R. (2019). Advantages and disadvantages of different pre-cooking and cooking methods in removal of essential and toxic metals from various rice types- human health risk assessment in Tehran households, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 175, 128–137.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.056>

- Sharma, R., Joshi, V. K., & Kaushal, M. (2015). Effect of pre-treatments and drying methods on quality attributes of sweet bell-pepper (*Capsicum annum*) powder. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3433–3439. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1374-y>
- Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105506>
- Soare, R., Dinu, M., Băbeanu, C., Popescu, M., & Popescu, A. (2017). Nutritional value and antioxidant activities in fruit of some cultivars of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 23(4), 217–222. <http://>
- Soysal, Y., Ayhan, Z., Eştürk, O., & Arıkan, M. F. (2009). Intermittent microwave-convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality. *Biosystems Engineering*, 103(4), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.010>
- Sredović Ignjatović, I. D., Onjia, A. E., Ignjatović, L. M., Todorović, Ž. N., & Rajaković, L. V. (2015). Experimental Design Optimization of the Determination of Total Halogens in Coal by Combustion – Ion Chromatography. *Analytical Letters*, 48(16), 2597–2612. <https://doi.org/10.1080/00032719.2015.1041029>
- Stahl, W., & Sies, H. (2003). *Antioxidant activity of carotenoids*. 24, 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X)
- Storelli, A., Barone, G., Dambrosio, A., Garofalo, R., Busco, A., & Storelli, M. M. (2020). Occurrence of trace metals in fish from South Italy: Assessment risk to consumer's health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 90(March), 103487. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103487>
- Su, Y., Zhang, M., Chitrakar, B., & Zhang, W. (2020). Effects of low-frequency ultrasonic pre-treatment in water/oil medium simulated system on the improved processing efficiency and quality of microwave-assisted vacuum fried potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63(January). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104958>
- Szadzińska, J., Lechtańska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2017). The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.030>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Todorova, V., & Djinovic, I. (2017). Assessment of Serbian pepper varieties grown in conditions of South Bulgaria. *Genetika*, 49(1), 161–172. <https://doi.org/10.2298/GENSR1701161T>
- Topuz, A., Feng, H., & Kushad, M. (2009). The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1667–1673. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.014>
- Tränkner, M., Tavakol, E., & Jákli, B. (2018). Functioning of potassium and magnesium in

- photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. *Physiologia Plantarum*, 163, 414–431. <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>
- Tripodi, P., & Kumar, S. (2019). The Capsicum Crop: An Introduction. In C. Ramchiary, N., Kole (Ed.), *The Capsicum Genome. Compendium of Plant Genomes*. (pp. 1–8). Springer, Cham. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_
- USEPA. (2018). Intake of Fruits and Vegetables (Chapter 9). *Exposure Factors Handbook: 2011 Edition, EPA/600/R-*(August). <https://cfpub.epa.gov/ncea/efp/recordisplay.cfm?deid=341764>
- USEPA. (2021). *Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables | US EPA*. <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>
- Valverde, M., Madrid, R., García, A. L., del Amor, F. M., & Rincón, L. (2013). Use of almond shell and almond hull as substrates for sweet pepper cultivation. Effects on fruit yield and mineral content. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(1), 164–172. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013111-3566>
- van de Velde, F., Pirovani, M. E., Cámara, M. S., Güemes, D. R., & Bernardi, C. M. de. H. (2012). Optimization and Validation of a UV-HPLC Method for Vitamin C Determination in Strawberries (*Fragaria ananassa* Duch.), Using Experimental Designs. *Food Analytical Methods*, 5(5), 1097–1104. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9347-5>
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
- Vera Candiotti, L., De Zán, M. M., Cámara, M. S., & Goicoechea, H. C. (2014). Experimental design and multiple response optimization. Using the desirability function in analytical methods development. *Talanta*, 124, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.01.034>
- Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., van Dalen, G., van der Sman, R., Nijssse, J., van Vliet, L., Van As, H., & van Duynhoven, J. (2012). The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*, 49(2), 687–693. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.019>
- Vulić, J., Šregelj, V., Kalušević, A., Lević, S., Nedović, V., Šaponjac, V. T., Čanadanović-Brunet, J., & Četković, G. (2019). Bioavailability and bioactivity of encapsulated phenolics and carotenoids isolated from red pepper waste. *Molecules*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152837>
- Wang, Haiyan, Wan, L., Chen, D., Guo, X., Liu, F., & Pan, S. (2019). Unexpected gelation behavior of citrus pectin induced by monovalent cations under alkaline conditions. *Carbohydrate Polymers*, 212, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.012>
- Wang, Hua, Zhao, Q. S., Wang, X. D., Hong, Z. dong, & Zhao, B. (2019). Pretreatment of ultrasound combined vacuum enhances the convective drying efficiency and physicochemical properties of okra (*Abelmoschus esculentus*). *LWT - Food Science and Technology*, 112, 108201. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.099>
- Wang, J., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J.-H., Fang, X.-M., Zhang, Q., Xie, L., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2017). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure and drying

