Primjena tropa aronije u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda

Lukanec, Ena

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:941205

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ena Lukanec

PRIMJENA TROPA ARONIJE U PROIZVODNJI EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, lipanj 2021.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambenog inženjerstva

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na VII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2020./2021. održanoj 29. travnja 2021.
Mentor: doc. dr. sc. *Antun Jozinović*

Primjena tropa aronije u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda

Ena Lukanec, 0113141772

Sažetak:

Trop aronije predstavlja kruti ostatak nakon prešanja aronije. Ovaj vrijedni nusproizvod bogat je izvor prvenstveno polifenolnih komponenti, ali i prehrambenih vlakana, vitamina i minerala. Cilj ovog diplomskog rada je ispitati mogućnost primjene tropa aronije u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice. Osušeni trop aronije dodavan je u kukuruznu krupicu u udjelima 4, 8 i 12 % s. tv. te su zamjesi pripremljeni na 15 % vlage i ekstrudirani u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu uz primjenu parametara ekstruzije prikladnih za proizvodnju direktno ekspandiranih snack proizvoda. Rezultati ovog istraživanja pokazuju kako se dodatkom nusproizvoda tropa aronije smanjio ekspanzijski omjer i tvrdoća, nasipna masa ekstrudata se povećala, dok se lomljivost nije značajno promijenila. Također, dodatak tropa aronije kao i sam postupak ekstruzije iznimno su utjecali na boju ekstrudata. Procesom ekstruzije se značajno povećao indeks apsorpcije i indeks topljivosti u vodi te je došlo do smanjenja udjela netopljivih vlakana, a povećanja udjela topljivih vlakana. Proces ekstruzije uzrokovao je smanjenje udjela ukupnih polifenola i antioksidativne aktivnosti kod većine uzoraka.

Ključne riječi: ekstruzija, nusproizvodi, trop aronije, snack proizvodi, fizikalna i kemijska svojstva

Rad sadrži: 45 stranica
19 slika
5 tablica
0 priloga
33 literaturne reference

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

1.	prof. dr. sc. Jurislav Babić	predsjednik
2.	doc. dr. sc. Antun Jozinović	član-mentor
3.	izv. prof. dr. sc. Đurđica Ačkar	član
4.	prof. dr. sc. Drago Šubarić	zamjena člana

Datum obrane: 25. lipnja 2021.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technologies
Subdepartment of Carbohydrate Technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Technology of confectionery and related products
Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VII. held on April 29, 2021.
Mentor: *Antun Jozinović* PhD, assistant prof.

Application of Chokeberry Pomace in the Production of Extruded Snack Products

Ena Lukanec, 0113141772

Summary:

The chokeberry pomace is a solid residue after pressing the chokeberry. This valuable by-product is primarily a rich source of polyphenolic components, but also dietary fiber, vitamins and minerals. Therefore, the aim of this thesis is to examine the possibility of using chokeberry pomace in the production of extruded snack products based on corn grits. Dried chokeberry pomace was added in proportions of 4, 8 and 12%, in production of corn snack products. These mixtures were prepared at 15% moisture and extruded in a laboratory single-screw extruder using extrusion parameters suitable for the production of expanded snack products. The results of this study show that the addition of chokeberry pomace decreased the expansion ratio and hardness, the bulk density of the extrudate increased, while the fracturability did not change significantly. Also, the addition of chokeberry pomace as well as the extrusion process itself had an exceptional effect on the color of the extrudates. The extrusion process significantly increased the water absorption index and water solubility index, and the content of insoluble fibers decreased, while the content of soluble fibers increased. The extrusion process caused a decrease in the content of total polyphenols and antioxidant activity in most samples.

Key words: extrusion, by-products, chokeberry pomace, snack products, physical and chemical properties

Thesis contains: 45 pages
19 figures
5 tables
0 supplements
33 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1. *Jurislav Babić*, PhD, prof. — chair person
2. *Antun Jozinović*, PhD, assistant prof. — supervisor
3. *Đurđica Ačkar*, PhD, associate prof. — member
4. *Drago Šubarić*, PhD, prof. — stand-in

Defense date: June 25, 2021

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Antunu Jozinoviću na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovoga rada. Nadalje, zahvaljujem prijateljima i kolegama koji su moje studiranje učinili ljepšim, lakšim i zabavnijim. Najveća zahvala ide mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i koji su uz Danka i brata Dinu bili moja najveća podrška tijekom cijelog studija. Bez njihove pomoći moje bi studiranje zasigurno bilo puno teže te je ova diploma velikim dijelom i njihova.

Sadržaj

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 3

2.1. EKSTRUZIJA 4

2.1.1. Prednosti ekstruzije u usporedbi s klasičnim postupcima obrade hrane 5

2.2. PODJELA EKSTRUDERA 6

2.2.1. Termodinamičko stajalište 7

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 7

2.2.3. Podjela ekstrudera s obzirom na veličinu smicanja 9

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA 10

2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE 11

2.4.1. Škrob 11

2.4.2. Proteini 13

2.4.3. Prehrambena vlakna 13

2.4.4. Lipidi 14

2.4.5. Ostalo 14

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA 15

2.5.1. Kukuruz (*Zea mays* L.) 15

2.5.2. Nusproizvodi prehrambene industrije 17

3. EKSPERIMENTALNI DIO 19

3.1. ZADATAK 20

3.2. MATERIJALI 20

3.3. METODE 20

3.3.1. Priprema sirovina i zamjesa za ekstruziju 20

3.3.2. Ekstruzija 21

3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava 22

4. REZULTATI I RASPRAVA 28

4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA 29

4.1.1. Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) 29

4.1.2. Nasipna masa ekstrudata (BD) 29

4.1.3. Tekstura (tvrdoća i lomljivost) ekstrudata 30

4.1.4. Boja zamjesa i ekstrudata 31

4.1.5. Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) 33

4.1.6. Udio ukupnih polifenola (PPO) i antioksidativna aktivnost (AA) 34

4.1.7. Udio netopljivih, topljivih i ukupnih prehrambenih vlakna 35

5. ZAKLJUČCI 37

6. LITERATURA 39

Popis oznaka, kratica i simbola

AA	antioksidativna aktivnost
BD	nasipna masa (engl. *bulk density*)
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
EO	ekspanzijski omjer
GAE	ekvivalenat galne kiseline (engl. *gallic acid equivalents)*
HTST	visoka temperatura kratko vrijeme (engl. *High Temperature Short Time*)
L*, a*, b*	parametri CIELab sustava za boje
NV	netopljiva prehrambena vlakna
PPO	udio ukupnih polifenola
RTE	spremno za konzumiranje (engl. *ready-to-eat*)
TV	topljiva prehrambena vlakna
UV	ukupna prehrambena vlakna
WAI	indeks apsorpcije vode (engl. *water absorption index*)
WSI	indeks topljivosti u vodi (engl. *water solubility index*)
ΔE	ukupna promjena boje

