

Utjecaj predtretmana na sastav minimalno procesiranog krumpira prije i nakon termičke obrade

Jakupec, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:018634>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2019.

Dino Jakupec

1115/PI

**UTJECAJ PREDTRETMANA NA
SASTAV MINIMALNO
PROCESIRANOG KRUMPIRA
PRIJE I NAKON TERMIČKE
OBRADE**

Rad je izrađen u Laboratoriju za procese konzerviranja i preradu voća i povrća i Laboratoriju za procese sušenja i praćenje stabilnosti biološki aktivnih spojeva na Zavodu za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof. dr.sc. Branke Levaj Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te uz pomoć doc.dr.sc. Maje Repajić i dr.sc. Sandre Pedisić.

Ovaj rad izrađen je u okviru projekta “Inovativne tehnike u minimalnoj preradi krumpira (*Solanum tuberosum*) i njegova zdravstvena ispravnost nakon pripreme“ (IMPROvePOTATO, IP-06-2016) financiranog sredstvima Hrvatske zaklade za znanost.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za procese konzerviranja i preradu voća i povrća

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

UTJECAJ PREDTRETMANA NA SASTAV MINIMALNO PROCESIRANOG KRUMPIRA PRIJE I NAKON TERMIČKE OBRADE

Dino Jakupec, 1115/PI

Sažetak: Zbog ubrzanog načina života sve više raste potražnja za minimalno procesiranim voćem i povrćem spremnim za jednostavnu i brzu konzumaciju ili pripremu. Jedan od takvih proizvoda je i minimalno procesirani krumpir (MPK). Cilj ovog istraživanja bio je odrediti utjecaj predtretmana ozoniranom vodom i otopinom natrijeva askorbata na kemijski sastav MPK sorti Birgit i Lady Claire tijekom 8 dana skladištenja, prije i nakon termičke obrade kuhanjem i prženjem. U sirovim i termički obrađenim uzorcima MPK izuzetih 1., 5. i 8. dan skladištenja HPLC analizom određen je udio fenolnih spojeva (klorogenska kiselina, epikatehin, katehin) i šećera (fruktoza, glukoza, saharoza), dok je u prženim uzorcima određen i udio akrilamida. Svi varirani parametri imali su značajan utjecaj na kemijski sastav. MPK sorte Birgit sadrži veće koncentracije svih analiziranih spojeva osim klorogenske kiseline. Predtretman ozoniranom vodom djeluje na očuvanje fenolnih spojeva kod MPK sorte Birgit uz istovremeno zadržavanje šećera. Kuhanje dovodi do smanjenja koncentracije fenolnih spojeva i šećera u MPK, a prženjem se degradiraju klorogenska kiselina i katehin dok koncentracija epikatehina raste. Dulje skladištenje uzrokuje degradaciju većine fenolnih spojeva te povećanje sadržaja šećera. Prženi MPK sorte Lady Claire sadrži značajno manje akrilamida od sorte Birgit, dok predtretman ozoniranom vodom dodatno snižava koncentracije akrilamida. Vrijednosti koncentracija akrilamida u svim su uzorcima znatno niže od zakonski preporučene maksimalne vrijednosti.

Ključne riječi: krumpir, minimalno procesiranje, fenolni spojevi, šećeri, akrilamid

Rad sadrži: 51 stranicu, 4 slike, 13 tablica, 92 literaturna navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: prof.dr.sc. Branka Levaj

Pomoć pri izradi: doc.dr.sc. Maja Repajić, dr.sc. Sandra Pedisić

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. Izv.prof.dr.sc. Sandra Albino
2. Prof.dr.sc. Branka Levaj
3. Doc.dr.sc. Maja Repajić
4. Prof.dr.sc. Suzana Rimac Brnčić (zamjena)

Datum obrane: 16. srpnja 2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Engineering
Laboratory for Technology of Fruits and Vegetables Preservation and Processing

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

EFFECT OF PRETREATMENT ON COMPOSITION OF MINIMALLY PROCESSED POTATO BEFORE AND AFTER HEAT PROCESSING

Dino Jakupec, 1115/PI

Abstract: *Due to fast lifestyle demand for minimally processed fruits and vegetables ready for simple and fast consumption or preparation is rising. One of such products is minimally processed potato (MPP). The aim of this study was to determine effect of ozonated water and sodium ascorbate solution pretreatment on composition of MPP type Birgit and Lady Claire during 8 days of storage, before and after cooking and frying. In raw, cooked and fried MPP samples taken on 1st, 5th and 8th day of storage, phenolic compound (chlorogenic acid, epicatechin, catechin) and sugar (fructose, glucose, sucrose) content was determined using HPLC analysis, while in fried samples acrylamide content was also determined. All of the varied parameters had significant impact on chemical composition of MPP. MPP type Birgit contains higher concentrations of all analyzed compounds except of chlorogenic acid. Ozonated water pretreatment has effect on preservation of phenolic compounds in MPP type Birgit while also retaining sugars. Cooking leads to reduction of phenolic compounds and sugars in MPP while frying causes degradation of chlorogenic acid and catechin and increase in epicatechin content. Longer storage causes degradation of most of fenolic compounds and increase in sugar content. Fried MPP type Lady Claire contains significantly less acrylamide than type Birgit, while ozonated water pretreatment causes additional decrease in acrylamide concentration. Acrylamide concentrations in all samples were significantly lower than maximum values given by law.*

Keywords: potato, minimal processing, phenolic compounds, sugars, acrylamide

Thesis contains: 51 pages, 4 figures, 13 tables, 92 references

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: *PhD. Branka Levaj, Full professor*

Technical support and assistance: *PhD. Maja Repajić, Assistant professor, PhD. Sandra Pedisić*

Reviewers:

1. PhD. *Sandra Balbino*, Associate professor
2. PhD. *Branka Levaj*, Full professor
3. PhD. *Maja Repajić*, Assistant professor
4. PhD. *Suzana Rimac Brnčić*, Full professor (substitute)

Thesis defended: July 16th 2019

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. KRUMPIR.....	2
2.1.1. Kemijski sastav krumpira	3
2.1.2. Skladištenje krumpira i utjecaj na kemijski sastav	5
2.2. MINIMALNO PROCESIRANO VOĆE I POVRĆE.....	7
2.2.1. Produljenje roka trajnosti	7
2.2.2. Posmeđivanje.....	9
2.3. AKRILAMID	11
2.3.1. Akrilamid u proizvodima od krumpira.....	12
2.3.2. Smanjenje količine akrilamida	13
3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1. MATERIJALI	15
3.2. APARATURA I PRIBOR.....	17
3.3. KEMIKALIJE	18
3.4. METODE	19
3.4.1. Ekstrakcija fenolnih spojeva.....	19
3.4.2. Analiza fenolnih spojeva	19
3.4.3. Ekstrakcija šećera	20
3.4.4. Analiza šećera.....	21
3.4.5. Ekstrakcija akrilamida	22
3.4.6. Analiza akrilamida.....	23
3.4.7. Statistička obrada rezultata.....	23
4. REZULTATI I RASPRAVA	25
4.1. FENOLNI SPOJEVI	25
4.1.1. Utjecaj varijacije parametara.....	25
4.1.2. Fenolni spojevi u sirovom MPK.....	26
4.1.3. Fenolni spojevi u kuhanom MPK.....	28
4.1.4. Fenolni spojevi u prženom MPK.....	30
4.2. ŠEĆERI	31
4.2.1. Utjecaj varijacije parametara	31
4.2.2. Šećeri u sirovom MPK	32
4.2.3. Šećeri u kuhanom MPK.....	34
4.2.4. Šećeri u prženom MPK	35
4.3. AKRILAMID	36
4.3.1. Utjecaj varijacije parametara.....	36
4.3.2. Akrilamid u prženom MPK.....	37
5. ZAKLJUČCI	39
6. LITERATURA	41

1. UVOD

Minimalno procesiranje voća i povrća podrazumijeva operacije kao što su pranje, guljenje, rezanje i pakiranje koje se provode s ciljem lakše i brže konzumacije ili pripreme u domaćinstvu, uz istodobno očuvanje izvornih senzorskih i nutritivnih svojstava samog voća i povrća. Zbog ubrzanog načina života potražnja za takvim proizvodima iz godine u godinu sve više raste. Prilikom minimalnog procesiranja dolazi do oštećenja tkiva voća i povrća koje tada postaje podložnije mikrobiološkom kvarenju i drugim negativnim promjenama poput posmeđivanja. Zbog navedenog dolazi do neizbježnog smanjenja roka trajnosti dobivenog proizvoda što predstavlja glavni problem koji se nastoji riješiti prilikom proizvodnje pojedinih minimalno procesiranih proizvoda.

Krumpir (*Solanum tuberosum L.*) je biljka čiji gomolj predstavlja izrazito važan izvor energije i nutrijenata (vitamina, minerala, fenolnih spojeva i dr.) u prehrani. Uz to je prikladan za duže skladištenje tako da predstavlja dobru sirovinu dostupnu za minimalno procesiranje tijekom cijele godine. Međutim osim već spomenutih negativnih promjena, prilikom prerade ili pripreme često se obrađuje na visokim temperaturama (primjerice prženjem) pri kojima iz reducirajućih šećera i slobodnog asparagina nastaje akrilamid, kontaminant u hrani. Prekomjerno unošenje akrilamida može uzrokovati mutagene, neurotoksične i kancerogene promjene u organizmu. Budući da krumpir sadrži visoke koncentracije prekursora za sintezu akrilamida, posljedično prženi može sadržavati značajne koncentracije akrilamida. Stoga je potrebno, između izrazito raznolikog sortimenta krumpira, odabrati sorte koje imaju najpogodnija svojstva za minimalno procesiranje i koje ne pogoduju nastajanju većih udjela akrilamida prženjem. Također, kako bi se produljio rok trajnosti i spriječilo narušavanje senzorskih i nutritivnih karakteristika dobivenog proizvoda koriste se različiti postupci predtretiranja, pakiranja i skladištenja.

U ovom radu istraživana je utjecaj predtretmana ozoniranom vodom i otopinom natrijeva askorbata na kemijski sastav minimalno procesiranog krumpira dviju sorti tijekom 8 dana skladištenja prije i nakon termičke obrade kuhanjem i prženjem, pri čemu su u svim uzorcima određivani udjeli fenolnih spojeva i šećera, a u uzorcima prženih krumpira i udio akrilamida.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. KRUMPIR

Krumpir (*Solanum tuberosum L.*) je višegodišnja zeljasta biljka iz porodice pomoćnica (*Solanaceae*) čiji se gomolj koristi za ljudsku prehranu, industrijsku preradu i za stočnu hranu (Lešić i sur., 2004) pri čemu služi kao jeftin izvor energije, visokokvalitetnih proteina, vlakana i vitamina uz nizak udio masti (Friedman, 2006).

Prema svjetskoj proizvodnji krumpir je četvrta kultura koja se uzgaja za prehranu ljudi, iza riže, pšenice i kukuruza (Mahgoub i sur., 2015). U 2017. godini u svijetu je proizvedeno približno 390 milijuna tona krumpira pri čemu su najveći svjetski proizvođači bili:

- Kina (100 milijuna tona),
- Indija (50 milijuna tona),
- Rusija (30 milijuna tona)

Ostali značajniji proizvođači krumpira uključivali su Ukrajinu i SAD s 20 milijuna tona i Njemačku te Bangladeš s 10 milijuna tona krumpira, dok je iste godine proizvodnja krumpira u Hrvatskoj iznosila tek oko 160 tisuća tona (FAOSTAT, 2017).

Sortiment krumpira najčešće se dijeli prema tipičnim karakteristikama biljke ili gomolja kao što su vrijeme vegetacije, broj pupoljaka, otpornost prema bolestima, oblik gomolja, broj „očiju“, tekstura kože, boja kože i mesa (Burton, 1989), dok je s tehnološkog aspekta najznačajnija podjela prema mehaničkim svojstvima gomolja pri čemu se krumpir dijeli na sorte s brašnavim gomoljima koji spontano pucaju i lako se mrve, zbijenim gomoljima koji ne pucaju, raspadaju se ali se ne mrve, voštanim gomoljima koji imaju čvrsto meso, pucaju samo pri nametanju vanjske sile i sapunastim gomoljima koji su slični voštanim, ali su vodenasti i djelomično prozirni. Za različita mehanička svojstva tih sorata odgovorni su prije svega udio škroba te omjer amiloze i amilopektina u prisutnom škrobu (Furrer i sur., 2018).

Trenutno se u svijetu za komercijalnu preradu izdvaja 50-60 % ukupne proizvodnje krumpira. Najzastupljeniji proizvodi dobiveni preradom uključuju čips, smrznute proizvode

(uglavnom pomfrit), dehidratirane proizvode (uključujući pahuljice, granule, brašno i sušeni krumpir), minimalno procesirani krumpir te u manjoj mjeri druge proizvode poput krumpirovog škroba i alkohola (Bradshaw i Ramsay, 2009).