- kinetics of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 77, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.070>
- Wehr, J. B., Menzies, N. W., & Blamey, F. P. C. (2004). Alkali hydroxide-induced gelation of pectin. *Food Hydrocolloids*, 18(3), 375–378. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00124-3)
- Whiting, S., Derbyshire, E., & Tiwari, B. K. (2012). Capsaicinoids and capsinoids. A potential role for weight management? A systematic review of the evidence. *Appetite*, 59(2), 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2012.05.015>
- WHO. (2012a). *Guideline: Potassium intake for adults and children* (pp. 1–42). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504829>
- WHO. (2012b). *Guideline: Sodium intake for adults and children* (pp. 1–56). World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241504836>
- WHO & FAO. (2004). Vitamin and mineral requirements in human nutrition Second edition. In *World Health Organization*. FAO World Health Organization. www.who.org
- Wrolstad, R. E., & Smith, D. E. (2017). Color Analysis. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis. Food Science Text Series*. (pp. 545–555). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31
- Xavier, A. A. O., & Pérez-Gálvez, A. (2016). Peppers and Chilies. In B. Caballero, M. Finglas, Paul, & F. Toldra (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00521-3>
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>
- Yamamoto, T., Shimizu, Y., Ueda, T., & Shiro, Y. (2010). Mg²⁺ Dependence of 70 S Ribosomal Protein Flexibility Revealed by Hydrogen/Deuterium Exchange and Mass Spectrometry *S. *Journal of Biological Chemistry*, 285(8), 5646–5652. <https://doi.org/10.1074/jbc.M109.081836>
- Yang, X. H., Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Xiao, H. W., Zhang, Q., & Kan, Z. (2018). Evolution and modeling of colour changes of red pepper (*Capsicum annuum* L.) during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 231, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.013>
- Zhao, C., Liu, Y., Lai, S., Cao, H., Guan, Y., San Cheang, W., Liu, B., Zhao, K., Miao, S., Riviere, C., Capanoglu, E., & Xiao, J. (2019). Effects of domestic cooking process on the chemical and biological properties of dietary phytochemicals. *Trends in Food Science and Technology*, 85(July 2018), 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.004>
- Żurawik, A., Jadczyk, D., Panayotov, N., & Żurawik, P. (2020). Macro- and micronutrient content in selected cultivars of *Capsicum annuum* L. depending on fruit coloration. *Plant, Soil and Environment*, 69(4), 155–161. <https://doi.org/10.17221/45/2020-PSE>

7. PRILOZI

Tabela P1. Srednje, minimalne i maksimalne vrednosti koeficijena ciljane opasnosti (THQ) i ukupnih koeficijena ciljane opasnosti (TTHQ) usled konzumacije paprike, za odrasle i decu.

Element	THQ Odrasli			THQ Deca		
	Srednja vrednost	Max	Min	Mean	Srednja vrednost	Min
Hg	0,0004	0,0038	0,0000	0,0007	0,0071	0,0000
Pb	0,0033	0,0178	0,0002	0,0062	0,0331	0,0003
Mn	0,0021	0,0076	0,0004	0,0038	0,0143	0,0007
Cr	0,0044	0,0132	0,0002	0,0082	0,0247	0,0004
Ni	0,0038	0,0252	0,0001	0,0071	0,0471	0,0002
Cu	0,0064	0,0402	0,0009	0,0119	0,0751	0,0017
Zn	0,0024	0,0148	0,0002	0,0044	0,0276	0,0004
Co	0,0154	0,0599	0,0016	0,0287	0,1118	0,0030
Fe	0,0014	0,0028	0,0003	0,0026	0,0052	0,0006
Mo	0,0036	0,0195	0,0002	0,0067	0,0364	0,0004
Al	0,0005	0,0021	0,0001	0,0010	0,0040	0,0001
Cd	0,0021	0,0130	0,0001	0,0039	0,0243	0,0002
As	0,0069	0,0188	0,0002	0,0129	0,0351	0,0004
TTHQ	0,05	0,15	0,01	0,10	0,27	0,01