1. UVOD

Ekstruzija je zbog svojih brojnih prednosti postala vrlo značajan proces u prehrambenoj industriji. Postupak ekstruzije se zasniva na podvrgavanju sirovina operacijama zagrijavanja, miješanja i stlačivanja nakon čega se obrađeni materijal potiskuje klipom ili pužnicom kroz stacionarno kućište i na kraju prolazi kroz sapnicu različitih oblika i istovremeno se ekspanzijom suši do konačnog proizvoda. Primjena procesa ekstruzije nije nužno vezana samo za prehrambenu industriju kod proizvodnje tjestenina, snack proizvoda, različitih konditorskih proizvoda ili mesnih prerađevina, već se koristi i u proizvodnji kablova, cijevi ili plastičnih proizvoda. Upotrebom ekstrudera nastaju proizvodi visoke kakvoće zbog primjene HTST postupka (*engl. High Temperature Short Time*), koji kratkotrajnom upotrebom visoke temperature neće degradirati termolabilne sastojke hrane poput određenih vitamina (vitamin C) ili proteina i aminokiselina. Uređaj je vrlo praktičan jer omogućava jednostavnu promjenu procesnih parametara te jednostavno postizanje različitih svojstava gotovog proizvoda poput različitih oblika i teksture, također ima niske operativne troškove i male gubitke energije te zbog svih navedenih svojstava prednjači u odnosu na druge procese obrade namirnica.

Najzastupljenije sirovine korištene u procesu ekstruzije su različite vrste žitarica koje su bogate škrobom i proteinima, koji se tijekom procesa mijenjaju i time utječu na svojstva krajnjih proizvoda. Najčešće korištene sirovine su kukuruzna i pšenična krupica ili sojini proteini i proteini sirutke, no u novije vrijeme se koriste i razni dodaci u svrhu povećanja nutritivne vrijednosti proizvoda.

Prehrambena industrija uvijek mora pratiti trenutne trendove u svijetu kao što su proizvodnja funkcionalne hrane koja zadovoljava energetsku vrijednost te mora sadržavati i sastojke koji mogu imati pozitivan učinak na ljudsko zdravlje. Također, u novije vrijeme sve više se kod ljudi podiže svijest oko očuvanja okoliša, stoga se i kod proizvodnje hrane u velikoj mjeri sirovine pokušavaju u potpunosti iskoristiti. Kod proizvodnje marmelada i džemova od voća zaostaje velika količina nusproizvoda koja se može iskoristiti za nutritivno obogaćivanje proizvoda.

Stoga je cilj ovog diplomskog rada bio ispitati mogućnost primjene tropa aronije u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Ekstruzija je mehanički i termički proces u kojem se materijal s pomoću klipa (stapa) ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, miješanje i smicanje kroz ekstruder i sapnicu specifičnog oblika, kako bi se proizvod oblikovao i/ili ekspandirao uz sušenje (Rossen i Miller, 1973.).

Tijekom provedbe ekstruzije dolazi do denaturacije proteina kao rezultat povišene temperature. Denaturacija proteina je najvažnija promjena jer utječe na poboljšanje probavljivosti, smanjenja topivosti u vodi i ovisno tlaku i temperaturi dolazi do inaktivacije enzima. Također, zbog termičkog tretiranja može doći do želatinizacije kod namirnica koje sadrže škrob ili kuhanja namirnice, a samim time može se promijeniti i tekstura namirnice. Visokom temperaturom ujedno se provodi i pasterizacija ili sterilizacija. Prilikom prolaska kroz ekstruder može doći do usitnjavanja čestica, homogenizacije i miješanja sastojaka ili aglomeracije koja predstavlja udruživanje manjih čestica u veće nakupine. Namirnica može dehidrirati zbog uklanjanja vlage i u konačnici može doći i do ekspandiranja na način da se stupanj ekspanzije kontrolira procesnim parametrima i konfiguracijom ekstrudera (Riaz, 2000.).

Suvremeni ekstruderi, posebice oni namijenjeni ekstruzijskom kuhanju (engl. *extrusion cooking*) posjeduju glavne značajke kao što su primjena visoke temperature i tlaka, velik unos energije i velika brzina smicanja, niska je vlažnost, kapacitet uređaja je velik i zahtijeva kratko vrijeme zadržavanja materijala.

Ekstruzijsko kuhanje primjenjuje se u svrhu proizvodnje ili prerade različitih sirovina, polugotovih i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda (**Slika 1**) poput:

- ekspandirani snack proizvodi, RTE (engl. *ready-to-eat*) pahuljice od žitarica i različite vrste žitarica za doručak koje mogu biti različitih boja, oblika i okusa;
- snack peleti – predstavljaju poluproizvode koji se koriste za proizvodnju prženih proizvoda,
- dječja hrana, funkcionalni dodaci;
- teksturirani biljni proteini (uglavnom iz soje);
- tjestenina, krekeri, krušne mrvice, emulzije i paste;

- bomboni, različite vrste slatkiša, žvakaće gume;
- hrana za kućne ljubimce i ribe;
- različiti proizvodi za farmaceutsku, kemijsku i industriju papira, proizvodi od plastike i dr. (Móscicki, 2011.).



Slika 1 Proizvodi ekstruzijskog kuhanja (Móscicki, 2011.)

2.1.1. PREDNOSTI EKSTRUZIJE U USPOREDBI S KLASIČNIM POSTUPCIMA OBRADE HRANE

Ekstruzija u odnosu na klasične postupke obrade hrane ima značajno više prednosti, a to su:

- prilagodljivost – mogućnost proizvodnje raznolike palete proizvoda;
- jednostavna promjena procesnih parametara i oblika uređaja čime se postižu različita svojstva proizvoda;
- visoko iskorištenje energije – korištenje sirovina koje sadrže niski postotak vlage, što zahtijeva manju količinu energije za sušenje;
- mali gubici energije i niski operativni troškovi;
- visoka kakvoća proizvoda – zbog HTST procesa što uzrokuje uništavanje nepoželjnih sastojaka poput inhibitora tripsina, nepoželjnih enzima i mikroorganizama;
- razvoj novih proizvoda;
- visoka produktivnost i automatizacija procesa – kontinuirana proizvodnja uz veliki kapacitet;
- jednostavna i brza kontrola kvalitete;
- smanjeno nastajanje nusproizvoda – manji su gubitci i zagađenje okoliša;
- dobra korelacija pilot postrojenja s procesnim postrojenjima (Riaz, 2000.).