2.1.1. Kemijski sastav krumpira

Kemijski sastav krumpira ponajprije ovisi o sorti, ali i uvjetima uzgoja poput tla, klime i primijenjenih agrotehničkih mjera, a kod proizvoda dobivenih preradom krumpira na kemijski sastav utječu i tehnika te uvjeti procesiranja (Furrer i sur., 2018).

Osim vode koja prosječno čini oko 79 % mase sirovog gomolja, količinski najznačajniji konstituent krumpira je škrob čiji udio prosječno iznosi 17 %. Krumpir sadrži i manje količine drugih ugljikohidrata poput glukoze, fruktoze i saharoze (ukupno 1 %) te prehrambena vlakna (približno 2 %). Od ostalih makronutrijenata u krumpiru se mogu naći manje količine visoko vrijednih proteina (2 %), dok je udio masti neznatna te najčešće iznosi manje od 0,1 %. Što se mikronutrijenata tiče, najzastupljeniji mineral krumpira je kalij s prosječno 425 mg 100 g⁻¹, a od vitamina krumpir sadrži najviše vitamina C (20 mg 100 g⁻¹) (USDA, 2018).

Škrob krumpira primarno čini visoko razgranati amilopektin (70-80 %), a u manjoj mjeri linearni lanci amiloze (20-30 %) (Hoover, 2001). Specifičnost škroba krumpira u odnosu na škrob drugih biljnih vrsta očituje se u značajnom udjelu monofosfatnih estera kovalentno vezanih na amilopektin (Hoover, 2001). Kao posljedica toga veća količina vode prodire između molekula škroba što mu omogućuje veću moć bubrenja (Ek i sur., 2012), a time i posebna funkcionalna svojstva kao što su ugušćivanje, stabilizacija, želiranje i vezanje vode (Bertoft i Blennow, 2009).

Nativni škrob u krumpiru smatra se rezistentnim budući da unutar 120 minuta od ingestije ne dolazi do njegove probave već nepromijenjen dolazi do debelog crijeva gdje se fermentira. Razlog tomu je konformacija neželatiniziranih granula škroba koja onemogućuje pristup amilazama, a samim time i njihovo djelovanje (Nugent, 2005).

Osim škroba u krumpiru su prisutni i jednostavni ugljikohidrati poput glukoze, fruktoze i saharoze (Zhu i sur., 2010) čiji sadržaj varira između, ali i unutar sorte, unutar samog gomolja, a općenito se količina šećera smanjuje tijekom razvoja biljke i gomolja (Navarre i sur., 2013). Od spojeva koji pripadaju skupini ugljikohidrata krumpir sadrži i 1-2 % prehrambenih vlakana koja zbog visoke zastupljenosti krumpira u prehrani ljudi količinski predstavlja dobar izvor vlakana (Kolasa, 1993).

Proteini čine prosječno 2-2,5 % mase sirovog gomolja krumpira pri čemu 40 % proteina pripada frakciji topljivih spremišnih glikoproteina – patatina (Shewry, 2003). Sadržaj i sastav proteina uglavnom ovisi o sorti i zrelosti krumpira, no uglavnom u aminokiselinskom sastavu proteina krumpira prevladavaju asparagin te glutaminska i asparaginska kiselina, dok je nizak udio metionina, cisteina i histidina (Zhu i sur., 2010) čime se ističu kao visoko kvalitetni biljni proteini (Kärenlampi i White, 2009).

Gomolj krumpira dobar je izvor brojnih fitokemikalija koje pokazuju bioaktivno djelovanje, odnosno njihova konzumacija ima pozitivan učinak na ljudski organizam. Iako koncentracije tih spojeva nisu izrazito visoke, zbog velike zastupljenosti krumpira u prehrani te relativno velikog unosa, krumpir predstavlja značajan izvor bioaktivnih spojeva kao što su:

- fenoli
- polifenoli
- tokoferoli
- karotenoidi (Furrer i sur., 2018)

Fenoli su sekundarni metaboliti mnogih biljaka karakterizirani postojanjem fenolne skupine u svojoj strukturi (Crozier i sur., 2009). Iako gomolj krumpira sadrži mnoge fenolne spojeve, najzastupljenija je klorogenska kiselina koja čini približno 90 % svih fenolnih spojeva u krumpiru (Payyavula i sur., 2014). Flavonoidi kao podskupina fenolnih spojeva manje su zastupljeni od klorogenske kiseline, no u krumpiru su detektirane i značajnije količine katehina, rutina i kvercetina (Lewis i sur., 1998; Blessington i sur., 2010; Navarre i sur., 2011). U tablici 1 prikazan je pregled koncentracija navedenih fenolnih spojeva u istraživanjima različitih autora.

Tablica 1. Pregled koncentracija značajnijih fenolnih spojeva u krumpiru

Fenolni spoj	Koncentracija (mg 100 g⁻¹ suhog uzorka)	Referenca
Klorogenska kiselina	27,6	Kanatt i sur. (2005)
	21,0 - 40,0	Navare i sur. (2009)
	47,0 - 283,0	Leo i sur. (2008)
	17,3 - 1468,1	Mader i sur. (2009)
Katehin	0 - 1,5	Mader i sur. (2009)
	0 - 1,4	Deußer i sur. (2012)
Rutin	0,5 - 2,6	Shakya i sur. (2006)
	0,6 - 1,3	Navare i sur. (2010)
	0 - 12,2	Deußer i sur. (2012)
Kvercetin	2,5	Shakya i sur. (2006)
	2,3	Blessington i sur. (2010)

2.1.2. Skladištenje krumpira i utjecaj na kemijski sastav

Nakon berbe krumpir je potrebno u što kraćem vremenu prikladno uskladištiti. Najbolje rješenje su namjenska skladišta s kontroliranim uvjetima. Prije samog skladištenja krumpir prolazi faze prosušivanja aktivnom ventilacijom, zatim postupak zacjeljivanja rana u kojem se krumpir 1-2 tjedna održava na 15 °C i relativnoj vlažnosti 80-95 % nakon čega slijedi postupno hlađenje mase krumpira do temperature skladištenja. Ukoliko je krumpir namijenjen za konzumiranje, temperatura u skladištu se održava na 4-5 °C, dok je temperatura skladištenja krumpira za industrijsku preradu nešto viša (7-8 °C) kako bi se izbjeglo zaslađivanje. Optimalna relativna vlažnost zraka u skladištu krumpira kreće se između 85-95 % uz povremenu ventilaciju zraka kako bi se uklonio višak ugljikovog dioksida nastao disanjem krumpira (Lešić i sur., 2004; Čolaković, 2007). Na slici 1 prikazano je moderno skladište krumpira s kontroliranom temperaturom i relativnom vlažnošću zraka.



Slika 1. Moderno skladište krumpira (Anonymous 1, 2019)

Tijekom skladištenja krumpira dolazi do promjena u njegovom kemijskom sastavu. Pri niskim temperaturama skladištenja, a posebice ako je temperatura niža od 4 °C dolazi do promjene u omjeru škroba i jednostavnih šećera u krumpiru, odnosno do zaslađivanja (Watada i Kunkel, 1955). Pri tom procesu škrob se djelomično razgrađuje do glukoze što dovodi do slatkastog okusa krumpira, ali i do ubranog posmeđivanja te promoviranja nastanka akrilamida zbog reakcije nastale glukoze i slobodnog asparagina u krumpiru prilikom procesiranja na visokim temperaturama (Amrein i sur., 2003). Otpornost na zaslađivanje, temperature pri kojima se najintenzivnije događa i količina glukoze koja nastaje prilikom zaslađivanja kod skladištenja gomolja krumpira na niskim temperaturama specifične su karakteristike pojedinih sorti te kao takve predstavljaju bitan čimbenik pri odabiru odgovarajuće sorte namijenjene pojedinim metodama procesiranja (Watada i Kunkel, 1955; Amrein i sur., 2003).

S druge strane, skladištenjem se sadržaj fenola u krumpiru uglavnom povećava. Külen i sur. (2013) istraživali su utjecaj skladištenja pri niskim temperaturama na ukupne fenole i antioksidacijsku aktivnost krumpira te došli do zaključka da je udio fenolnih spojeva bio viši nakon 2 mjeseca skladištenja nego nakon berbe. Do sličnih zaključaka došli su i Madiwale i sur. (2011) koji su uočili povećanje koncentracije fenolnih spojeva u uzorcima krumpira nakon 30 dana skladištenja, nakon čega je došlo do blagog pada koncentracije da bi nakon 90 dana udio

fenola u uzorcima krumpira bio ili nepromijenjen u odnosu na vrijednosti prije skladištenja a u nekim uzorcima čak i značajno viši. Udio fenolnih spojeva za vrijeme skladištenja dodatno se može povisiti primjenom zračenja. Zračenje se primarno koristi kako bi se spriječilo klijanje krumpira, no u isto vrijeme predstavlja stres koji se nameće na gomolje što rezultira pojačanom sintezom antioksidacijskih tvari, između ostalih i fenolnih spojeva (Ramarmurthy i sur., 1992).

2.2. MINIMALNO PROCESIRANO VOĆE I POVRĆE

Minimalno procesiranje voća i povrća uključuje operacije poput pranja, guljenja, rezanja, pakiranja i skladištenja pri čemu se dobiva proizvod spreman za daljnju upotrebu, bilo da se radi o direktnoj konzumaciji ili brzom pripremi jela. Zbog ubrzanog načina života i potrebe za jednostavnim i brzim, ali u isto vrijeme i zdravim obrocima, potražnja za minimalno procesiranim voćem i povrćem iz godine u godinu sve više raste (Lehto i sur., 2011; Silva i sur., 2016). Sukladno konstantnom povećanju potražnje, nastoji se povećati i ponuda minimalno procesiranih proizvoda te su stoga brojna istraživanja usmjerena prema unapređenju procesa proizvodnje. Glavni problem koji se nastoji riješiti je produljenje izrazito kratkog roka trajnosti minimalno procesiranog voća i povrća.

2.2.1. Produljenje roka trajnosti

Oštećenja tkiva izazvana pojedinim operacijama pri minimalnom procesiranju (guljenje, rezanje) uzrokuju brojne fizičke i fiziološke promjene na proizvodu koje uzrokuju njegovu ubranu degradaciju te posljedično značajno smanjenje trajnosti (Brecht 1995; Saltveit 1997). Uklanjanje zaštitnog epidermalnog sloja i usitnjavanje sirovine tako mogu rezultirati:

- gubitkom vode
- omekšavanjem tkiva
- mikrobiološkom kontaminacijom
- pojačanim intenzitetom disanja (Soliva-Fortuny i Martin-Belloso, 2003; Limbo i Piergiovanni, 2007)

Iako su gubitak vode i omekšavanje tkiva zbog prirode procesiranja neizbježni, ostale negativne promjene na proizvodu mogu se pravilnim postupcima svesti na najmanju moguću mjeru čime se značajno doprinosi produljenju roka trajnosti minimalno procesiranog voća i povrća.

Zbog činjenice da je minimalno procesirano voće i povrće uglavnom namijenjeno konzumaciji bez prethodne termičke obrade, svijest o potencijalnoj mikrobiološkoj kontaminaciji izrazito je važna (Harris i sur., 2003; Berger i sur., 2010). Iz tog razloga u proizvodnji minimalno procesiranog voća i povrća neophodna je implementacija dobre poljoprivredne prakse (eng. Good Agricultural Practice, GAP), dobre proizvođačke prakse (eng. Good Manufacturing Practice, GMP) i HACCP sustava (Barth i sur., 2004). Uz spomenute mjere prevencije, dodatne mjere suzbijanja mikrobiološke kontaminacije, posebice kontaminacije patogenim mikroorganizimima uključuju pranje i dezinfekciju.

Pranje vodom neizostavan je način kontroliranja mikrobiološke slike proizvodnje prehrambenih proizvoda, no budući da sama voda može služiti kao izvor unakrsne kontaminacije, potrebna je redovita kontrola njene kvalitete. Za osiguranje niske mikrobiološke aktivnosti u vodi za pranje može se koristiti tretman ozoniranjem, pri čemu ozon djeluje kao jak oksidans koji inaktivira mikroorganizme (Seymour, 2003), a u isto vrijeme smanjuje intenzitet posmeđivanja tkiva minimalno procesiranog voća i povrća čime dodatno produljuje njegov rok trajanja (Calder i sur., 2011). Iako tretman ozonom pokazuje izvrsne rezultate, u upotrebi su češći kemijski dezinficijensi kao što su klor i spojevi klora, organske kiseline te vodikov peroksid (Tapia i sur., 2015).