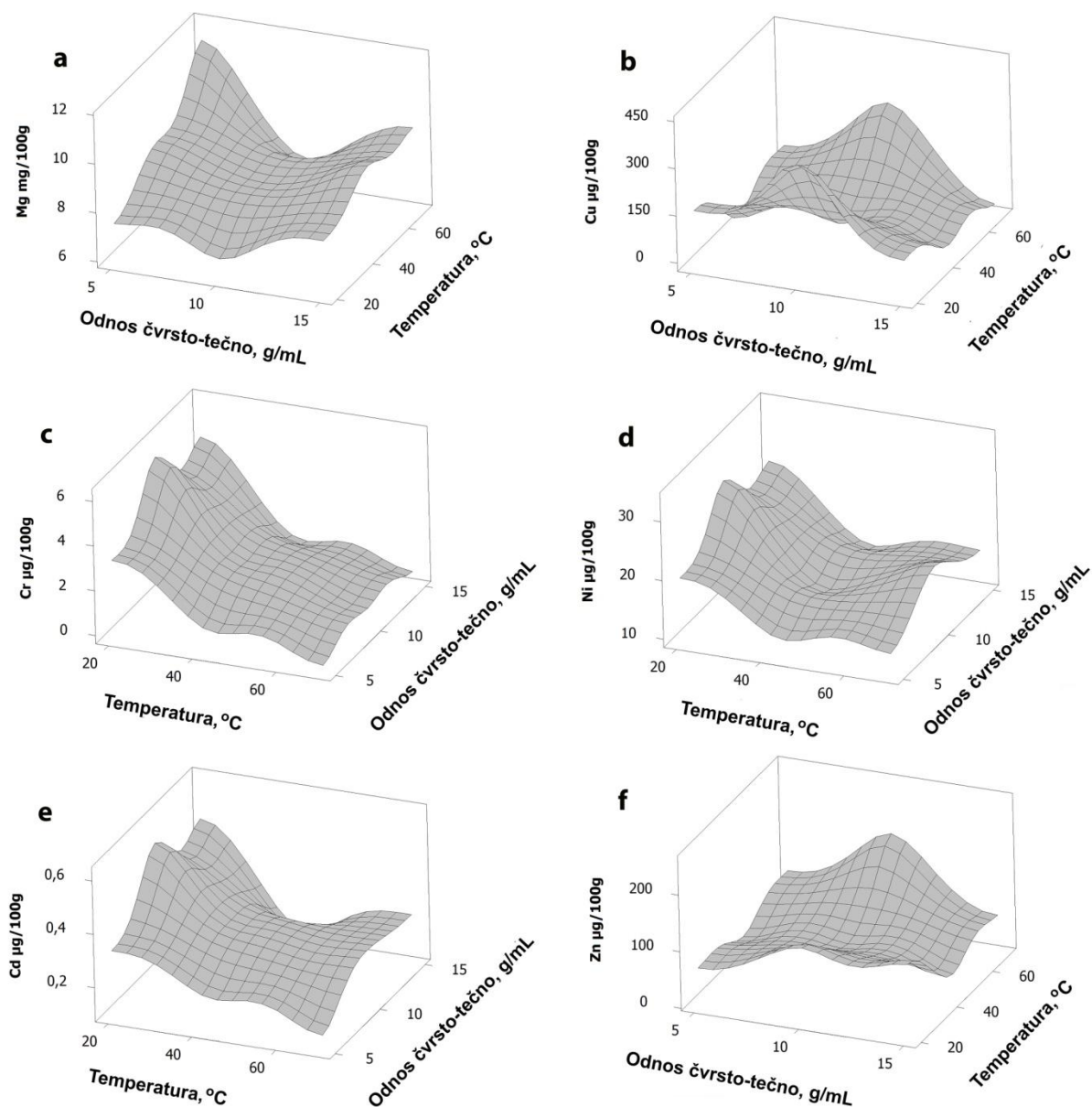
Tabela P2. Vrednosti totalnih koeficijena ciljane opasnosti (TTHQ) i karcinogenog rizika svih elemenata (ILCR) usled konzumacije paprike