Ekstruderi imaju raznoliku upotrebu jer se mogu koristiti za procese kuhanja, formiranja, miješanja, teksturiranja i oblikovanja prehrambenih proizvoda na način da se omogući zadržavanje kakvoće, visokog stupnja produktivnosti sa što nižim troškovima proizvodnje (Riaz, 2000.).

Primjenom ekstruzije kod proizvodnje prehrambenih proizvoda razlikujemo tri osnovna postupka:

- hladno ekstrudiranje;
- želatinizacija (želiranje);
- toplo ekstrudiranje (Lovrić, 2003.).

Postupak hladnog ekstrudiranja uključuje primjenu temperature 40 - 70 °C i tlakove 60 - 90 bara, uslijed čega ne dolazi do zagrijavanja kućišta i sapnice dok se hlađenje vrši po potrebi. Kod želatinizacije (želiranje) upotrebljavaju se više temperature i viši tlakovi 70 - 120 °C i tlakovi 70 - 130 bara, dok se kućište ekstrudera i sapnica zagrijavaju ili hlade ovisno o stupnju željene temperature u određenim dijelovima ekstrudera. Toplo ekstrudiranje uključuje primjenu visokih temperatura u rasponu 130 - 180 °C te visokih tlakova 120 - 250 bara, uz zagrijavanje ili hlađenje kućišta ekstrudera i sapnice sa svrhom održavanja željene temperature (Obradović, 2014.).

2.2. PODJELA EKSTRUDERA

U tehnologiji prehrambenih proizvoda, ekstruderi se dijele s obzirom na:

- Termodinamičke uvjete rada;
- Način stvaranja tlaka u uređaju;
- Veličinu smicanja (Lovrić, 2003.).

2.2.1. Termodinamičko stajalište

S obzirom na termodinamičke uvjete rada razlikuju se:

- **Autogeni (adijabatski) ekstruderi** – način rada ovih ekstrudera je usmjeren na približno adijabatske uvjete na principu da se toplina razvija konverzijom mehaničke energije tijekom gibanja materijala unutar uređaja. Toplina se kod ovih ekstrudera ne dovodi niti odvodi, a zahtijeva se niska vlažnost sirovina (8 – 14 %);
- **Izotermni ekstruderi** – hlađenjem se održava konstantna temperatura na način da se odvodi toplina koja je nastala pretvorbom mehaničke energije u toplinu;
- **Politropski ekstruderi** – najčešće korišteni tip ekstrudera u prehrambenoj industriji, ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta (Lovrić, 2003.).

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

S obzirom na način stvaranja tlaka ekstruderi se dijele na:

- Ekstrudere viskozno-vlačnog toka (indirektnog tipa) – kućište i materijal su pomični što rezultira smanjenim utroškom snage i uzrokuje manje habanje;
- Ekstrudere visokog tlaka (direktnog tipa) – najčešći tip kod kojeg se materijal kroz stacionarno kućište tjera uz pomoć puža (Babić, 2011.).

Razlikuju se dvije vrste ekstrudera direktnog tipa, a to su:

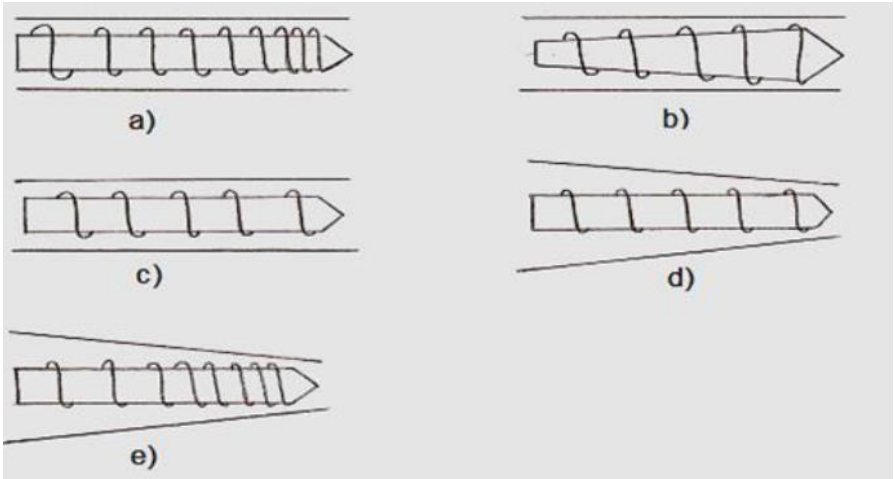
- Klipni ekstruderi: predstavlja najjednostavniji tip ekstrudera koji se sastoji od klipa i kućišta. Klip tlači materijal kroz kućište i na kraju ekstrudat ostaje nepromijenjen u usporedbi s polaznim materijalom te također ne dolazi do smicanja prolaskom materijala kroz kućište. Klipni ekstruder može se primjenjivati prilikom procesa nadijevanja kobasica ili ekstruzije kukuruzne mase;
- Pužni (vijčani) ekstruderi: način rada je usmjeren na viskozno gibanje materijala između puževa te između puževa i kućišta prilikom čega dolazi do smicanja i oslobađanja topline zbog čega se materijal značajno miješa. Za razliku od klipnih ekstrudera, pužni ekstruderi uzrokuju značajnu promjenu ekstrudata u usporedbi s polaznim materijalom. Ovisno o konstrukciji, ekstruderi se dijele na jednopužne i

dvopužne. Jednopužni ekstruderi se koriste kod procesa koji zahtijevaju primjenu visokih tlakova, no s druge strane oni nisu poželjni kod ljepljivih i gumenih sirovina ili materijala koji će procesiranjem postati ljepljivi. Dvopužnim ekstruderima moguće je procesirati ljepljive, viskozne i vlažne sirovine i oni su jednostavni za održavanje i čišćenje, no samim time imaju i veću cijenu i zahtijevaju veći utrošak energije. Dvopužni se ekstruderi dijele na ekstrudere istosmjernog okretaja i one sa suprotnim smjerom okretaja pužnice (Jozinović, 2015.).

Jednopužni ekstruderi

Podjela jednopužnih ekstrudera ovisno o izvedbi puža i kućišta (**Slika 2**):

a) korak puža smanjuje se prema kraju,
b) promjer puža povećava se prema kraju,
c) puž s navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta,
d) kućište se konusno sužava,
e) korak se smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Babić, 2011.).



Slika 2 Tipovi puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera (Babić, 2011.)