Budući da pojačan intenzitet disanja minimalno procesiranog voća i povrća značajno ubrzava degradacijske promjene, jedan od načina produljenja roka trajnosti tih proizvoda je i pakiranje u modificiranoj atmosferi. Modificirana atmosfera temelji se na promjeni koncentracije plinova, najčešće smanjenjem koncentracije kisika i povećanjem koncentracije ugljikovog dioksida, u pakovini proizvoda čime se postiže smanjenje njegove metaboličke aktivnosti. Posljedično tome smanjuju se i intenzitet disanja i produkcija etilena, a dodatno se inhibira i mikrobiološki rast (Limbo i Piergiovanni, 2007). Atmosfera u pakovini može se modificirati pasivno (proizvod je pakiran u selektivno permeabilnu ambalažu koja propušta plinove na način

da se postigne željen omjer njihovih koncentracija) ili aktivno (evakuacijom zraka iz pakovine i upuhivanjem smjese plinova definiranog sastava) (Silva i sur., 2016). Modificirane atmosfere sa sadržajem ugljikova dioksida od 5 - 15 % i kisika od 2 - 8 % pokazale su se učinkovitima u održavanju kvalitete minimalno procesiranih proizvoda, no za svaki od pojedinačnih proizvoda može se odrediti točan sadržaj atmosfere koji maksimalno produžuje rok trajanja tog proizvoda (Cantwell, 1992).

2.2.2. Posmeđivanje

Diskoloracija tkiva uslijed enzimskog posmeđivanja glavni je faktor koji dovodi do smanjenja kvalitete minimalno procesiranog voća i povrća, pri čemu dolazi do promjene u senzorskim svojstvima proizvoda, ali i do narušavanja njegovog izgleda što potrošači navode kao glavni razlog zbog kojeg ne bi izabrali takav proizvod. Pored toga, degradacija uzrokovana enzimskim posmeđivanjem dodatno skraćuje rok trajanja proizvoda. Upravo iz tih razloga prevencija enzimskog posmeđivanja neophodan je korak pri proizvodnji minimalno procesiranog voća i povrća (Tomas-Barberan i Espin, 2001). Na slici 2 prikazan je primjer posmeđivanja kod minimalno procesiranog krumpira.



Slika 2. Posmeđivanje minimalno procesiranog krumpira (Wang i sur., 2015)

Uzrok koji dovodi do posmeđivanja primarno je aktivnost enzima polifenol oksidaze (PPO), a manje i drugih enzima, dok faktori koji utječu na brzinu i intenzitet posmeđivanja uključuju koncentraciju polifenola u proizvodu kao izvor supstrata za reakciju polifenol oksidaze, pH, prisutnost kisika i temperaturu (Saltveit, 1997). Stoga su načini smanjivanja intenziteta enzimskog posmeđivanja usmjereni prema manipulaciji navedenim faktorima.

Budući da je za aktivnost enzima polifenol oksidaze potrebna prisutnost iona bakra, ukoliko se oni uklone, može se spriječiti djelovanje enzima, a posljedično tome i odgoditi posmeđivanje (Du i sur., 2012). Stoga je jedno od rješenja korištenje kelirajućih agenasa. Kelirajućí agensi djeluju na način da vežu ione metala te ih tako čine nedostupnima, odnosno tada ne mogu služiti kao prostetske skupine enzima. Iako postoje mnogi kelirajućí agensi, mali broj je siguran za primjenu kao sastojka u hrani. Najčešće se u tu svrhu koristi limunska kiselina (Ioannou i Ghoul, 2013). Pored kelirajućeg djelovanja, limunska kiselina utječe i na promjenu pH proizvoda. Budući da je polifenol oksidaza osjetljiva na varijacije u pH vrijednosti, ukoliko se dodavanjem kiseline pH spusti ispod 3 doći će do njene inaktivacije. Primjerice, Calder i sur. (2011) navode da su u svom radu koristeći 1 %-tnu otopinu limunske kiseline za predtretiranje MPK postigli redukciju aktivnosti polifenol oksidaze te posljedično i značajno smanjenje posmeđivanja. Uz već spomenutu limunsku kiselinu u istu se svrhu koriste i askorbinska kiselina te glutation (Grimm i sur., 2012).

Prisutnost kisika ključna je za provođenje reakcije polifenol oksidaze, a posljedično i za posmeđivanje proizvoda izloženog kisiku. Stoga je jedan od načina njegovog sprječavanja pakiranje u vakuumu pri čemu se zrak potpuno evakuira iz pakovine, dok je drugi način korištenje modificirane atmosfere sa značajno sniženim udjelom kisika. Pakiranje u vakuumu pokazalo je izrazito dobre rezultate u smanjivanju posmeđivanja krumpira, no predstavlja potencijalan rizik od rasta anaerobnih mikroorganizama (Beltran i sur., 2005). S druge strane, pakiranje u atmosferi sa sniženim udjelom kisika značajno usporava posmeđivanje, ali i usporava disanje proizvoda čime se dodatno produljuje njegova trajnost (Wang i sur., 2011).

Temperatura je jedan od ključnih parametara ne samo kod posmeđivanja nego i za degradaciju kvalitete voća i povrća općenito. Povišena temperatura tako uzrokuje:

- ubrzavanje enzimskih reakcija
- pojačavanje intenziteta disanja
- povećanje produkcije etilena
- ubrzavanje mikrobiološkog rasta (Silva i sur., 2016).

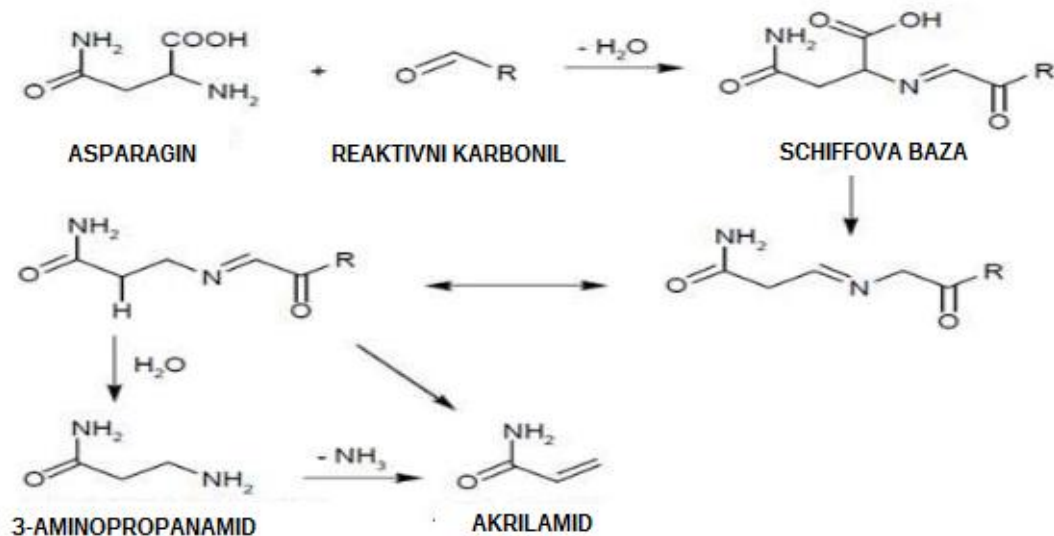
Iz navedenog se vidi da će se snižavanjem temperature ispod neke kritične točke u minimalno procesiranom proizvodu umanjiti učinak brojnih faktora koji značajno skraćuju trajnost tog proizvoda. Iako se optimalne temperature skladištenja pojedinih proizvoda razlikuju, generalno se nalaze u rasponu od 2-10 °C (Erturk i Picha, 2007; Oner i Walker, 2011).

2.3. AKRILAMID

Akrilamid (2-propenamid) je kontaminant u hrani koji nastaje tijekom procesiranja na visokim temperaturama, primjerice obradom kuhanjem ili prženjem. Prekursori uključeni u nastajanje akrilamida su reducirajući šećeri (najčešće glukoza) i slobodna aminokiselina asparagin. Hrana u kojoj je najčešće prisutan akrilamid uključuje:

- prženi krumpir
- kruh
- pekarske proizvode
- kavu
- žitarice za doručak (Mills i sur., 2009).

Primarni mehanizam nastajanja akrilamida podrazumijeva Maillardove reakcije, odnosno reakciju amino skupine asparagina s izvorom karbonila čime dolazi do tvorbe imina - Schiffove baze. Djelovanjem visoke temperature dolazi do njene dekarboksilacije nakon čega se odcjepljuje i amino skupina te nastaje akrilamid. Sekundarni mehanizam nastajanja akrilamida uključuje hidrolizu dekarboksilirane Schiffove baze pri čemu kao međuprodukt nastaje 3-aminopropanamid iz kojeg se djelovanjem topline eliminira amonijak čime nastaje akrilamid (Segebäck i sur., 1995). Strukturni prikaz mehanizama nastajanja akrilamida prikazan je na slici 3.



Slika 3. Mehanizmi nastajanja akrilamida (Anonymous 2, 2019)

Prilikom prekomjernog unosa akrilamida u organizam dolazi do ispoljavanja njegovih mutagenih svojstava te djeluje toksično na reproduktivni sustav, neurotoksično i kancerogeno kod eksperimentalnih životinja te se stoga klasificira kao vjerojatno kancerogen za ljude (Mills i sur., 2009). Mehanizam toksičnog djelovanja akrilamida temelji se na metaboliziranju u visoko reaktivni epoksid – glicidamid (Kadry i sur., 1999). Dobiveni metabolit zatim reagira s purinskim bazama DNA što dovodi do mutacija te posljedično do raznih oblika toksičnosti, ovisno o pogođenom sustavu (Hagmar i sur., 2001).

2.3.1. Akrilamid u proizvodima od krumpira

Krumpir je namirnica koja je izrazito podložna formaciji akrilamida. U značajnoj mjeri sadrži prekursore potrebne za njegovu sintezu - slobodni asparagin i reducirajuće šećere poput glukoze i fruktoze (Granda i sur., 2004), dok se najčešće konzumirani proizvodi od krumpira poput raznih vrsta prženog krumpira i čipsa toplinski obrađuju na izrazito visokim temperaturama što pogoduje sintezi akrilamida iz prisutnih prekursora (Pedreschi i sur., 2007).

Količina akrilamida koja nastaje tijekom procesiranja krumpira može varirati, a ovisi o točnom kemijskom sastavu sirovine i o uvjetima procesiranja. Sadržaj prekursora za akrilamid u krumpiru ovisit će o sorti krumpira, vremenu berbe, karakteristikama tla na kojem je uzgajan i uvjetima skladištenja nakon berbe poput temperature i trajanja (Kumar i sur., 2004; Low i sur., 2006). Uz to, niska vlaga u krumpiru pogoduje produkciji akrilamida (Matthaus i sur., 2004; Pedreschi i sur., 2005). Faktori procesa prženja koji imaju utjecaj na formaciju akrilamida uključuju:

- temperaturu
- vrijeme obrade
- kontaktnu površinu između krumpira i medija za prženje
- odnos količine krumpira i medija za prženja (Kaplan i sur., 2009).

Akrilamid ne nastaje pri temperaturama nižim od 120 °C (Notardonato i sur., 2013). Porastom temperature obrade namirnice iznad 120 °C količina nastalog akrilamida ubrzano raste. Najviše akrilamida nastaje pri temperaturi od 180 °C nakon čega se daljnjim povišenjem temperature količina nastalog akrilamida smanjuje (Tareke i sur., 2002). Pored temperature, na količinu akrilamida utječe i trajanje termičke obrade pri čemu dulje vrijeme obrade pogoduje nastajanju veće količine akrilamida. Zbog činjenice da se akrilamid formira na površini namirnice tijekom toplinskog tretmana, oblik i veličina krumpira direktno utječu na konačnu količinu nastalog akrilamida. Konkretno, što su komadi manji i tanji, veća je koncentracija akrilamida koji će se na njima formirati (Matthaus i sur., 2004).

2.3.2. Smanjenje količine akrilamida

Zbog brojnih negativnih utjecaja koje unošenje akrilamida u organizam može izazvati, još od otkrića njegove prisutnosti u hrani (Tareke i sur., 2000; 2002), nastoje se pronaći načini kako formaciju akrilamida u prehrambenim proizvodima, a naročito u proizvodima od krumpira koji se redovito konzumiraju u razmjerno velikim količinama, svesti na najmanju moguću mjeru.

Budući da koncentracija slobodnog asparagina u krumpiru značajno premašuje koncentraciju reducirajućih šećera, sadržaj šećera poput glukoze i fruktoze ograničavajući je faktor pri nastajanju akrilamida (Amrein i sur., 2003). Potaknuti tom idejom, znanstvenici su selektivnim križanjem počeli razvijati sorte krumpira koji će prirodno sadržavati izrazito niske razine šećera (Pedreschi i sur., 2007). Uz prirodno nisku koncentraciju reducirajućih šećera, potrebno je voditi računa i o sprječavanju razgradnje škroba do jednostavnih šećera te je stoga krumpir namijenjen prženju poželjno skladištiti pri temperaturama od 8-9 °C (Knowels i sur., 2009), dok je krumpir namijenjen preradi u čips najbolje skladištiti na temperaturi između 10 i 13 °C (Rowe i Curwen, 1993).