Uzorak	TTHQ		ILCR	
	Odrasli	Deca	Odrasli	Deca
1 Slatka mlevena začinska paprika 1	$8,08 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^{-2}$	$1,52 \times 10^{-6}$	$8,50 \times 10^{-7}$
2 Ljuta mlevena začinska paprika 1	$8,92 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-2}$	$3,30 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-6}$
3 Slatka mlevena začinska paprika 2	$1,59 \times 10^{-2}$	$2,96 \times 10^{-2}$	$8,22 \times 10^{-6}$	$4,59 \times 10^{-6}$
4 Ljuta mlevena začinska paprika 2	$1,40 \times 10^{-2}$	$2,60 \times 10^{-2}$	$4,69 \times 10^{-6}$	$2,62 \times 10^{-6}$
5 Slatka mlevena začinska paprika 3	$1,24 \times 10^{-2}$	$2,31 \times 10^{-2}$	$7,75 \times 10^{-6}$	$4,33 \times 10^{-6}$
6 Slatka dimljena začinska paprika	$1,72 \times 10^{-2}$	$3,20 \times 10^{-2}$	$3,17 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-6}$
7 Sušena cela paprika	$5,60 \times 10^{-3}$	$1,04 \times 10^{-2}$	$3,55 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^{-6}$
8 Svetlo zelena babura	$1,47 \times 10^{-1}$	$2,74 \times 10^{-1}$	$2,49 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-4}$
9 Crvena babura	$4,02 \times 10^{-2}$	$7,50 \times 10^{-2}$	$7,08 \times 10^{-6}$	$3,97 \times 10^{-6}$
10 Žuta babura	$5,02 \times 10^{-2}$	$9,37 \times 10^{-2}$	$4,89 \times 10^{-5}$	$2,74 \times 10^{-5}$
11 Zelena babura	$6,88 \times 10^{-2}$	$1,28 \times 10^{-1}$	$2,43 \times 10^{-5}$	$1,36 \times 10^{-5}$
12 Crvena šilja	$7,57 \times 10^{-2}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$7,49 \times 10^{-5}$	$4,19 \times 10^{-5}$
13 Zelena šilja	$6,54 \times 10^{-2}$	$1,22 \times 10^{-1}$	$3,21 \times 10^{-5}$	$1,80 \times 10^{-5}$
14 Svetlo zelena šilja	$7,93 \times 10^{-2}$	$1,48 \times 10^{-1}$	$1,23 \times 10^{-4}$	$6,89 \times 10^{-5}$
15 Maslinasto zelena šilja	$6,14 \times 10^{-2}$	$1,15 \times 10^{-1}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$6,47 \times 10^{-5}$
16 Feferon svež	$1,34 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-1}$	$8,20 \times 10^{-5}$	$4,59 \times 10^{-5}$
17 Paprika u pavlaci 1	$4,82 \times 10^{-2}$	$9,00 \times 10^{-2}$	$2,68 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$
18 Kiseli slatki feferon	$1,44 \times 10^{-1}$	$2,69 \times 10^{-1}$	$5,79 \times 10^{-5}$	$3,24 \times 10^{-5}$
19 Kiseli feferon	$5,46 \times 10^{-2}$	$1,02 \times 10^{-1}$	$1,09 \times 10^{-5}$	$6,09 \times 10^{-6}$
20 Kisela crvena paprika	$3,01 \times 10^{-2}$	$5,62 \times 10^{-2}$	$1,48 \times 10^{-5}$	$8,30 \times 10^{-6}$
21 Pečena kisela crvena paprika 1	$4,55 \times 10^{-2}$	$8,50 \times 10^{-2}$	$3,55 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-5}$
22 Pečena kisela crvena paprika 2	$4,31 \times 10^{-2}$	$8,04 \times 10^{-2}$	$1,09 \times 10^{-5}$	$6,13 \times 10^{-6}$
23 Paprika somboraka, crvena blago	$3,94 \times 10^{-2}$	$7,36 \times 10^{-2}$	$5,05 \times 10^{-5}$	$2,83 \times 10^{-5}$