Dvopužni ekstruderi

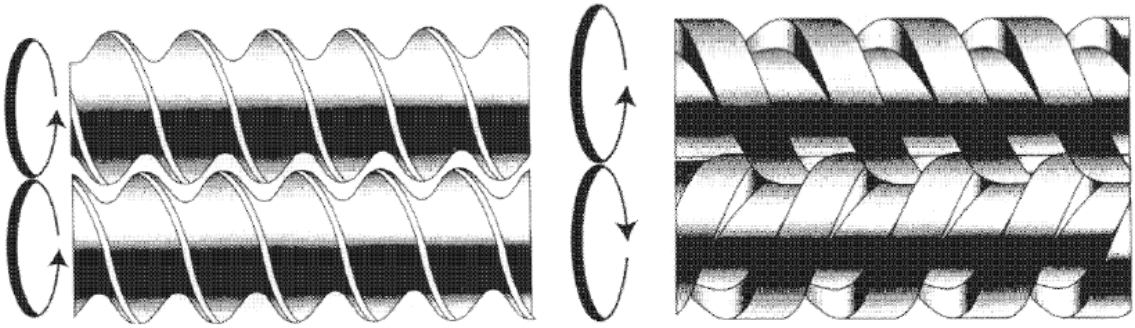
Dvopužni ekstruderi imaju veću primjenu u prehrambenoj industriji zbog niza prednosti u odnosu na jednopužne ekstrudere:

- jednostavnije je održavanje i čišćenje zbog svojstva samočišćenja,

- pulsiranje materijala na izlazu je slabije izraženo,
- moguće je procesiranje vrlo viskoznih, ljepljivih i vlažnih materijala koje sadrže relativno visoku količinu ulja,
- moguće je procesirati širok raspon materijala s obzirom na veličinu čestica (Riaz, 2000.).

Dvopužni ekstruderi se s obzirom na smjer kretanja pužnice (**Slika 3**) dijele u dvije kategorije:

- istosmjerni okretaji pužnice,
- suprotni smjer okretaja pužnice (Huber, 2000.).



Slika 3 Dvopužni ekstruderi sa istosmjernim (a) i kretanjem puževa u suprotnom smjeru (b) (Huber, 2000.)

2.2.3. Podjela ekstrudera s obzirom na veličinu smicanja

S obzirom na veličinu smicanja ekstruderi se dijele na:

- Nisko-smične ekstrudere čija je primjena najčešća kod oblikovanja tijesta, keksa, mesnih proizvoda ili određenih konditorskih proizvoda i sl.;
- Srednje-smične ekstrudere koji omogućavaju postizanje visokih tlakova, dok na izlazu ne dolazi do ekspanzije proizvoda. Njihova upotreba je najveća kod dobivanja proizvoda mekane konzistencije s povećanom vlažnosti;
- Visoko-smične ekstrudere koji se najčešće koriste kod proizvodnje ekspandiranih snack proizvoda jer se kod njih primjenjuju visoke temperature i na izlazu iz ekstrudera dolazi do ekspanzije i sušenja proizvoda (Jozinović, 2015).

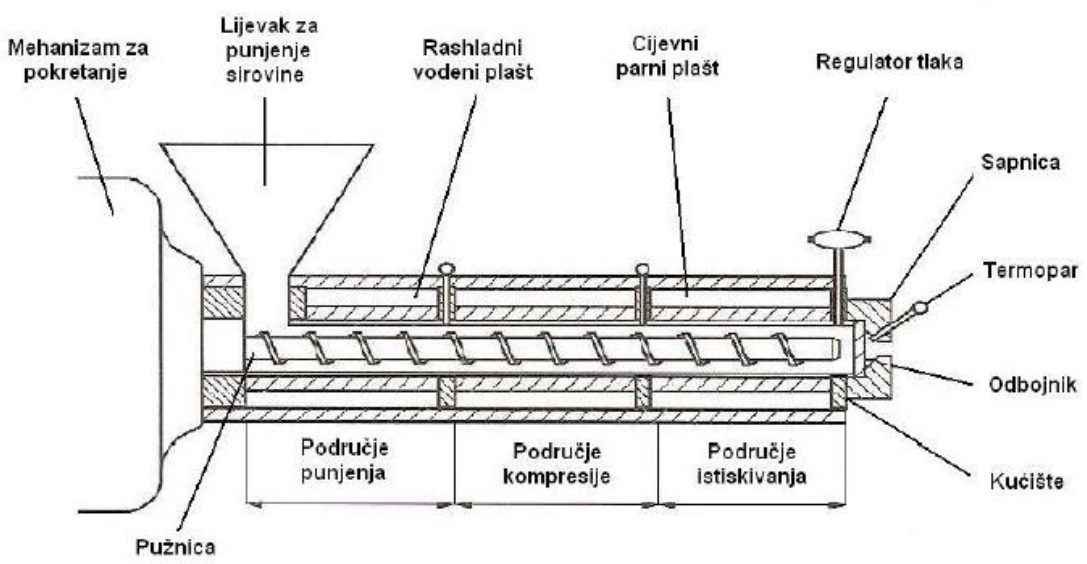
2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Proces ekstruzije odvija se kroz tri zone kao što je prikazano na **Slici 4**:

1. Zona uvlačenja (napajanja) – prihvat, transport i tlačenje materijala do zone istiskivanja;

2. Zona kompresije (prijelaza) – kompresija materijala pri čemu dolazi do konverzije mehaničke energije u toplinu što rezultira porastom temperature i analogno tome dolazi do želiranja, kuhanja i sterilizacije;

3. Zona istiskivanja – predstavlja najvažniji dio ekstrudera jer prima stlačeni materijal, homogenizira ga i pri konstantnom tlaku potiskuje materijal kroz sapnicu (Jozinović, 2011.).

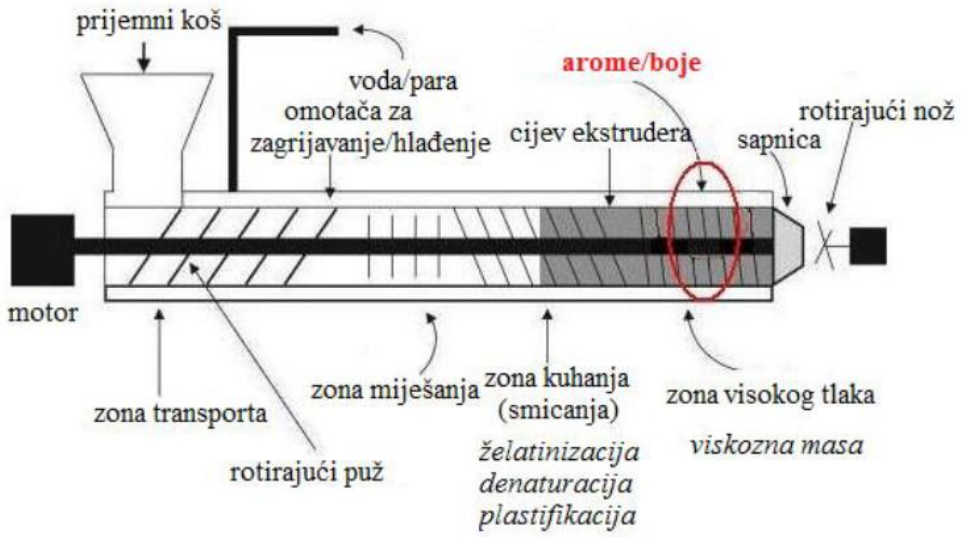


Slika 4 Princip rada jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003.)