Drugi pristup redukcije formiranja akrilamida u krumpiru odnosi se na kontrolu koncentracije asparagina u sirovini. Jedan od načina snižavanja količine asparagina u krumpiru je tretman asparaginazom. Na taj način postiže se hidroliza asparagina do asparaginske kiseline i amonijaka bez promjena u senzorskim svojstvima konačnog proizvoda, čime se postiže smanjenje količine akrilamida nastalog u proizvodu zbog uklanjanja jednog od prekursora za njegovu sintezu (Parker i sur., 2012).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

U istraživanju su korišteni gomolji krumpira sorti Birgit i Lady Claire starosti 3 mjeseca koji su do procesiranja skladišteni u drvenim sanducima u kontroliranim uvjetima (8 °C, 100 % RV) bez prisutnosti svjetla. Istraživanje je uključivalo proizvodnju minimalno procesiranog krumpira, njegovo skladištenje, toplinski tretman te analizu sastava fenolnih spojeva i šećera.

Minimalno procesiranje provedeno je na način da su gomolji krumpira oprani vodovodnom vodom, oguljeni pomoću noža za guljenje, ponovno oprani vodovodnom vodom, ocijeđeni te narezani na ploške debljine 5 mm korištenjem kuhinjske rezalice. Narezane ploške krumpira zatim su podvrgnute dvjema vrstama tretmana s ciljem sprječavanja posmeđivanja te produženja trajnosti.

Prvi tretman uključivao je uranjanje ploški krumpira u prethodno pripremljenu 2 %-tnu otopinu natrijeva askorbata (omjer mase krumpira i 2 %-tne otopine natrijeva askorbata iznosio je 1:4) u trajanju od 3 minute. Nakon provedenog tretmana ploške krumpira su ocijeđene od ostatka otopine pomoću kuhinjskog cijedila. Drugi primijenjeni tretman podrazumijevao je tretman ozoniranom vodom. Proveden je na način da su narezane ploške krumpira uronjene u destiliranu vodu (omjer mase krumpira i destilirane vode iznosio je 1:4) u koju je potom uronjena sonda ozonatora. Tretman je proveden 5 minuta uz konstantno miješanje nakon čega su tretirane ploške krumpira ocijeđene kako bi se uklonio ostatak ozonirane vode.

Nakon svakog tretiranja izvagano je 200 g tretiranih ploški krumpira koje su potom pakirane u poliamid/polietilenske vrećice uz vakuumiranje. Pakovine su označene i skladištene kroz 8 dana pri temperaturi od 10 °C. Zapakiran minimalno procesirani krumpir prvog i osmog dana skladištenja prikazan je na slici 4. Tijekom skladištenja, 1., 5. i 8. dan iz svake od pakovina izuzimani su uzorci koji su zatim podvrgnuti toplinskom tretmanu.



Slika 4. Pakovine minimalno procesiranog krumpira 1. dan skladištenja (a) i 8. dan skladištenja (b) (Na-asc. = natrijev askorbat; Ozone = ozonirana voda)) (vlastita fotografija)

Toplinski tretman uzoraka sastojao se od kuhanja i prženja. Kuhanje je provedeno na način da je 150 g uzorka stavljeno u destiliranu vodu zagrijanu na temperaturu vrelišta (omjer mase uzorka i vode iznosio je 1:5) te kuhano 15 minuta. Kuhani uzorci su ocijeđeni i ostavljeni da se ohlade. Prženje je provedeno u fritezi pri čemu je 150 g uzorka prženo u 1,5 L suncokretovog ulja na temperaturi od 180 °C kroz 5 minuta. Prženi uzorci su ocijeđeni od ostatka ulja pomoću papirnatih ubrusa te ostavljeni da se ohlade.

Nakon provedenog toplinskog tretmana 3-5 ploški pripremljenih uzoraka kao i uzoraka sirovih krumpira izuzetih 1., 5. i 8. dan skladištenja smrznuti su pomoću tekućeg dušika i stavljeni u zamrzivač na temperaturu od -80 °C. Nakon 24 sata u zamrzivaču uzorci su liofilizirani u laboratorijskom liofilizatoru, zapakirani u polietilenske vrećice i pohranjeni u zamrzivač na -80 °C do analiza.

3.2. APARATURA I PRIBOR

- Kuhinjska rezalica (MCM62020, Bosch, Slovenija)
- Kuhinjska vaga (KS19berry, Beurer GmbH, Njemačka)
- Tehnička vaga (Libela Maxima, Slovenija)
- Ozonator (DiCho Fruit & Vegetable Cleaner TQ, Tianjin Tianhi, Kina)
- Uređaj za vakuumiranje (FoodSaver, Jarden Consumer Solutions, EU)
- Vrećice za vakuumiranje (VB28/300, Gorenje, Slovenija)
- Friteza (F21-RCS1, TEFAL, Francuska)
- Liofilizator (ALPHA 1-4 LSC Plus, Martin Christ Freeze Dryers, Njemačka)
- Analitička vaga (Sartorius, DGI d.o.o., Hrvatska)
- Miješalica za epruvete (ZX3 Advanced Vortex Mixer, Velp Scientifica, Italija)
- Vodena kupelj (IKA HB10 basic, IKA, SAD)
- Ultrazvučna kupelj (S40H, Elmasonic, Elma, Njemačka)
- Centrifuga (Z 206A, Hermile Labortechnik GMBH, Njemačka)
- Kolona za ekstrakciju na čvrstoj fazi (Isolute Multimode, IST, Ujedinjeno Kraljevstvo)
- Kolona za ekstrakciju na čvrstoj fazi (ENV+, IST, Ujedinjeno Kraljevstvo)
- Vakuum koncentrator (Eppendorf Concentrator Plus, Fisher Scientific, Engleska)
- HPLC uređaj (1290 Infinity, Agilent Technologies, SAD)
- Maseni spektrometar (G6430A Triple Quad LC/MS, Agilent Technologies, SAD)
- Porculanski tarionik s tučkom
- Plastične lađice za vaganje
- Staklene čaše
- Nož
- Plastične posude
- Cjedilo
- Lonac za kuhanje
- Odmjerne tikvice volumena 5 mL i 10 mL
- Tikvice za uparavanje
- Plastične kivete s poklopcem (falcon) volumena 10 mL i 50 mL
- Automatske mikropipete volumena 200 – 1000 μ L i 1000 – 5000 μ L

- Plastične šprice od 2 mL
- Filter papir
- Filteri za šprice s porama 0,45 µm
- Staklene bočice s hermetičkim zatvaranjem (eng. vial) volumena 1,5 mL

3.3. KEMIKALIJE

- 2 %-tna otopina natrijeva askorbata (Biovega d.o.o., Hrvatska)
Priprema: Odvaži se 20 g natrijeva askorbata i otopi u 1 L destilirane vode.
- Jestivo suncokretovo ulje (Zvijezda d.d., Hrvatska)
- Tekući dušik (Messer Croatia Plin d.o.o., Hrvatska)
- 80 %-tna otopina metanola (Honeywell Bendrick & Jackson, SAD)
Priprema: Odmjeri se 800 mL 100 %-tnog metanola, odmjeri se 200 mL destilirane vode te se pomiješaju.
- 80 %-tna otopina metanola s 1 % mravlje kiseline (GRAM-MOL d.o.o., Hrvatska)
Priprema: 80 %-tna otopina metanola pripremi se na prije opisani način, automatskom pipetom izuzme se 10 mL otopine te se doda 10 mL 100 %-tne mravlje kiseline.
- 80 %-tna otopina acetonitrila analitičke čistoće (Honeywell Bendrick & Jackson, SAD)
- 0,1 %-tna otopina mravlje kiseline analitičke čistoće (Honeywell Bendrick & Jackson, SAD)
- 0,1 %-tna otopina mravlje kiseline u acetonitrilu analitičke čistoće (Honeywell Bendrick & Jackson, SAD)
- 10 %-tna otopina metanola s 0,1 % mravlje kiseline analitičke čistoće (Honeywell Bendrick & Jackson, SAD)
- Standardi fenola: klorogenska kiselina, katehin i epikatehin (Sigma-Aldrich, SAD)
- Standardi šećera: glukoza, fruktoza, saharoza (Sigma-Aldrich, SAD)
- Standard akrilamida (Sigma-Aldrich, SAD)
- Destilirana voda
- Deionizirana voda

3.4. METODE

3.4.1. Ekstrakcija fenolnih spojeva

Kako bi se provela analiza fenolnih spojeva u uzorcima liofiliziranog krumpira, bilo je potrebno provesti njihovu ekstrakciju. Ekstrakcija fenola iz liofiliziranih uzoraka provedena je na način da je uzorak mehanički usitnjen u tarioniku, potom je odvagano $0,5 \pm 0,01$ g uzorka u plastične kivete s poklopcem volumena 10 mL. Nakon toga je u kivetu s usitnjenim uzorkom dodano 5 mL 80 %-tne otopine metanola s 1 % mravlje kiseline te je smjesa miješana na mješalici 1 minutu brzinom od 6000 o min^{-1} . Nakon miješanja kivete su stavljene u ultrazvučnu kupelj te je provedena ekstrakcija u trajanju 30 minuta pri $50 \text{ }^\circ\text{C}$ uz miješanje na mješalici svakih 10 minuta. Nakon ekstrakcije, 10 minuta se vrši centrifugiranje brzinom od 3000 o min^{-1} . Dobiveni supernatant se filtrira kroz filter papir u odmjernu tikvicu od 10 mL, a talog se još jednom vraća na ekstrakciju s 5 mL otapala navedenim postupkom. Dobiveni supernatant se spoji s prvim te se odmjerna tikvica dopuni do oznake otapalom. Dobiveni ekstrakt se pomoću plastične šprice filtrira kroz filter s porama veličine $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ u staklene bočice volumena 1,5 mL te se koristi za analizu fenola na LC/MS uređaju (Barba i sur., 2008).

3.4.2. Analiza fenolnih spojeva

Najzastupljeniji fenolni spojevi u krumpiru uključuju katehin, epikatehin i klorogensku kiselinu te je stoga cilj analize bio odrediti njihove koncentracije u uzorcima. Za analizu sadržaja fenola u ekstraktima uzoraka krumpira korištena je tekućinska kromatografija visoke učinkovitosti s dvostrukim masenim detektorom (HPLC-MS/MS). HPLC sustav sastojao se od visokotlačne binarne pumpe, automatskog injektora, odzračivača, termostata za kolonu i C18 kolone dok je kao detektor korišten trostruki kvadropol sa sučeljem za elektrosprej ionizaciju. Kao mobilna faza za tekućinsku kromatografiju korištene su 0,1 %-tna otopina mravlje kiseline u vodi (Otapalo A) i 0,1 %-tna otopina mravlje kiseline u acetonitrilu (Otapalo B) elucijskim gradijentom prikazanim u tablici 2. Protok mobilne faze iznosio je $0,3 \text{ mL min}^{-1}$ (Shakya i Navarre, 2006).

Tablica 2. Elucijski gradijent mobilne faze kod analize fenolnih spojeva tekućinskom kromatografijom

t (min)	Otapalo A (%)	Otapalo B (%)
0	95	5
10	65	35
11	20	80
12	95	5

Katehin i epikatehin analizirani su u pozitivnom, a klorogenska kiselina u negativnom ionskom modu MS/MS detektora pri slijedećim uvjetima:

- protok plina: 11 L min⁻¹
- temperatura: 300 °C
- nebulizer: 400 psi
- napon na kapilari: ± 4000 V

Kvantifikacija pojedinačnih fenolnih spojeva provedena je metodom vanjskog standarda. Standardi katehina, epikatehina i klorogenske kiseline otopljeni su u čistom metanolu. Iz dobivene otopine standarda početne koncentracije 100 mg L⁻¹ pripremljeno je 5 razrjeđenja koja su korištena za izradu baždarnih pravaca. Jednadžbe pravaca standarda fenola i koeficijenti determinacije prikazani su u tablici 3. Na osnovu baždarnih pravaca standarda izračunate su koncentracije pojedinih fenola u uzorcima te su dobivene vrijednosti preračunate iz mg L⁻¹ ekstrakta u mg 100 g⁻¹ liofiliziranog uzorka.