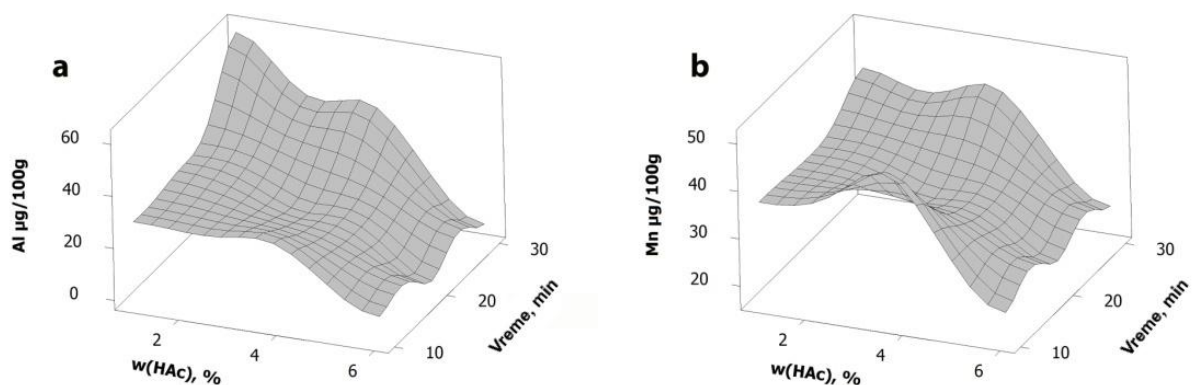
ljuta					
24	Kisela žuta paprika	$7,88 \times 10^{-2}$	$1,47 \times 10^{-1}$	$2,41 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-5}$
25	Punjena paprika	$5,30 \times 10^{-2}$	$9,89 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-5}$	$9,20 \times 10^{-6}$
26	Paprika u pavlaci ljuta 1	$4,00 \times 10^{-2}$	$7,46 \times 10^{-2}$	$3,75 \times 10^{-5}$	$2,10 \times 10^{-5}$
27	Paprika u pavlaci 2	$4,68 \times 10^{-2}$	$8,75 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-5}$	$9,21 \times 10^{-6}$
28	Paprika u pavlaci ljuta 2	$4,68 \times 10^{-2}$	$8,74 \times 10^{-2}$	$3,99 \times 10^{-5}$	$2,23 \times 10^{-5}$
Srednja vrednost		0,05	0,10	$4,04 \times 10^{-5}$	$2,26 \times 10^{-5}$
Max		0,15	0,27	$2,49 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-4}$
Min		0,01	0,01	$1,52 \times 10^{-6}$	$8,50 \times 10^{-7}$

Tabela P3. Srednje vrednosti, maksimalne i minimalne CR i ILCR vrednosti usled konzumacije paprike, za odrasle i decu.

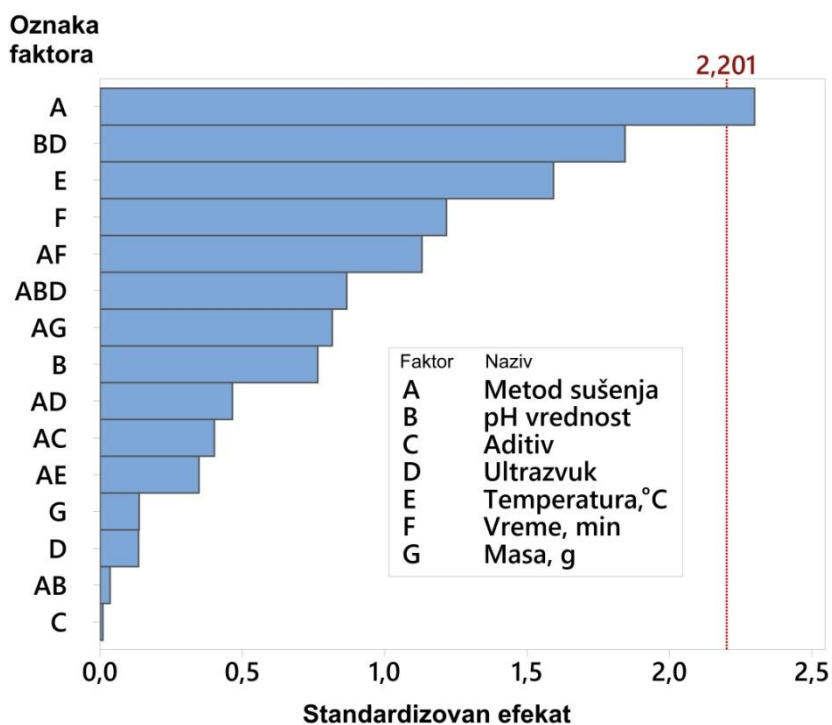
Element	Srednja vrednost	CR Odrasli		Srednja vrednost	CR Deca	
		Max	Min		Max	Min
Pb	$2,83 \times 10^{-08}$	$1,51 \times 10^{-07}$	$1,56 \times 10^{-09}$	$1,59 \times 10^{-08}$	$8,45 \times 10^{-08}$	$8,69 \times 10^{-10}$
Cr	$1,88 \times 10^{-06}$	$5,67 \times 10^{-06}$	$8,65 \times 10^{-08}$	$1,05 \times 10^{-06}$	$3,17 \times 10^{-06}$	$4,83 \times 10^{-08}$
Ni	$3,72 \times 10^{-05}$	$2,45 \times 10^{-4}$	$1,22 \times 10^{-06}$	$2,08 \times 10^{-05}$	$1,37 \times 10^{-4}$	$6,84 \times 10^{-07}$
Cd	$2,28 \times 10^{-07}$	$1,41 \times 10^{-06}$	$1,14 \times 10^{-08}$	$1,28 \times 10^{-07}$	$7,92 \times 10^{-07}$	$6,38 \times 10^{-09}$
As	$8,86 \times 10^{-06}$	$2,42 \times 10^{-06}$	$3,02 \times 10^{-08}$	$4,96 \times 10^{-07}$	$1,35 \times 10^{-06}$	$1,68 \times 10^{-08}$
ILCR	$4,02 \times 10^{-05}$	$2,49 \times 10^{-4}$	$1,52 \times 10^{-06}$	$2,25 \times 10^{-05}$	$1,39 \times 10^{-4}$	$8,50 \times 10^{-07}$