Homogenizacija materijala može se postići djelovanjem intenzivnog miješanja uslijed sila smika ili zbog ekstenzivnog miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz kućište. Sapnica koja se nalazi na kraju ekstrudera je izrađena tako da oblikuje i suši proizvod uslijed ekspanzije koja se događa zbog toga što stlačeni materijal velikom brzinom izlazi iz ekstrudera, iz područja u kojem vlada visoki tlak i temperatura, u područje atmosferskog tlaka. Tijekom izlaska materijala voda naglo isparava iz materijala i uslijed tog procesa dolazi do povećanja volumena materijala i dehidratacije materijala.

2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE

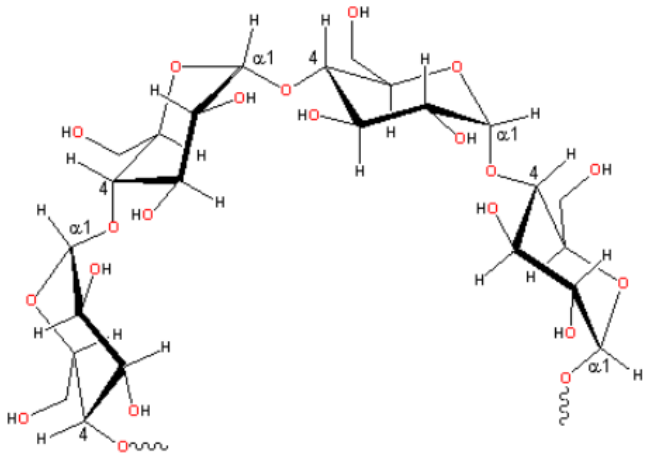
Ekstruzija je proces koji je u današnje vrijeme znatno zastupljen u prehrambenoj industriji zbog toga što pruža mogućnost proizvodnje velikog spektra proizvoda od različitih polaznih sirovina na jednostavan i brz način, no uz pregršt prednosti koje ima proces ekstruzije uočava se i problem da primjenom određenih procesnih parametara dolazi do promjena u kemijskom i nutritivnom sastavu proizvoda. Kako bi se ti nedostaci umanjili potrebno je prije oblikovanja i vođenja procesa ekstrudiranja hrane uzeti u obzir prirodne varijacije materijala poput udjela vlage, proteina i škroba, ali i eksperimentalne promjene procesa ekstruzije. Sastav ekstrudiranih proizvoda može se promijeniti i zbog materijalnih gubitaka poput istjecanja ulja ili isparavanja vode pri izlasku iz sapnice. Sprječavanje gubitka termolabilnih komponenata postiže se tako što se takve komponente dodaju neposredno prije sapnice kao što je prikazano na **Slici 5** (Jozinović, 2015.).



Slika 5 Shema osnovnih dijelova ekstrudera s mjestom dodatka termolabilnih sastojaka (Babić, 2011.)

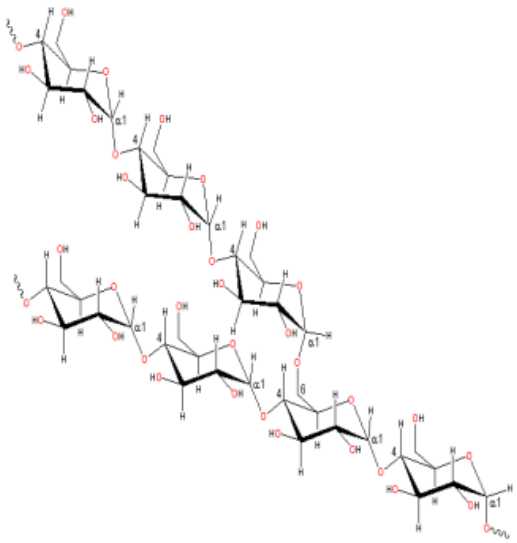
2.4.1. Škrob

Škrob je polisaharid koji se u prirodi nalazi u obliku granule, građen je od međusobno povezanih jedinica glukoze, a dva glavna polimera α-D-glukoze su: amiloza (20 – 30 %) i amilopektin (70 – 80 %) (Babić, 2011.). Amiloza je slatkog okusa i netopljiva u vodi, a sadrži oko 200 glukoznih jedinica koje se međusobno vežu α(1,4)-glikozidnim vezama i time stvaraju nerazgranati lanac (**Slika 6**).



Slika 6 Struktura molekule amiloze (Chaplin, 2007.)

Amilopektin je razgranati polimer kod kojeg se jedinice glukoze mogu povezati na dva načina, osim α-1,4-vezama u strukturi ravnog lanca, mogu se vezati i α-(1,6) glikozidnim vezama na mjestima grananja (BeMiller i Whistler, 2009.). Lanac se prosječno grana nakon svakih 25 jedinica glukoze, a sadrži oko 1000 glukoznih jedinica (**Slika 7**).



Slika 7 Struktura molekule amilopektina (Chaplin, 2007.)

Pri sobnoj temperaturi, granule škroba mogu apsorbirati malo vode, no povišenjem temperature uz prisustvo dovoljne količine vode dolazi do bubrenja granula i otapanja te dolazi do želatinizacije. Želatinizacija omogućuje povezivanje svih sastojaka u homogenu masu, veća je apsorpcija vode i bolja je aktivnost enzima te se zbog toga smatra da je proces želatinizacije poželjan. Bolja aktivnost enzima omogućuje laku i brzu razgradnju škroba do

jednostavnijih ugljikohidrata te time želatinizirani škrob postaje probavljiviji od sirovog. Ekspanzija škroba se predočava kao mjehurićasti materijali male gustoće koji nastaju iz vruće, želatinizirane mase škroba u uvjetima visokog tlaka koja prolazi kroz uske otvore i izlazi na atmosferski tlak (Camire i sur., 1990.).

2.4.2. Proteini

Proteini zbog nutritivne uloge predstavljaju vrlo značajan sastojak u hrani. Najbitnija promjena na proteinima koja se događa tijekom provođenja procesa ekstruzije je denaturacija. Dolazi do gubitka aktivnosti mnogih enzima, osim ako oni pokazuju otpornost prema zagrijavanju i smicanju. Također, dolazi i do smanjivanja topljivosti proteina u vodi i razrijeđenim otopinama soli, te smanjenja udjela lizina, što rezultira boljom probavljivosti proteina (Jozinović, 2015.).