Tablica 3. Jednadžbe baždarnih pravaca i koeficijenti determinacije standarda katehina, epikatehina i klorogenske kiseline

Standard	Jednadžba pravca	Koeficijent determinacije, R²
Katehin	$y = 2935,3x$	0,9741
Epikatehin	$y = 2776,2x$	0,8869
Klorogenska kiselina	$y = 2056,2x$	0,9399

3.4.3. Ekstrakcija šećera

Kako bi se provela analiza šećera u liofiliziranim uzorcima krumpira, prethodno je potrebno provesti njihovu ekstrakciju. Ekstrakcija šećera iz uzoraka provedena je na način da je liofilizirani uzorak mehanički usitnjen u tarioniku, zatim je u plastične kivete od 10 mL odvagano $0,4 \pm 0,01$ g usitnjenog uzorka i dodano 4 mL 80 %-tne otopine metanola. Kiveta je zatvorena i miješana na miješalici na 6000 o min^{-1} jednu minutu. Ekstrakcija je provedena u vodenoj kupelji pri $60 \text{ }^\circ\text{C}$ kroz 60 minuta uz miješanje na miješalici svakih 10 minuta. Nakon ekstrakcije supernatant je odvojen od taloga centrifugiranjem na brzini od 6000 o min^{-1} tijekom 15 minuta. Dobiveni supernatant je filtriran pomoću filter papira i lijevka u odmjernu tikvicu od 5 mL te je tikvica nadopunjena 80 %-tnom otopinom metanolom do oznake, zatvorena i dobro promiješana. Dobiveni ekstrakt filtriran je pomoću plastične šprice kroz filter veličine pora od $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ u staklene bočice volumena 1,5 mL koje su potom korištene za analizu šećera na HPLC uređaju. (Bogdanov i Baumann, 1988)

3.4.4. Analiza šećera

U ekstraktima uzoraka liofiliziranih krumpira korištenjem tekućinske kromatografije visoke učinkovitosti s detektorom refrakcije svjetlosti (HPLC-RI) određivane su koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze. HPLC sustav sastojao se od visokotlačne binarne pumpe, automatskog injektora, odzračivača, termostata za kolonu i C18 kolone. Kao mobilna faza za provođenje tekućinske kromatografije korištena je 80 %-tna otopina acetonitrila u demineraliziranoj vodi (Bogdanov i Baumann, 1988). Analiza je provedena pri sljedećim uvjetima:

- volumen uzorka: $10 \text{ }\mu\text{L}$
- protok mobilne faze: $1,3 \text{ mL min}^{-1}$
- temperatura kolone: $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- temperatura detektora: $30 \text{ }^\circ\text{C}$

Identifikacija spojeva provedena je usporedbom retencijskih vremena spojeva u uzorcima i retencijskih vremena standarada istih spojeva pri istim uvjetima analize. Kvantifikacija spojeva provedena je metodom vanjskog standarda, odnosno izračunom koncentracije traženog spoja na osnovu omjera površina ispod pika tog spoja te površine i koncentracije standarda prema formuli:

$$W = \frac{A_1 \times V_1 \times m_1 \times 100}{A_2 \times V_2 \times m_0} \text{ (g } 100 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

pri čemu je:

A_1 = površina ispod pika analiziranog spoja u uzorku izražena kao jedinice površine

A_2 = površina ispod pika otopine standarda spoja izražena kao jedinice površine

V_1 = volumen uzorka (mL)

V_2 = volumen standarda (mL)

m_1 = masa standarda korištena za pripremu otopine standarda (g)

m_0 = masa uzorka (g)

3.4.5. Ekstrakcija akrilamida

Kako bi se provela analiza akrilamida u uzorcima prženog minimalno procesiranog krumpira, prethodno je provedena njegova ekstrakcija. Izvagano je $2,0 \pm 0,01$ g liofiliziranog uzorka u plastične kivete s poklopcem volumena 50 mL, dodano 40 mL deionizirane vode i 400 μL otopine internog standarda akrilamida koncentracije 1000 ng mL^{-1} . Smjesa je intenzivno protresena rukom 20 sekundi, zatim stavljena na miješalicu za kivete 15 sekundi te na miješalicu 60 minuta, nakon čega je 10 minuta hladena na $+4 \text{ }^\circ\text{C}$. Ohlađena smjesa centrifugirana je na 3600 o min^{-1} u trajanju od 20 minuta. Volumen od 10 mL supernatanta otpipetiran je u čistu kivetu. Supernatant je potom pročišćen ekstrakcijom na čvrstoj fazi na koloni Multimode (prethodno kondicioniranom s 3 mL metanola i 2 puta po 6 mL vode) protokom od 30 kapi po minuti. Dobiveni eluat propušten je kroz ENV+ kolonu prethodno kondicioniranu s 5 mL metanola i 5 mL vode. Kolona je zatim isprana s 4 mL vode. Nakon ispiranja na koloni zaostaje pročišćeni akrilamid koji je eluiran s 2 mL 60%-tne otopine metanola. Pročišćeni ekstrakt uparen je u

vakuum koncentratoru pri temperaturi od 30 °C do volumena od približno 500 µL i prebačen u tamnu staklenu bočicu s hermetičkim zatvaranjem. (Rosén i sur., 2007)

3.4.6. Analiza akrilamida

Za analizu sadržaja akrilamida u ekstraktima uzoraka prženog krumpira korištena je tekućinska kromatografija visoke učinkovitosti s dvostrukim masenim detektorom (HPLC-MS/MS) (Rosén i sur., 2007). HPLC sustav sastojao se od visokotlačne binarne pumpe, automatskog injektora, odzračivača, termostata za kolonu i Hypercarb kolone s Hypercarb predkolonom, dok je kao detektor korišten trostruki kvadropolni analizator sa sučeljem za elektrosprej ionizaciju. Kao mobilna faza korištena je 10 %-tna otopina metanola s 0,1 % mravlje kiseline. Protok mobilne faze iznosio je 0,7 mL min⁻¹, eluiranje je bilo izokratsko i trajalo je 5 minuta. Akrilamid je analiziran u pozitivnom ionskom modu MS/MS detektora pri sljedećim uvjetima:

- protok plina: 10 L min⁻¹
- temperatura: 350 °C
- nebulizer: 45 psi
- napon na kapilari: ± 2000 V

Kvantifikacija akrilamida provedena je metodom internog standarda, a dobiveni podaci obrađeni su programom Masshunter čime su dobivene vrijednosti koncentracija akrilamida u prženom krumpiru izražene kao µg 100 g⁻¹ liofiliziranog uzorka.

3.4.7. Statistička obrada rezultata

Za eksperimentalni dizajn pokusa i statističku obradu podataka korišten je programski sustav Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, SAD). Eksperimenti su dizajnirani kao puni faktorijalni dizajn. Nezavisne varijable bile su: sorta (Birgit, Lady Claire), predtretman (2 %-tna otopina natrijevog askorbata, ozonirana voda), termička obrada (sirovi, kuhani, prženi) i vrijeme

skladištenja (1., 5. i 8. dan). Kao zavisne varijable promatrane su: koncentracija katehina ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), epikatehina ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), klorogenske kiseline ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$), fruktoze ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), glukoze ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), saharoze ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) i akrilamida ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). Za usporedbu uzoraka korištena je multivarijantna analiza varijance (MANOVA), pri čemu je statistički značajna razlika razmatrana na razini $p \leq 0,05$ (95 % – tni interval pouzdanosti).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je proizvodnja minimalno procesiranog krumpira (MPK) uz dva različita predtretmana te praćenje sastava fenolnih spojeva i šećera tijekom 8 dana skladištenja, prije i nakon toplinske obrade. U sirovim, kuhanim i prženim uzorcima MPK izuzetima 1., 5. i 8. dana skladištenja HPLC analizom određen je udio fenolnih spojeva (klorogenska kiselina, epikatehin, katehin) i šećera (fruktoza, glukoza, saharoza), dok je u prženim uzorcima dodatno određen i udio akrilamida.

4.1. FENOLNI SPOJEVI

4.1.1. Utjecaj varijacije parametara

Tablica 4. Utjecaj sorte, predtretmana, termičkog tretmana i trajanja skladištenja na koncentracije klorogenske kiseline, epikatehina i katehina u MPK

Izvor varijacije	Klorogenska kiselina mg 100 g ⁻¹		Epikatehin mg 100 g ⁻¹		Katehin mg 100 g ⁻¹	
	F	p	F	p	F	p
Sorta	5067,1	≤0,01*	3590,1	≤0,01*	4,4 × 10 ⁸	≤0,01*
Predtretman	1568,6	≤0,01*	625,4	≤0,01*	1,3 × 10 ⁷	≤0,01*
Termički tretman	716331,0	≤0,01*	8233,2	≤0,01*	1,1 × 10 ⁸	≤0,01*
Skladištenje	995,5	≤0,01*	323,1	≤0,01*	1,0 × 10 ⁸	≤0,01*

F=F-vrijednost, p=p-vrijednost

*p≤0,05

U tablici 4 prikazan je utjecaj parametara variranih u istraživanju na koncentracije analiziranih fenolnih spojeva u MPK. Iz rezultata statističke analize vidljivo je da su sve korištene varijable (sorta, predtretman, termički tretman, skladištenje) imale statistički značajan utjecaj na koncentracije klorogenske kiseline, epikatehina i katehina u MPK budući da je za sve spojeve p-vrijednost iznosila p≤0,05.

4.1.2. Fenolni spojevi u sirovom MPK

Tablica 5. Koncentracije klorogenske kiseline, epikatehina i katehina tijekom skladištenja MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijeva askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Klorogenska kiselina (mg 100 g ⁻¹)	Epikatehin (mg 100 g ⁻¹)	Katehin (mg 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	17,132±0,001	0,325±0,001	0,152±0,000
		5	14,877±0,003	1,013±0,003	0,402±0,009
		8	19,816±0,003	1,059±0,001	0,467±0,006
	Na-askorbat	1	8,922±0,002	1,091±0,001	0,348±0,000
		5	7,899±0,002	0,635±0,002	0,214±0,000
		8	13,539±0,003	0,669±0,001	0,225±0,002
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	27,446±0,001	0,970±0,002	0,257±0,001
		5	31,447±0,001	0,621±0,001	0,186±0,001
		8	22,986±0,001	0,937±0,002	0,241±0,001
	Na-askorbat	1	32,032±0,002	0,723±0,001	0,280±0,001
		5	24,236±0,001	0,705±0,002	0,202±0,004
		8	15,183±0,001	0,856±0,001	0,238±0,001

U tablici 5 prikazane su koncentracije analiziranih fenolnih spojeva u sirovom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Koncentracije klorogenske kiseline bile su značajno više u uzorcima sirovog MPK sorte Lady Claire u usporedbi sa sortom Birgit, dok su koncentracije epikatehina i katehina bile više u uzorcima sorte Birgit. Zbog više koncentracije klorogenske kiseline, MPK sorte Lady Claire podložniji je posmeđivanju od sorte Birgit budući da klorogenska kiselina sudjeluje u reakcijama koje dovode do posmeđivanja. U usporedbi sa

sortama poput Safrane i Spunta čiji su kemijski sastav proučavali Cornacchia i sur. (2011) obje analizirane sorte imaju niži udio fenolnih spojeva. U uzorcima MPK sorte Birgit tretiranih otopinom natrijeva askorbata koncentracije svih analiziranih fenolnih spojeva bile su niže nego u slučaju tretmana ozoniranom vodom. Porast koncentracije fenolnih spojeva nakon tretmana ozonom uočili su i Alothman i sur. (2010) u minimalno procesiranom ananasu, dok je predtretman kalcijevim askorbatom uzrokovao smanjenje koncentracije fenolnih spojeva u minimalno procesiranim jabukama u istraživanju koje su proveli Aguayo i sur. (2010). U uzorcima sorte Birgit uočeno je da su koncentracije klorogenske kiseline varirale tijekom skladištenja, no primjećuje se porast na kraju skladištenja u odnosu na prvi dan, što je u skladu s rezultatima koje su dobili Wang i sur. (2015). Za razliku od sorte Birgit, u uzorcima sorte Lady Claire koncentracija klorogenske kiseline se smanjila tijekom skladištenja, posebice u uzorcima tretiranim natrijevim askorbatom, gdje se u odnosu na 1. dan skladištenja 8. dana može uočiti dvostruko manja koncentracija klorogenske kiseline.