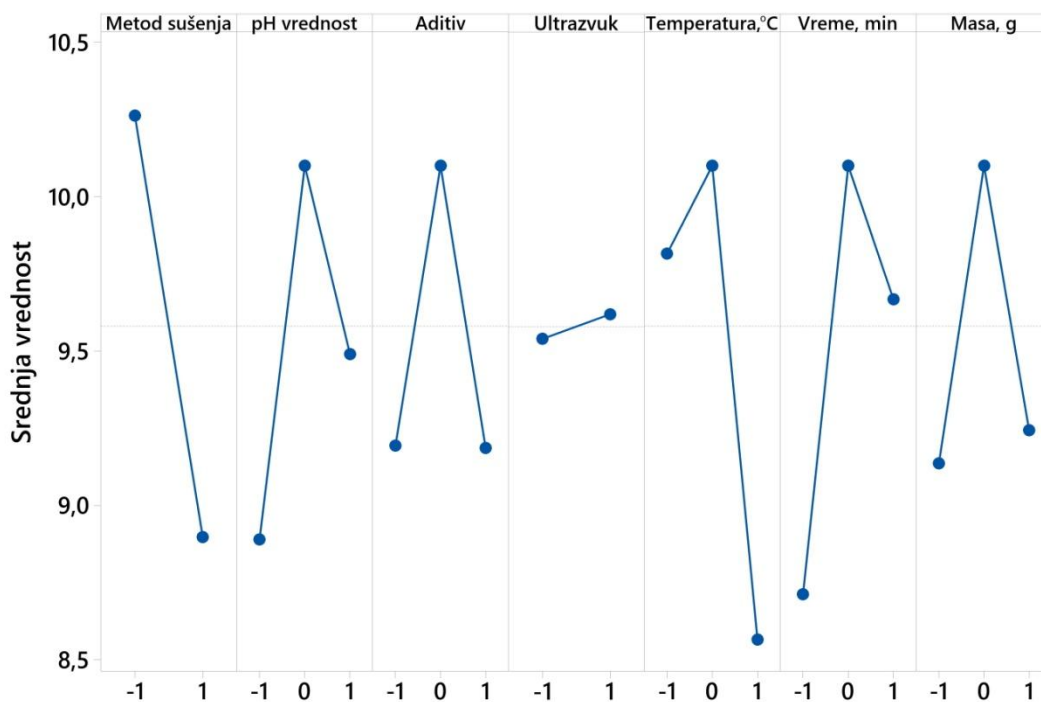
Slika P1. Dijagrami odgovora površina za vodenu ekstrakciju zrele zelene paprike: a - ekstrakcija Mg u funkciji odnosa čvrsto-tečno prema temperaturi ekstrakcije; b- ekstrakcija Cu u funkciji odnosa čvrsto-tečno prema temperaturi ekstrakcije; c - ekstrakcija Cr u funkciji temperature ekstrakcije prema odnosu čvrsto-tečno; d - ekstrakcija Ni u funkciji temperature ekstrakcije prema odnosu čvrsto-tečno; e - ekstrakcija Cd u funkciji temperature ekstrakcije prema odnosu čvrsto-tečno; f - ekstrakcija Zn u funkciji temperature ekstrakcije prema odnosu čvrsto-tečno.