Zbog visokih temperatura u ekstruderu te niske vlažnosti materijala dolazi do Maillard-ovih reakcija tijekom procesa ekstruzije. Maillard-ove reakcije se odvijaju između karbonilnih skupina reducirajućih šećera i amino skupina aminokiselina. Tijekom ekstruzije najčešće dolazi do reakcije između reducirajućih šećera koji nastaju hidrolizom škroba i aminokiseline lizina. Lizin je limitirajuća esencijalna aminokiselina u žitaricama te to rezultira smanjenom nutritivnom vrijednosti proteina (Camire, 2001.)

2.4.3. Prehrambena vlakna

Sastav prehrambenih vlakana predstavlja skup spojeva koji nisu probavljivi u tankom crijevu, no mogu biti od koristi bakterijama u debelom crijevu. Neka od prehrambenih vlakana su celuloza, hemiceluloza, lignin, pektin i neki drugi materijali. Prehrambena vlakna se mogu podijeliti na topljiva i netopljiva prehrambena vlakna. Topljiva prehrambena vlakna uključuju β-glukane, pektin, gume i neke hemicelulozne molekule, dok netopljiva prehrambena vlakna uključuju hemicelulozu, celulozu i lignin. Nedovoljan unos prehrambenih vlakana može rezultirati nastankom mnogih bolesti, uključujući rak debelog crijeva (Camire i sur., 1990.).

Prehrambena vlakna imaju tendenciju da sprječavaju ekspanziju te je iz tog razloga njihova uporaba limitirana, ali se njihovo korištenje u procesu ekstruzije preporuča u određenim količinama jer ima pozitivan učinak na cjelokupno zdravlje organizma. Ekstruzija također povećava gustoću vlakana i povećava udio topljivih vlakana, no smanjuje udio netopljivih vlakana.

2.4.4. Lipidi

Proces ekstruzije nema velik utjecaj na promjene u sastavu lipida, no lipidi imaju utjecaj na provođenje ekstruzije. Udio lipida veći od 5 % smanjuje efikasnost ekstrudera zbog većeg proklizavanja materijala unutar ekstrudera te može doći do smanjenog tlaka što rezultira lošom ekspanzijom proizvoda (Jozinović, 2015.). Osim što je bitno paziti na količinu dodane masti, također se mora obratiti pozornost i na podrijetlo masti odnosno iz koje sirovine je dobivena mast. Izvori lipida mogu biti salo, loj, biljna ulja, životinjska mast, ulje morskih plodova te čak i mješavine pojedinih navedenih izvora (Riaz, 2007.).

Udio masti najčešće se smanjuje nakon provedbe ekstruzijskog kuhanja iz razloga što se dio masti može izgubiti na sapnici u obliku slobodnog ulja ili može doći do stvaranja kompleksa s amilozom i proteinima. Procesom ekstruzije dolazi do promjene nutritivne vrijednosti lipida zbog oksidacije, izomerizacije ili hidrogenacije (Jozinović, 2015.).

2.4.5. Ostalo

Najveći gubitak nutritivne vrijednosti tijekom procesa ekstruzije predstavlja gubitak vitamina jer su neki vitamini termolabilni što znači da se gube pri višim temperaturama, no s obzirom na to da ekstruzija primjenjuje visoke temperature kroz kratko vrijeme (tzv. HTST postupak) gubitak vitamina je znatno smanjen.

Nadalje, primjena visokih temperatura također utječe i na gubitak hlapivih aroma jer se one odvode vodenom parom odnosno isparavanjem nakon izlaska iz sapnice. Jedno od rješenja tog problema može biti dodavanje aroma nakon završetka procesa ekstruzije jer se time pospješuje njihova postojanost.

Proces ekstruzije utječe na redukciju prehrambenih toksina i antinutrijenata koji imaju negativan utjecaj na ljudsko zdravlje (Jozinović, 2015.).

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA

Najčešće primjenjivane sirovine za proizvodnju ekstrudiranih snack proizvoda su proizvodi dobiveni iz kukuruza, pšenice, riže i krumpira čiji su osnovni sastojci škrob i/ili proteini. Prilikom proizvodnje ekstrudiranih snack proizvoda procesom ekstruzije postoji mogućnost nutritivnog obogaćivanja ili poboljšanja okusa dodatkom proizvoda drugih žitarica kao što su raž, ječam, zob ili heljda (Móscicki i Wójtowicz, 2011.).

Kako bi se postigla različitost među proizvodima, sirovine korištene u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda moraju imati određene karakteristike poput:

- mogućnost formiranja specifične strukture proizvoda;
- u procesu ekstruzijskog kuhanja moraju olakšati fizikalne transformacije;
- utjecaj na plastičnost materijala i viskoznost;
- u tjestastim materijalima moraju olakšati homogenizaciju sastojaka;
- poboljšavaju boju i okus proizvoda;
- ubrzavaju otapanje i želatinizaciju škroba (Móscicki i Wójtowicz, 2011.).

Prilikom odabira odgovarajuće sirovine bitno je obratiti pažnju na:

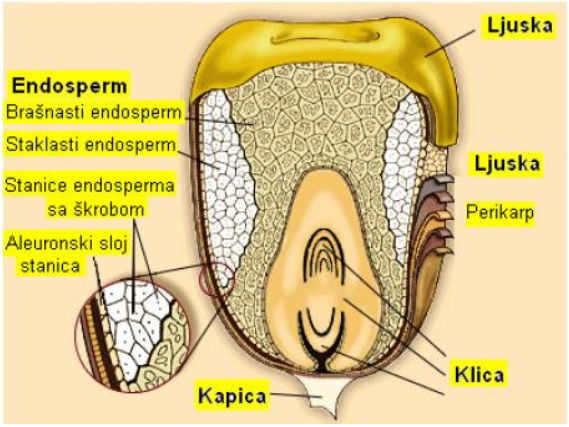
- primarni čimbenik: nutritivna vrijednost;
- sekundarni čimbenik: cijena;
- dostupnost sirovine (Jozinović, 2011.).

2.5.1. Kukuruz (*Zea mays* L.)

Kukuruz predstavlja najpopularniju sirovinu u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda te je po opsegu proizvodnje, prometu i privrednom značenju najvažnija žitarica. U industriji prerade hrane razlikuju se dvije glavne sorte kukuruza, a to su tvrde i meke. Meke su najčešće korištene kod proizvodnje brašna i krupice. U oba tipa veličina granule škroba iznosi od 5 do 20 μm, no ovisno o udjelu amiloze i amilopektina one imaju različitu formu.

Zrno kukuruza sastoji se od četiri osnovna dijela (**Slika 8**):

- endosperma (82 – 83 %),
- klice (10 – 11 %),
- perikarpa (5 – 6 %),
- kapice (0,8 – 1,0 %) (Singh i sur., 2014.).