4.1.3. Fenolni spojevi u kuhanom MPK

Tablica 6. Koncentracije klorogenske kiseline, epikatehina i katehina tijekom skladištenja u kuhanom MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Klorogenska kiselina (mg 100 g ⁻¹)	Epikatehin (mg 100 g ⁻¹)	Katehin (mg 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	9,229±0,001	0,287±0,002	0,159±0,000
		5	10,625±0,001	0,593±0,002	0,257±0,001
		8	9,114±0,001	0,628±0,002	0,297±0,001
	Na-askorbat	1	8,176±0,001	0,550±0,003	0,217±0,000
		5	5,929±0,003	0,234±0,002	0,166±0,001
		8	5,116±0,001	0,259±0,001	0,165±0,001
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	17,988±0,003	0,193±0,001	0,160±0,001
		5	10,222±0,002	0,277±0,001	0,160±0,002
		8	7,908±0,001	0,235±0,003	0,168±0,001
	Na-askorbat	1	25,814±0,0004	0,415±0,002	0,186±0,001
		5	10,379±0,001	0,237±0,002	0,161±0,001
		8	7,959±0,002	0,193±0,001	0,157±0,001

U tablici 6 prikazane su koncentracije analiziranih fenolnih spojeva u kuhanom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Na osnovu dobivenih vrijednosti vidljivo je da su koncentracije fenolnih spojeva u kuhanom MPK bile niže za 8 do 80 % u odnosu na sirove uzorke s prosječnim smanjenjem koncentracije od 42 % što je posljedica njihovog otapanja u vodi prilikom kuhanja. Do istog su zaključka došli Xu i sur. (2009) u čijem se radu udio fenolnih spojeva u krumpiru kuhanjem smanjio za 43 %, a kao razlog navode topljivost analiziranih

fenolnih spojeva u vodi. Nakon kuhanja, više koncentracije klorogenske kiseline određene su u MPK sorte Lady Claire, dok su u MPK sorte Birgit određene više koncentracije epikatehina i katehina., što je i razumljivo obzirom na početne koncentracije u sirovim uzorcima. U uzorcima MPK sorte Birgit tretiranim natrijevim askrobatom bilo je manje fenolnih spojeva kao što je to bio slučaj i kod sirovog MPK, dok je kod sorte Lady Claire manje fenolnih spojeva bilo u uzorcima prethodno tretiranim ozoniranom vodom što je u suprotnosti s rezultatima dobivenim kod sirovog MPK iste sorte. Produljenjem vremena skladištenja došlo je do degradacije klorogenske kiseline kod obje sorte te degradacije epikatehina i katehina kod uzoraka tretiranih otopinom natrijeva askorbata što je u skladu s trendom rezultata analize sirovog krumpira. Tudela i sur. (2002) u svojem radu navode suprotni trend, gdje su nakon kuhanja MPK sorte Monalisa koji je prethodno bio dulje skladišten zabilježili povećanje udjela fenolnih spojeva. S druge strane, u uzorcima prethodno tretiranim ozoniranom vodom, te kuhanim nakon skladištenja, duljim skladištenjem je došlo do porasta koncentracije epikatehina i katehina u kuhanom MPK, što je u skladu s rezultatima koje su u radu s MPK sorte Monalisa dobili Tudela i sur. (2002).

4.1.4. Fenolni spojevi u prženom MPK

Tablica 7. Koncentracije klorogenske kiseline, epikatehina i katehina tijekom skladištenja u prženom MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Klorogenska kiselina (mg 100 g ⁻¹)	Epikatehin (mg 100 g ⁻¹)	Katehin (mg 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	10,709±0,001	0,802±0,002	0,164±0,000
		5	6,276±0,001	1,046±0,002	0,188±0,000
		8	7,692±0,002	1,059±0,001	0,221±0,001
	Na-askorbat	1	9,852±0,002	0,970±0,002	0,206±0,000
		5	9,769±0,001	0,961±0,001	0,204±0,001
		8	6,536±0,002	0,720±0,001	0,188±0,002
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	26,694±0,003	1,233±0,002	0,237±0,001
		5	19,470±0,001	1,020±0,002	0,179±0,002
		8	17,922±0,001	1,101±0,001	0,176±0,001
	Na-askorbat	1	23,772±0,003	1,306±0,008	0,240±0,001
		5	11,307±0,002	1,289±0,002	0,227±0,001
		8	9,646±0,002	1,228±0,002	0,201±0,004

U tablici 7 prikazane su koncentracije analiziranih fenolnih spojeva u prženom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Prženje je izrazito nepovoljno djelovalo na sadržaj klorogenske kiseline i katehina budući da su njihove koncentracije u prženim uzorcima bile znatno niže od koncentracija u sirovim uzorcima. Slična zapažanja navode Kita i sur. (2013), koji su zamijetili niže koncentracije antocijana u krumpiru nakon prženja. S druge strane, koncentracije epikatehina u MPK porasle su nakon termičke obrade prženjem za prosječno 43 % što je u skladu s rezultatima Blessingtona i sur. (2010), koji su nakon prženja uočili povećanje

koncentracije epikatehina za 46 %. Uzorci MPK sorte Lady Claire su i nakon prženja zadržali višu koncentraciju klorogenske kiseline i katehina u odnosu na sortu Birgit. Predtretman ozoniranom vodom pokazao se učinkovitiji za očuvanje klorogenske kiseline kod obje sorte i epikatehina kod sorte Birgit, dok se epikatehin više očuvao u uzorcima sorte Lady Claire tretiranim natrijevim askorbatom, ali i katehin u uzorcima obje sorte. Dulje skladištenje dodatno je utjecalo na degradaciju klorogenske kiseline što ima pozitivan utjecaj na proizvod budući da klorogenska kiselina sudjeluje u reakcijama posmeđivanja, a njen manji sadržaj dovodi do manjeg intenziteta posmeđivanja što je poželjna karakteristika MPK. Koncentracije epikatehina i katehina, tijekom skladištenja ostale su približno jednake.

4.2. ŠEĆERI

4.2.1. Utjecaj varijacije parametara

Tablica 8. Utjecaj sorte, predtretmana, termičkog tretmana i trajanja skladištenja na koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze u MPK

Izvor varijacije	Fruktoza g 100 g ⁻¹		Glukoza g 100 g ⁻¹		Saharoza g 100 g ⁻¹	
	F	p	F	p	F	p
Sorta	483,2	≤0,01*	944,6	≤0,01*	4795,3	≤0,01*
Predtretman	32,7	≤0,01*	87,6	≤0,01*	73,8	≤0,01*
Termički tretman	19,3	≤0,01*	260,8	≤0,01*	665,9	≤0,01*
Skladištenje	53,2	≤0,01*	1,0	0,38	223,3	≤0,01*

F=F-vrijednost, p=p-vrijednost

*p≤0,05

U tablici 8 prikazan je utjecaj parametara variranih u istraživanju na koncentracije analiziranih šećera u MPK. Iz rezultata statističke analize vidljivo je da su sve korištene varijable (sorta, predtretman, termički tretman, skladištenje) imale statistički značaj utjecaj na koncentracije šećera u MPK budući da je za sve spojeve p-vrijednost iznosila p≤0,05, uz iznimku utjecaja trajanja skladištenja na koncentraciju glukoze koje nije imalo statistički značajan utjecaj (p>0,05).

4.2.2. Šećeri u sirovom MPK

Tablica 9. Koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze tijekom skladištenja sirovog MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Fruktoza (g 100 g ⁻¹)	Glukoza (g 100 g ⁻¹)	Saharoza (g 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	0,129±0,022	0,251±0,014	0,517±0,009
		5	0,196±0,007	0,192±0,010	0,763±0,031
		8	0,163±0,004	0,272±0,003	0,927±0,008
	Na-askorbat	1	0,175±0,013	0,125±0,001	0,287±0,008
		5	0,161±0,012	0,229±0,019	0,649±0,014
		8	0,127±0,020	0,223±0,015	1,056±0,038
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	0,053±0,005	0,075±0,010	0,238±0,002
		5	0,101±0,012	0,144±0,005	0,358±0,016
		8	0,084±0,002	0,133±0,015	0,346±0,017
	Na-askorbat	1	0,061±0,011	0,090±0,013	0,281±0,003
		5	0,049±0,003	0,127±0,021	0,289±0,003
		8	0,105±0,004	0,158±0,005	0,248±0,017

U tablici 9 prikazane su koncentracije analiziranih šećera u sirovom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Koncentracije svih analiziranih šećera bile su više u uzorcima MPK sorte Birgit u usporedbi s uzorcima sorte Lady Claire što se može pripisati sortnim karakteristikama, koje su razlog namjeni pojedinih sorata. Naime, sorta Birgit je konzumna sorta kojoj viši udio šećera predstavlja prednost, dok je Lady Claire industrijska sorta namijenjena prvenstveno za preradu. Budući da prerada najčešće uključuje obradu pri visokim

temperaturama, niži udio šećera u krumpiru sorte Lady Claire poželjan je kako prilikom obrade ne bi došlo do formiranja izrazito visokih koncentracija nepoželjnog akrilamida. U usporedbi s drugim sortama, prosječni sadržaj reducirajućih šećera kod sorte Birgit (0,33 g 100 g⁻¹) sličan je sadržaju kod sorata Adria (0,32 g 100 g⁻¹) i Marabel (0,38 g 100 g⁻¹) te značajno niži od sorata poput Victoria (1,08 g 100 g⁻¹) i Viola (1,26 g 100 g⁻¹) (Mareček i sur., 2013). Sorte s nižim udjelom reducirajućih šećera poput Lady Claire (0,18 g 100 g⁻¹) su primjerice Markies (0,21 g 100 g⁻¹) i Ramos (0,20 g 100 g⁻¹) (Mareček i sur., 2013). U uzorcima MPK tretiranih ozoniranom vodom određene su više koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze nego u uzorcima tretiranih natrijevim askorbatom. Zanimljivo je da Zhang i sur. (2005) nisu zamijetili promjene u sastavu šećera u minimalno procesiranom celeru tretiranom ozoniranom vodom. Dulje skladištenje kod svih uzoraka uzrokovalo je povećanje koncentracije šećera, što potvrđuju i Knowles i sur. (2009), iako je to povećanje u vrijednostima koncentracije šećera vrlo nisko.

4.2.3. Šećeri u kuhanom MPK

Tablica 10. Koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze tijekom skladištenja u kuhanom MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Fruktoza (g 100 g ⁻¹)	Glukoza (g 100 g ⁻¹)	Saharoza (g 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	0,085±0,015	0,093±0,003	0,428±0,008
		5	0,156±0,001	0,204±0,016	0,792±0,043
		8	0,125±0,025	0,148±0,020	0,338±0,002
	Na-askorbat	1	0,149±0,021	0,185±0,015	0,297±0,010
		5	0,087±0,007	0,103±0,006	0,315±0,004
		8	0,060±0,009	0,080±0,003	0,338±0,042
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	0,223±0,012	0,142±0,009	0,134±0,012
		5	0,048±0,001	0,073±0,022	0,085±0,004
		8	0,030±0,016	0,042±0,009	0,075±0,028
	Na-askorbat	1	0,041±0,003	0,067±0,004	0,587±0,012
		5	0,059±0,004	0,074±0,004	0,067±0,056
		8	0,046±0,000	0,054±0,001	0,094±0,000

U tablici 10 prikazane su koncentracije analiziranih šećera u kuhanom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Uspoređujući vrijednosti koncentracija šećera u krumpiru prije i nakon toplinskog tretmana kuhanjem, može se zaključiti da se kuhanjem gubi određena količina šećera, prije svega zbog otapanja u vodi za kuhanje. Do istih su rezultata došli i Ikanone i Oyekan (2014) proučavajući kemijski sastav krumpira prije i nakon kuhanja. Obzirom da je udio šećera u sirovom MPK sorte Birgit bio viši nego u uzorcima sorte Lady Claire, nakon termičke obrade kuhanjem u uzorcima sorte Birgit određene su više koncentracije analiziranih

šećera. Kod uzoraka prethodno tretiranih ozoniranom vodom nakon kuhanja je zamijećena viša koncentracija fruktoze, glukoze i saharoze u odnosu na uzorke tretirane natrijevim askorbatom što je bio slučaj i kod sirovog MPK. Iako su kod sirovog MPK koncentracije šećera duljim skladištenjem rastle, nakon kuhanja koncentracije su bile niže što je skladištenje bilo dulje. To ukazuje na činjenicu da količina šećera izgubljena prilikom kuhanja nadmašuje količinu šećera koji nastaje zaslađivanjem za vrijeme skladištenja.

4.2.4. Šećeri u prženom MPK

Tablica 11. Koncentracije fruktoze, glukoze i saharoze tijekom skladištenja u prženom MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Fruktoza (g 100 g ⁻¹)	Glukoza (g 100 g ⁻¹)	Saharoza (g 100 g ⁻¹)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	0,273±0,015	0,299±0,004	0,494±0,009
		5	0,092±0,002	0,217±0,005	0,640±0,010
		8	0,145±0,013	0,202±0,012	0,680±0,001
	Na-askorbat	1	0,117±0,018	0,184±0,009	0,432±0,024
		5	0,172±0,013	0,218±0,011	0,519±0,003
		8	0,144±0,009	0,224±0,018	0,986±0,010
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	0,135±0,002	0,160±0,002	0,294±0,030
		5	0,050±0,006	0,141±0,011	0,273±0,026
		8	0,069±0,010	0,134±0,018	0,480±0,007
	Na-askorbat	1	0,074±0,005	0,096±0,013	0,276±0,011
		5	0,076±0,004	0,100±0,009	0,234±0,021
		8	0,074±0,009	0,123±0,002	0,173±0,005

U tablici 11 prikazane su koncentracije analiziranih šećera u prženom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Prženjem MPK nije došlo do ujednačenih promjena u koncentracijama šećera u odnosu na sirovi MPK. Povećanje koncentracija šećera nakon prženja najčešće je uočeno kod uzoraka MPK izuzetih 1. dan skladištenja, dok je do smanjenja uglavnom došlo u uzorcima izuzetim 8. dan. Nakon prženja koncentracije svih analiziranih šećera bile su više u uzorcima MPK sorte Birgit nego što je to bio slučaj sa koncentracijama u MPK sorte Lady Claire. Uzorci prženog MPK sorte Birgit tretirani otopinom natrijeva askorbata sadržavali su manje fruktoze i saharoze nego uzorci tretirani ozoniranom vodom što je trend koji je zamijećen i kod sirovog MPK, dok je kod uzoraka prženog MPK sorte Lady Claire primijećen suprotan trend za glukozu i saharozu. Duljim skladištenjem dolazi do degradacije šećera u prženom MPK što je u suprotnosti sa sirovim MPK, no u skladu s rezultatima nakon termičke obrade kuhanjem. Iznimka su uzorci MPK sorte Lady Claire tretirani otopinom natrijeva askorbata kod kojih nije došlo do promjene koncentracije fruktoze tijekom skladištenja.