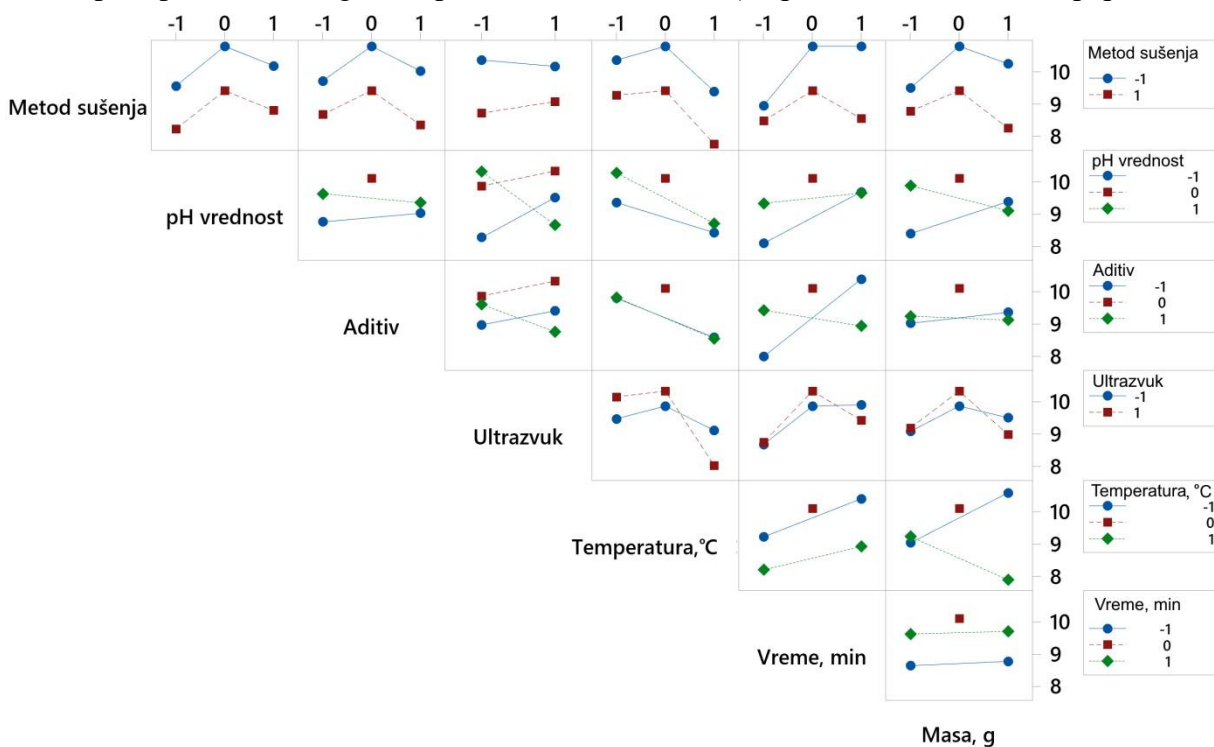
Slika P2. Dijagrami odgovora površina za sirćetnu ekstrakciju zrele crvene paprike: a - ekstrakcija Al u funkciji masene koncentracije sirćetne kiseline prema vremenu ekstrakcije; b - ekstrakcija Mn u funkciji masene koncentracije sirćetne kiseline prema vremenu ekstrakcije.



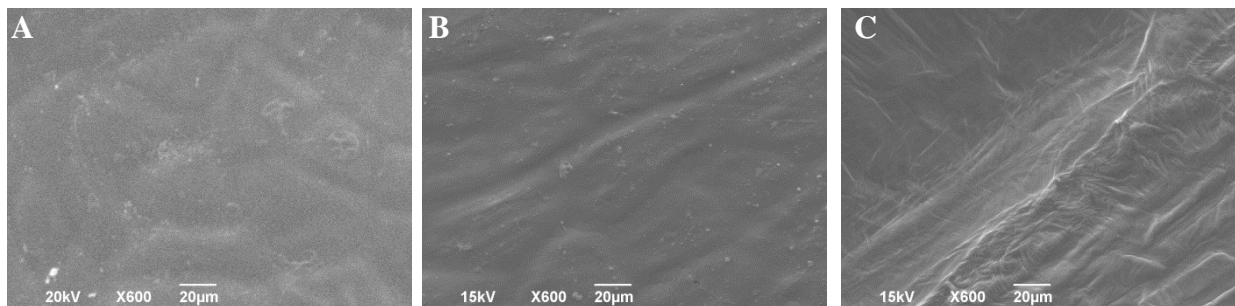
Slika P3. Pareto dijagram (mg ekv. GAE/g s.m., $\alpha=0.05$) uticaja ispitivanih faktora na sadržaj ukupnih polifenola (eng. total phenolic content - TPC) u plodu sušene začinske paprike.