Slika 8 Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Endosperm čini najveći udio u zrnu te samim time sadrži i najviše škroba. Škrobna zrnca koja se nalaze u kukuruzu su sitna i okruglog oblika. Endosperm se dijeli na brašnasti i staklasti endosperm. Brašnasti sadrži više škroba te su škrobne granule veće i sadrže tanju proteinsku mrežu. Staklasti dio endosperma ima zbijena, krupna i uglasta zrnca (Jozinović, 2015.). Prosječni kemijski sastav zrna kukuruza prikazan je u **Tablici 1**.

Tablica 1 Kemijski sastav kukuruznog zrna (Babić, 2011.)

Sastojak	Prosječni udio (%)
Vlaga	14,0
Škrob	71,1
Proteini	9,91
Masti	4,45
Pepeo	1,42

2.5.2. Nusproizvodi prehrambene industrije

Nepravilna prehrana je u današnje vrijeme postala vrlo velik problem jer uzrokuje prekomjernu tjelesnu težinu i pretilost što u konačnici rezultira dijabetesom, kardiovaskularnim bolestima, malignim oboljenjima i raznim drugim poremećajima. Problematika vezana uz nepravilnu prehranu poznata je već duže vrijeme, te je iz tog razloga nastala velika potreba za promocijom zdravije hrane odnosno u konačnici i zdravijeg načina života. Stoga je prehrambena industrija počela razvijati široku paletu raznovrsnih zdravijih proizvoda kao na primjer proizvodi sa smanjenim udjelom šećera. Također, jedna od glavnih smjernica razvoja prehrambene industrije je pronalazak novih sirovina i izvora potencijalno funkcionalnih sastojaka (Jozinović, 2015.).

Nusproizvodi koji nastaju prilikom prerade biljnih materijala mogu biti prilično problematični, jer zbog svoje spore biorazgradivosti, onečišćenja vode, emisije metana utječu na okoliš, no prednost nusproizvoda je što obiluju prehrambenim vlaknima i drugim biološki aktivnim tvarima (Schieber i sur., 2001.; O'Shea i sur., 2012.).

Iskorištenje nusproizvoda prehrambene industrije pozitivno bi utjecalo na okoliš, jer bi se smanjio negativan utjecaj, zagađenje i ukupni otpad te bi se također pozitivno utjecalo na povećanje prehrambene vrijednosti novih proizvoda (Yağcı i Göğüş, 2010.).

Preradom jabuka, aronije te kod proizvodnje piva nastaje velika količina nusproizvoda, koji se mogu iskoristiti u ponovnoj proizvodnji hrane jer imaju dobar sastav i tehnološka svojstva. Posjeduju značajan izvor prehrambenih vlakana kao i polifenola, vitamina i minerala koji navedenim sirovinama daju znatnu nutritivnu vrijednost. Osim korištenja nusproizvoda kod proizvodnje obogaćenih proizvoda, nusproizvodi se također koriste i kao stočna hrana jer predstavljaju lako dostupnu i prilično jeftinu sirovinu (Jozinović, 2015.).

Stoga je cilj ovog istraživanja bio utvrditi mogućnost primjene tropa aronije u proizvodnji kukuruznih snack proizvoda.

2.5.2.1 Trop aronije

Trop aronije sadrži visokovrijedne nutrijente poput ugljikohidrata, proteina, minerala, pektina, lipida, organskih kiselina, vitamina, aldehida, alkohola, pigmenata, aromatskih spojeva i vlakana. Zbog tih vrijednih karakteristika tropa, prehrambena industrija sve više traži nove mogućnosti za iskorištenje ovog nusproizvoda. Snack proizvodi su vrlo zastupljeni proizvodi u

svakodnevnoj prehrani ljudi, naročito adolescenata i male djece. S obzirom na činjenicu da takvi proizvodi sadrže malu količinu vlakana, vitamina i ostalih biološki aktivnih tvari, idealno rješenje predstavlja dodatak nusproizvoda prehrambene industrije kako bi se povećala nutritivna i funkcionalna vrijednost.

Aronija ima velik utjecaj na cjelokupno poboljšanje imunološkog sustava te na taj način može ojačati organizam u borbi protiv bakterija i virusa (Popović, 2019.). Također održava zdravlje mokraćnog sustava (Handeland i sur., 2014.). Visoki udio polifenolnih sastojaka u plodovima aronije može povoljno utjecati na normalizaciju zgrušavanja krvi (Bijak i sur., 2011.). Polifenolni spojevi imaju velik utjecaj na organizam jer posjeduju antibakterijsko, antialergijsko, antimutageno, protuupalno i antikancerogeno djelovanje.

Istraživanja su pokazala da fenolnih spojeva ima više u tropu nego u samom soku. Trop aronije ima 3 puta veću koncentraciju fenolnih spojeva nego u soku, te također ima 2,5 puta veće antioksidativno djelovanje u odnosnu na sok (Oszmiański i Wojdylo, 2005.). Nakon provedenog procesa prešanja čak više od 50 % ukupne količine antocijana u aroniji i dalje zaostaje u nusproizvodu. Zbog svih navedenih prednosti aronija predstavlja idealnu sirovinu koja obiluje antioksidativnim i protuupalnim sastojcima. Dokazano je da antocijani i vlakna koja se nalaze u aroniji imaju veliku ulogu u zaštiti kardiovaskularnog sustava (Kulling i Rawel, 2008.). Upotreba aronije je najčešće kao sok ili u sušenom obliku. Zbog visokog udjela tanina, flavonoida, vitamina C i E, aronija sudjeluje u sprječavanju stvaranja slobodnih radikala i degeneracije zdravih stanica u ljudskom tkivu i krvnoj plazmi, a time se usporava proces starenja organizma (Wawer, 2010.). Osim svih učinaka koje pruža aronija, još jedna od bitnih stvari je mogućnost iskorištenja same sirovine u potpunosti što proizvođaču omogućava iskorištenje nusproizvoda kao i proizvodnju funkcionalne hrane.

Prema Drożdż i sur. (2019) i Leonard i sur. (2020.) gubitak polifenolnih spojeva tijekom procesa ekstruzije je u rasponu od 31 do 70 % ovisno o količini dodanog nusproizvoda te također i o parametrima pri kojima se provodi ekstruzija. Neki od razloga gubitka polifenolnih spojeva su toplinska razgradnja, enzimska razgradnja ili oksidativna degradacija (Drożdż i sur., 2019.). Antocijani su najviše labilni te njihova stabilnost tijekom provođenja procesa ovisi o raznim čimbenicima poput pH, temperature i prisutnosti enzima.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je:

- ispitati mogućnost primjene tropa aronije, nusproizvoda u prehrambenoj industriji, u proizvodnji funkcionalne hrane, točnije snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice,
- usporediti fizikalna, reološka i kemijska svojstva dobivenih ekstrudiranih proizvoda u koje je dodan trop aronije s ekstrudiranim proizvodima bez dodatka tropa aronije.