4.3. AKRILAMID

4.3.1. Utjecaj varijacije parametara

Tablica 12. Utjecaj sorte, predtretmana i trajanja skladištenja na koncentracije akrilamida u prženom MPK

Izvor varijacije	Akrilamid $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$	
	F	p
Sorta	1524,3	$\leq 0,01^*$
Predtretman	160,1	$\leq 0,01^*$
Skladištenje	31,3	$\leq 0,01^*$

F=F-vrijednost, p=p-vrijednost

* $p \leq 0,05$

U tablici 12 prikazan je utjecaj parametara variranih u istraživanju na koncentracije akrilamida u prženom MPK. Iz rezultata statističke analize vidljivo je da su sve korištene varijable (sorta, predtretman i skladištenje) imale statistički značajan utjecaj na koncentracije akrilamida u MPK budući da je za svaku varijablu p-vrijednost iznosila $p \leq 0,05$.

4.3.2. Akrilamid u prženom MPK

Tablica 13. Koncentracije akrilamida tijekom skladištenja u prženom MPK dviju sorti tretiranog otopinom natrijevog askorbata i ozoniranom vodom

Sorta	Predtretman	Dani skladištenja	Akrilamid ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)
Birgit	ozonirana H ₂ O	1	127,426±5,844
		5	34,898±2,404
		8	71,056±2,420
	Na-askorbat	1	92,580±5,446
		5	155,413±5,918
		8	66,194±7,429
Lady Claire	ozonirana H ₂ O	1	15,640±4,894
		5	4,936±0,895
		8	5,740±1,778
	Na-askorbat	1	16,957±9,909
		5	19,804±0,232
		8	46,433±1,614

U tablici 13 prikazane su koncentracije akrilamida u prženom MPK prema sorti, predtretmanu i trajanju skladištenja. Prženi MPK sorte Birgit prosječno je sadržavao 5 puta veću koncentraciju akrilamida od prženog MPK sorte Lady Claire, što je očekivano budući da je u prethodnim analizama utvrđeno da krumpir sorte Birgit sadrži značajno višu koncentraciju šećera koji kao jedni od prekursora utječu na formiranje akrilamida tijekom procesa prženja. Unatoč tome, koncentracija akrilamida u svim uzorcima bila je daleko niža od $190 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ koliko su u prženom krumpiru odredili Abboudi i sur. (2015). U MPK podvrgnutom predtretmanu ozoniranom vodom uočene su niže koncentracije akrilamida u odnosu na MPK prethodno tretiran otopinom natrijeva askorbata. S druge strane, Aiswarya i Baskar (2018) za smanjenje količine akrilamida u prženom krumpiru koristili su predtretman asparaginazama pri čemu je u istim

uvjetima prženja postignuta minimalna koncentracija akrilamida od $130 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ što je značajno više od većine koncentracija izmjerenih u ovom radu. Različito trajanje skladištenja MPK utjecalo je na varijacije u sadržaju akrilamida nakon prženja, pri čemu su koncentracije akrilamida 8. dan skladištenja bile niže za 29 – 63 % u odnosu na 1. dan uz iznimku MPK sorte Lady Claire tretiranog otopinom natrijeva askorbata u kojem je došlo do povećanja koncentracije akrilamida od 174 % u odnosu na 1. dan skladištenja.

5. ZAKLJUČCI

1. Sorta krumpira, korišteni predtretman, trajanje skladištenja te termička obrada imaju značajan utjecaj na kemijski sastav minimalno procesiranog krumpira (MPK).
2. U MPK obje sorte od fenolnih spojeva u najvećem udjelu identificirana je klorogenska kiselina, znatno manje epikatehina te katehina, a od šećera u najvećem udjelu identificirana je saharoza te glukoza pa fruktoza.
3. Uspoređujući sorte, MPK sorte Lady Claire sadrži više klorogenske kiseline (15,2 - 32,1 mg 100 g⁻¹) od sorte Birgit (7,9 - 19,8 mg 100 g⁻¹), dok sorta Birgit sadrži u prosjeku nešto više katehina (0,30 mg 100 g⁻¹) i epikatehina (0,80 mg 100 g⁻¹) od sorte Lady Claire (0,23 mg 100 g⁻¹ katehina i 0,75 mg 100 g⁻¹ epikatehina). Također, sorta Birgit u prosjeku sadrži više saharoze (0,70 g 100 g⁻¹), glukoze (0,215 g 100 g⁻¹) te fruktoze (0,125 g 100 g⁻¹) od sorte Lady Claire (sahoroze 0,293 g 100 g⁻¹, glukoze 0,121 g 100 g⁻¹, fruktoze 0,076 g 100 g⁻¹), ali općenito to su vrlo niski udjeli šećera.
4. MPK obje sorte tretirani ozoniranom vodom u prosjeku sadrže nešto više koncentracije identificiranih fenolnih spojeva i ukupnih šećera od MPK tretiranih natrijevim askorbatom.
5. Dulje skladištenje MPK sorte Lady Claire dovodi do degradacije većine fenolnih spojeva, dok je u sorti Birgit uočen suprotan trend. Također, u obje sorte MPK dolazi do povećanja koncentracije šećera.
6. Termička obrada kuhanjem MPK obje sorte dovodi do smanjenja koncentracije fenolnih spojeva osim katehina i epikatehina u uzorcima tretiranim ozoniranom vodom. Kuhanjem se smanjuje i koncentracija svih šećera u uzorcima sorte Lady Claire neovisno o tretmanu, dok je u uzorcima sorte Birgit tretiranim ozoniranom vodom uočeno povećanje, a u uzorcima tretiranim natrijevim askorbatom smanjenje ukupnih šećera.
7. Termička obrada prženjem MPK obje sorte dovodi do smanjenja koncentracije fenolnih spojeva osim katehina i epikatehina u uzorcima sorte Birgit tretiranim ozoniranom vodom. Prženje ne utječe uniformno na promjene koncentracije pojedinih i ukupnih šećera, ali općenito se može primijetiti znatniji porast koncentracije saharoze u uzorcima sorte Birgit neovisno o tretmanu, te u uzorcima sorte Lady Claire tretiranim ozoniranom vodom.

8. U prženom MPK sorte Lady Claire određeno je do 5 puta manje akrilamida u usporedbi s uzorcima sorte Birgit, iako su sve vrijednosti vrlo niske i unutar preporučenih vrijednosti. Nadalje, u prosjeku je određena manja koncentracija akrilamida u uzorcima tretiranim ozoniranom vodom obje sorte u odnosu na one tretirane natrijevim askorbatom, a najmanje vrijednosti određene su osmog dana skladištenja.
9. Iako su ovim istraživanjem određene niže koncentracije šećera i akrilamida u uzorcima sorte Lady Claire, ipak se temeljem svih rezultata može zaključiti da su obje sorte pogodne za proizvodnju MPK neovisno o primijenjenim predtretmanima i da je tako pripremljen MPK u ispitivanom vremenu skladištenja prikladan za kuhanje i prženje.

6. LITERATURA

Abboudi, M., Al-Bachir, M., Koupsi, Y., Jouhara, H. (2015) Combined effects of gamma irradiation and blanching process on acrylamide content in fried potato strips. *Int. J. Food Prop.* **19**, 1447-1454.

Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R., Woolf, A. (2010) Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biol. Tec.* **57(1)**, 52–60.

Aiswarya, R., Baskar, G. (2018) Enzymatic mitigation of acrylamide in fried potato chips using asparaginase from *Aspergillus terreus*. *Int. J. Food Sci. Tech.* **52(2)**, 491-498.

Allothman, M., Kaur, B., Fazilah, A., Bhat, R., Karim, A. A. (2010) Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innov. Food Sci. Emerg.* **11(4)**, 666–671.

Amrein, T. M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Barbosa, M. F., Biedermann-Brem, S., Grob, K., Keiser, A., Realini, P., Escher, F., Amodo, R. (2003) Potential of acrylamide formation, sugar, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 5556–5560.

Anonymous 1 (2019) Potatoes and onions long-term storage, <<http://www.celtic.nl/user/uploads/images/potatoes-onions.png>>. Pristupljeno 4. svibnja 2019.

Anonymous 2 (2019) Acrylamide formation mechanism <<https://image.slidesharecdn.com/a-160412152548/95/detection-of-acrylamide-effect-of-pretreatments-on-acrylamide-concentration-in-potato-chips-5-638.jpg?cb=1460474795>>. Pristupljeno 4. svibnja 2019.

Barba, A. A., Calabretti, A., d'Amore, M., Piccinelli, A. L., Rastrelli, L. (2008) Phenolic constituents levels in cv. Agria potato under microwave processing. *Food Sci. Tech.* **41**, 1919-1926.

Barth, M. M., Zhuang, H., Saltveit, M. E. (2004) Fresh-cut vegetables. USDA Agriculture Handbook, Washington.

Beltran, D., Selma, M. V., Tudela, J. A., Gil, M. I. (2005) Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biol. Tec.* **37**, 37-46.

Berger, C. N., Sodha, S.V., Shaw, R. K., Griffin, P. M., Pink, D., Hand, P., Frankel, G. (2010) Fresh fruit and vegetables as vehicles for the transmission of human pathogens. *Environ. Microbiol.* **12**, 2385–2397.

Bertoft, E., Blennow, A. (2009). Structure of Potato Starch. U: Advances in Potato Chemistry and Technology (Singh, J, Kaur, L., ured.), Academic Press, San Diego, str. 83-98.

Blessington, T., Nzaramba, M. N., Scheuring, D. C., Hale, A. L., Reddivari, L., Miller, J. C. (2010) Cooking methods and storage treatments of potato: Effects on carotenoids, antioxidant activity, and phenolics. *Am. J. Potato Res.* **87(6)**, 479–491.

Bogdanov, S., Baumann, S. E. (1998) Bestimmung von Honigzucker mit HPLC. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **79**, 198-206.

Bradshaw, J. E., Ramsay, G. (2009) Potato origin and production. U: Advances in potato chemistry and technology (Singh, J., Kaur, L., ured.), Academic Press, San Diego, str. 1-26.

Brecht, J. K. (1995) Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *Hort. Sci.* **30**, 18-21.

Burton, W. G. (1989) The distribution and composition of the dry matter in the potato tuber. *The Potato* **3**, 286-335.

Calder, B. L., Skonberg, D. I., Davis-Dentici, K., Hughes, B. H., Bolton, J. C. (2011) The effectiveness of ozone and acidulant treatments in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes. *J. Food Sci.* **76**, 492-298.

Cantwell, M. (1992) Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables. U: Postharvest Technology of Horticultural Crops, 2. izd., (Kader, A. A., ured.), University of California, Berkeley, str. 273–281.

Cornacchia, R., Cabezas-Serrano, A. B., Amodio, M. L., Colelli, G. (2011) Suitability of 4 potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut product. *Am. J. Potato. Res.* **88**, 403-412.

Crozier, A., Jaganath, I., Clifford, M. N. (2009) Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *R. Soc. Chem.* **26**, 1001-1043.

Čolaković, K. (2007) Skladištenje i čuvanje krumpira. *Glasnik zaštite bilja* **3**, 1-9.

Del Mar Verde Méndez, C., Rodríguez Delgado, M. Á., Rodríguez Rodríguez, E. M., Díaz Romero, C. (2004) Content of free phenolic compounds in cultivars of potatoes harvested in Tenerife. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 1323-1327.

Deußer, H., Guignard, C., Hoffmann, L., Evers, D. (2012) Polyphenol and glycoalkaloid contents in potato cultivars grown in Luxembourg. *Food Chem.* **135**, 2814–2824.

Du, Y. J., Dou, S. Q., Wu, S. J. (2012) Efficiency of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice. *Food Chem.* **135**(2), 580-582.