Slika P4. Dijagram glavnih efekata (mg ekv. GAE/g s.m.) uticaja ispitivanih faktora na sadržaj ukupnih polifenola (eng. total phenolic content – TPC) u plodu sušene začinske paprike



Slika P5. Dijagram interakcija (mg ekv. GAE/g s.m.) uticaja ispitivanih faktora na sadržaj ukupnih polifenola (eng. total phenolic content - TPC) u plodu sušene začinske paprike.



Slika P6. SEM analiza uzoraka sušene začinske paprike: A – spoljašnja površina uzorka 3 iz FFD (Tabela 3.6.), B – spoljašnja površina uzorka 24 iz FFD, C – unutrašnja površina uzorka 24 iz FFD.

BIOGRAFIJA AUTORA

Milica B. Lučić rođena je u Trebinju, Bosni i Hercegovini (Republici Srpskoj) 29.06.1991. godine. Osnovno i srednje obrazovanje (gimnazija, ošti smer) završila je u Gacku, Republika Srpska. Poljoprivredni fakultet, Univerziteta u Beogradu, studijski program Prehrambena tehnologija, smer Konzervisanje i vrenje upisala je školske 2010/11. godine. Osnovne studije završila je 2014. godine sa prosečnom ocenom 9,83/10. Master akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Prehrambena tehnologija, upisala je 2014. godine, a završila ih je 2015. godine sa prosečnom ocenom 9,83/10. U novembru 2015. godine odbranila je master rad sa temom “*Meripilus giganteus* – biološki potencijal i primena u proizvodnji hleba” sa ocenom 10.

Dobitnik je nagrade „Fonda Nikola Spasić“, kao najbolji diplomirani student Poljoprivrednog fakulteta 2013/14. godine. Tokom leta 2016. godine obavljala je stručnu praksu u kompaniji „Delhaize-Serbia“ u sektoru kontrole kvaliteta.

Doktorske akademske studije na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Prehrambena tehnologija, upisala je 2016/2017. godine. Položila je sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija sa prosečnom ocenom 10,00.

Od 2018. godine bila je angažovana kao stipendista Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na projektu „Nove tehnologije za monitoring i zaštitu životnog okruženja od štetnih hemijskih supstanci i radijacionog opterećenja“ (evidentacioni broj projekta III43009). Tokom školovanja 2018/19. i 2019/20. godine radila je kao saradnik na vežbama iz Opšte hemije i Analitičke hemije, na katedri za hemiju i biohemiju, na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Od decembra 2020. godine zaposlena je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, u zvanju istraživač-pripravnik, a od 2021. godine u zvanju istraživač-saradnik.

U saradnji sa drugim autorima objavila je 4 rada u međunarodnim časopisima (2 rada iz kategorije M21 i 2 rada iz kategorije M23), 1 rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), 1 rad saopšten na međunarodnom skupu štampan u celini (M33) i 4 saopštenja na međunarodnim naučnim skupovima štampani u izvodu (M34).

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora Milica Lučić

Broj indeksa TH 16/0011

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

Uticaj ultrazvučnog i toplotnog predtretmana na tehnološka i funkcionalna svojstva sušene konzumne i začinske paprike

- 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 kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Milica Lučić

Broj indeksa TH 16/0011

Studijski program Prehrambena tehnologija

Naslov rada Uticaj ultrazvučnog i toplotnog predtretmana na tehnološka i funkcionalna svojstva sušene konzumne i začinske paprike

Mentori docent dr Ivana Sredović Ignjatović i vanredni profesor dr Steva Lević

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:

Uticaj ultrazvučnog i toplotnog predtretmana na tehnološka i funkcionalna svojstva sušene konzumne i začinske paprike

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. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

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.