Ek, K. L., Brand-Miller, J., Copeland, L. (2012) Glycemic effect of potatoes. *Food Chem.* **133**, 1230-1240.

Erturk, E., Picha, D. H. (2007) Effect of temperature and packaging film on nutritional quality of fresh-cut sweet potatoes. *J. Food Quality* **30**, 450-465.

FAOSTAT (2017) Potato production in 2017, Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database, Rim, <www.fao.org/faostat>, Pristupljeno 21. ožujka 2019.

Friedman, M. (2006) Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet. *J. Agric. Food Chem.* **54(23)**, 8655-8681.

Furrer, A. N., Chegeni, M., Ferruzzi, M. G. (2018) Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals and human health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **58(1)**, 148-168.

Granda, C., Moreira, R. G., Tichy, S. E. (2004) Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *J. Food Sci.* **69**, 405-411.

Grimm, E., Khanal, B. P., Winkler, A., Knoche, M., Koepcke, D. (2012) Structural and physiological changes associated with the skin spot disorder in apple. *Postharvest Biol. Tech.* **64(1)**, 111-118.

Hagmar, L., Törnqvist, M., Nordander, C., Rosén, I., Bruze, M., Kautiainen, A., Magnusson, A., Malmberg, B., Aprea, P., Granath, F., Axmon, A. (2001) Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. *Scand. J. Work Env. Hea.* **4**, 219-226.

Harris, L., Farber, J., Beuchat, L., Parish, M., Suslow, T., Garrett, E., Busta, F. (2003) Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *Compr. Rev. Food Sci. F.* **2**, 78-141.

Hoover, R. (2001) Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.* **45(3)**, 253-267.

Ikanone, C. E. O., Oyekan, P. O. (2014) Effect of boiling and frying on the total carbohydrate, vitamin C and mineral content of Irish (*Solanum tuberosum*) and sweet (*Ipomea batatus*) potato tubers. *Nigerian Food J.* **32(2)**, 33-39.

Ioannou, I., Ghoul, M. (2013) Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *Eur. Sci. J.* **9**, 310-341.

Kadry, A. M., Friedman, M. A., Abdel-Rahman, M. S. (1999) Pharmacokinetics of acrylamide after oral administration in male rats. *Environ. Toxicol. Phar.*, **7(2)**, 127-133.

Kanatt, S., Chander, R., Radhakrishna, P., Sharma, A. (2005) Potato peel extract. A natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in radiation processed lamb meat. *J. Agric. Food Chem.* **53**, 1499–1504.

Kaplan, O., Kaya, G., Ozcan, C., Ince, M., Yaman, M. (2009) Acrylamide concentrations in grilled foodstuffs of Turkish kitchen by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Microchem. J.* **93**, 173-179.

Kärenlampi, S. O., White, P. J. (2009) Potato proteins, lipids, and minerals. U: Advances in Potato Chemistry and Technology (Singh, J., Kaur, L., ured.), Academic Press, San Diego, str. 99-125.

Kita, A., Bakowska-Barczak, A., Hamouz, K., Kulakowska, K., Lisinska, G. (2013) The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chem.* **32**, 169-175.

Knowles, N. R., Driskill, E. P, Knowles, E. O. (2009) Sweetening responses of potato tubers of different maturity to conventional and non-conventional storage temperature regimes. *Postharvest Biol. Tec.* **52**, 49–61.

Kolasa, K. M. (1993) The potato and human nutrition. *Am. Potato J.* **70**, 375-384.

Külen, O., Stushnoff, C., Holm, D. (2014) Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. *J. Sci. Food Agric.* **93**, 2437–2444.

Kumar, D., Singh, B. P., Kumar, P. (2004) An overview of the factors affecting sugar contents of potatoes. *Ann. Appl. Biol.* **145**, 247-256.

Lehto, M., Kuisma, R., Määttä, J., Kymäläinen, H. R., Mäki, M. (2011) Hygienic level and surface contamination in fresh-cut vegetable production plants. *Food Control* **22**, 469–475.

Lešić, R., Borošić, J., Buturac, I., Herak-Ćustić, M., Poljak, M., Romić, D. (2004) Povrčarstvo. Zrinski d.d., Čakovec.

Lewis, C. E., Walker, J. R. L., Lancaster, J. E., Sutton, K. H. (1998) Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. *J. Sci. Food Agric.* **77**, 45-57.

Limbo, S., Piergiovanni, L. (2007) Minimally processed potatoes Part 2. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acid on loss of some quality traits. *Postharvest Biol. Tec.* **43**, 221-229.

Leo, L., Leone, A., Longo, C., Lombardi, D., Raimo, F., Zacheo, G. (2008) Antioxidant compounds and antioxidant activity in “early potatoes”. *J. Agric. Food Chem.* **56**, 4154–4163.

Low, M. Y., Koutsidis, G., Parker, J. K. (2006) Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavour in a potato model system. *J. Agric. Food Chem.* **54**, 5976-5983.

Mäder, J., Rawel, H., Kroh, L. (2009) Composition of phenolic compounds and glycoalkaloids, solanine and chaconine during commercial potato processing. *J. Agric. Food Chem.* **57**, 6292–6297.

Madiwale, G., Reddivari, L., Holm, D., Vanamala, J. (2011) Storage elevates phenolic content and antioxidant activity but suppresses antiproliferative and pro-apoptotic properties of colored-flesh potatoes against human colon cancer cell lines. *J. Agric. Food Chem.* **59**, 8155–8166.

Mahgoub, H., Eisa, G., Youssef, M. (2015) Molecular, biochemical and anatomical analysis of some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars growing in Egypt. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* **13**, 39-49.

Mareček, J., Frančakova, H., Bojnanska, T., Fikselova, M., Mendelova, A., Ivanišova, E. (2013) Carbohydrates in varieties of stored potatoes and influence of storage on quality of fried products. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* **2(1)**, 1744-1753.

Matthäus, B., Norbert, U. H., Vosmanna, K. (2004) Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* **106**, 793–801.

Mills, C., Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. (2009) Acrylamide. U: *Process-Induced Food Toxicants. Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks*, (Stadler, R.H., Lineback, D.R., ured.), John Wiley & Sons: Hoboken, str. 23–50.

Navarre, D. A., Pillai, S. S., Shakya, R., Holden, M. J. (2011) HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food Chem.* **127**, 34-41.

Navarre, D. A., Payyavula, R. S., Shakya, R., Knowles, N. R., Pillai, S. S. (2013) Changes in potato phenylpropanoid metabolism during tuber development. *Plant Physiol. Biochem.* **65**, 89-101.

Navarre, D., Shakya, R., Holden, J., Kumar, S. (2010) The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *Am. J. Potato Res.* **87**, 350–359.

Navarre, D. A., Shakya, R., Holden, J., Crosslin, J. (2009) LC-MS analysis of phenolic compounds in tubers showing zebra chip symptoms. *Am. J. Potato Res.* **86**, 88–95.

Notardonato, I., Avino, P., Centola, A., Cinelli, G., Russo, M. V. (2013) Validation of a novel derivatization method for GC-ECD determination of acrylamide in food. *Anal. Bioanal. Chem.* **405**, 6137–6141.

Nugent, A. P. (2005) Health properties of resistant starch. *Nutr. Bull.* **30**, 27-54.

Oner, M. E., Walker, P. N. (2011) Effect of processing and packaging conditions of quality of refrigerated potato strips. *J. Food Sci.* **76**, 35-40.

Parker, J. K., Balagiannis, D. P., Higley, J., Smith, G., Wedzicha, B. L. Mottram, D. S. (2012) Kinetic model for the formation of acrylamide during the finish-frying of commercial French fries. *J. Agric. Food Chem.* **60**, 9321–9331.

Payyavula, R. S., Shakya, R., Sengoda, V. G., Munyaneza, J. E., Swamy, P., Navarre, D. A. (2014) Synthesis and regulation of chlorogenic acid in potato: Rerouting phenylpropanoid flux in HQT-silenced lines. *Plant Biotechnol. J.* **13**, 551-564.

Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K., Troncoso, E. (2007) Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries. *J. Food Eng.* **79**, 1287–1294.

Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., Granby, K. (2005) Colour changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Res. Int.* **38**, 1-9.

Ramamurthy, M. S., Maiti, B., Thomas, P., Nair, P. M. (1992) High performance liquid chromatographic determination of phenolic acids in potato tubers (*Solanum tuberosum*) wound healing. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 569-572.

Rosén J., Nyman, A., Hellenäs, K. E. (2007) Analysis of acrylamide in food: development of a robust LC-MS/MS method for collaborative trial validation. *J. Chromatogr. A* **1172**, 19-24.

Rowe, R.C., Curwen, D. (1993) Potato health management. APS Press, St. Paul.

Saltveit, M. E. (1997) Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. U: *Phytochemistry of Fruit and Vegetables* (Tomas-Barberan, F. A., Robins, R. J., ured.), Clarendon Press, Oxford, str. 205-220.

Segerbäck, D., Calleman, C.J., Schroeder, J.L., Costa, L.G., Faustman, E.M. (1995) Formation of N-7-(2-carbamoyl-2-hydroxyethyl) guanine in DNA of the mouse and the rat following intraperitoneal administration of [¹⁴C] acrylamide. *Carcinogenesis* **16(5)**, 1161-1165.

Seymour, I. J. (2003) Surface preservation for fruits and vegetables. U: *Food preservatives* (Russell, N. J., Gould, G. W., ured.), Springer US, str. 240–261.

Shakya, R., Navarre, D. A. (2006) Rapid screening of ascorbic acid, glycoalkaloids and phenolics in potato using high-performance liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* **54**, 5253-5260.

Shewry, P. R. (2003) Tuber storage proteins. *Ann. Bot.* **91(7)**, 755-769.

Silva, E. O., Socorro Rocha Bastos, M., Wurlitzer, N. J., Barros, Z. J., Mangan, F. (2016) Minimal processing fruits and vegetables. U: *Advances in fruit processing technologies* (Rodrigues, S., Narciso Fernandes, F. A., ured.), CRC Press, Boca Raton, str. 217-235.

Soliva-Fortuny, R. C., Martín-Belloso, O. (2003) New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends Food Sci. Technol.* **14**, 341–353.

Tapia, M. R., Gutierrez-Pacheco, M. M., Vazquez-Armenta, F. J., Gonzales Aguliar, G. A., Ayala Zavala, J. F., Rahman, M. S., Siddiqui, M. W. (2015) Washing, peeling and cutting of fresh-cut fruits and vegetables. U: *Minimally Processed Foods* (Siddiqui, M. W., Rahman, S. R., ured.), Springer International Publishing, New York.

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Tornqvist, M. (2000) Acrylamide: A cooking carcinogen? *Chem. Res. Toxicol.* **13**, 517–522.

Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Tornqvist, M. (2002) Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 4998–5006.

Tomas-Barberan, F. A., Espin, J. C. (2001) Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* **81**, 853–876.

Tudela, A. J., Cantos, E., Espin, J. C., Tomas-Barberan, F. A., Gil, M. I. (2002) Induction of antioxidant flavonol biosynthesis in fresh-cut potatoes. Effect of domestic cooking. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 5925-5931.

USDA (2018) National nutrient database for standard reference legacy release, United States Department of Agriculture, Washington, <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11352>>. Pristupljeno 20. ožujka 2019.

Wang, C. T., Wang, C. T., Cao, Y. P., Nout, M. J. R., Sun, B. G., Liu, L. (2011) Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with low and superatmospheric oxygen on the quality and antioxidant enzyme system of golden needle mushrooms (*Flammulina velutipes*) during postharvest storage. *Eur. Food Res. Technol.* **232(5)**, 851-860.

Wang, Q., Cao, Y., Zhou, L., Jiang, C., Feng, Y., Wey, S. (2015) Effect of postharvest curing treatment on flesh colour and phenolic metabolism in fresh-cut potato products. *Food Chem.* **169**, 246-254.

Watada, A. E., Kunkel, R. (1955) The variation in reducing sugar content in different varieties of potatoes. *Am. Potato J.* **32**, 132-140.

Xu, X., Li, W., Lu, Z., Beta, T., Hydamaka, A. W. (2009) Phenolic content, composition, antioxidant activity, and their changes during domestic cooking of potatoes. *J. Agric. Food Chem.* **57(21)**, 10231–10238.

Zhang, L., Lu, Z., Yu, Z., Gao, X. (2005) Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. *Food Control* **16**, 279-283.

Zhu, F., Cai, Y. Z., Ke, J., Corke, H. (2010) Compositions of phenolic compounds, amino acids and reducing sugars in commercial potato varieties and their effects on acrylamide formation. *J. Sci. Food Agric.* **90**, 2254-2262.

Zuo, S., Zhang, T., Jiang, B., Mu, W. (2015) Reduction of acrylamide level through blanching with treatment by an extremely thermostable L-asparaginase during French fries processing. *Extremophiles* **19**, 841–851.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.


Dino Jakupec