3.2. MATERIJALI

Materijali korišteni u istraživanju su:

- Kukuruzna krupica iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek;
- Trop aronije dobiven kao nusproizvod iz proizvodnje soka aronije na OPG D. Vrbić, Zavidovići, Bosna i Hercegovina, te osušen u laboratorijskom sušioniku s ventilacijom na 60 °C.

3.3. METODE

3.3.1. Priprema sirovina i zamjesa za ekstruziju

Dobivena kukuruzna krupica je korištena u prvobitnom obliku, dok je trop aronije prvo samljeven na laboratorijskom mlinu (IKA MF10), Staufen, Njemačka (**Slika 9**) gdje je upotrijebljeno sito otvora 2 mm.

Zamjes za ekstruziju sastoji se od osnovne sirovine kukuruzne krupice uz dodatak tropa aronije u udjelima od 4 %, 8 % i 12 % suhe tvari. Uz pomoć laboratorijskog miksera pripremljeni su zamjesi uz kontroliranu vlažnost zamjesa na 15 % na način da je dodana određena količina demineralizirane vode. Kontrolni uzorak pripremljen je na isti način samo bez dodatka tropa aronije u kukuruznu krupicu.

Nakon provedenog miješanja u laboratorijskom mikseru, zamjesi su zapakirani u vrećice i takvi čuvani u rashladnom uređaju preko noći na 4 °C kako bi došlo do ravnomjernog rasporeda vlage u svim uzorcima (Jozinović, 2015.).



Slika 9 Laboratorijski mlin (IKA MF10)

3.3.2. Ekstruzija

Pripremljeni zamjesi podvrgnuti su ekstruziji u jednopužnom laboratorijskom ekstruderu 19/20 DN, Brabender GmbH, Duisburg, Njemačka (**Slika 10**), pri sljedećem režimu:

- puž 4:1;
- sapnica: 4 mm;
- temperaturni profil: 135/170/170 °C.



Slika 10 Laboratorijski jednopužni ekstruder Brabender 19/20 DN (Jozinović, 2015.)

Nakon provedenog procesa ekstruzije dobiveni proizvodi su podvrgnuti sušenju na sobnoj temperaturi preko noći. Dio osušenih ekstrudata je zapakiran u vrećice sa zatvaračem te spremljen za određivanje fizikalnih svojstava, dok je preostali dio samljeven, na laboratorijskom mlinu IKA MF10 uz upotrebu sita otvora veličine 2 mm, te kao takav korišten u daljnjim analizama (Jozinović, 2015.).

3.3.3. Određivanje fizikalnih svojstava

3.3.3.1 Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO)

Pomičnim mjerilom (u milimetrima) se određuje ekspanzijski omjer tako da se ekspandiranim suhim ekstrudatima izmjeri dijametar. Za svaki ekstrudirani uzorak provedeno je pet paralelnih mjerenja te se nakon toga izračuna ekspanzijski omjer koji predstavlja vrijednost omjera dijametra ekstrudata i dijametra sapnice ekstrudera (4 mm) (**1**) (Brnčić i sur., 2008.).

Dobiveni rezultati izraženi su kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije mjerenja i prikazani su grafički (Jozinović, 2015.)

$$EO = \frac{d_e}{d_s} \quad \textbf{(1)}$$

EO – ekspanzijski omjer,

de – promjer ekstrudata [mm],

ds – promjer sapnice [mm].

3.3.3.2 Nasipna masa ekstrudata (BD)

Prema metodi Alvarez-Martinez i sur. (1988.) provedeno je određivanje nasipne mase pri čemu se nasipna masa ekstrudata računa prema formuli (**2**):

$$BD = \frac{4\,m}{\pi d^2 L} \quad (\textbf{2})$$

BD – nasipna masa ekstrudata [gcm^{-3}],

m – masa ekstrudata [g],

d – promjer ekstrudata [cm],

L – dužina ekstrudata [cm].

3.3.3.3 Tekstura ekstrudata (tvrdoća i lomljivost)

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, Velika Britanija (**Slika 11**), uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće (N) i lomljivosti (mm) štapića pomoću noža. Maksimalna sila koja je potrebna da bi se štapić prelomio na 2 dijela zove se tvrdoća. Lomljivost se određuje iz udaljenosti u trenutku loma i predstavlja otpor uzorka prema savijanju. Veliku vrijednost lomljivosti ima onaj uzorak koji puca pri vrlo maloj udaljenosti. Mjerenje je provedeno u 10 paralelnih mjerenja, a rezultati su izraženi kao srednja vrijednost i standardna devijacija te su prikazani grafički.

Ekstrudati su podvrgnuti sljedećem testu:

- brzina prije mjerenja: 1,0 mms^{-1},
- brzina za vrijeme mjerenja: 1 mms^{-1},
- brzina nakon mjerenja: 10 mms^{-1},
- put noža: 3 mm (Jozinović, 2015.).



Slika 11 Analizator teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System (Jozinović, 2015.).

3.3.3.4 Boja zamjesa i ekstrudata

Boja samljevenih ekstrudata i neekstrudiranih smjesa brašna određena je pomoću kromametra Konica Minolta CR-400 (**Slika 12**) s nastavkom za praškaste materijale. Prije mjerenja boje u sustavu CIELab kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je pet mjerenja u sustavu CIELab te su određene srednja vrijednost i standardna devijacija, a rezultati su prikazani tablično.



Slika 12 Kromametar Konica Minolta CR-400 (Jozinović, 2015.)

Ukupna promjena boje računata je prema formuli (**3**):

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

pri čemu parametri s indeksom „0“ označavaju vrijednosti boje za kontrolni neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice (Jozinović, 2015.).

Tablica 2 Veza između ljudske percepcije i izračunate ukupne promjene boje (ΔE) (Bucić-Kojić, 2008.)

Ljudska percepcija	ΔE
Nije vidljiva razlika	<0,2
Vrlo mala vidljivost razlike	0,2 – 1
Mala vidljivost razlike	1 – 3
Prosječna vidljivost razlike	3 – 6
Velika vidljivost razlike	>6

3.3.3.5. Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI)

Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) određeni su prema metodi za žitarice (Anderson i sur., 1969.).

Izvaganih 2,5 g prethodno samljevenog uzorka stavi se u tariranu kivetu za centrifugiranje, volumena 50 mL. Potom se doda po 30 mL destilirane vode, na način da se stjenke kivete isperu, nakon čega se uzorci ostave 30 minuta stajati uz povremeno miješanje, svakih 5 minuta.

Poslije toga centrifugiraju se uzorci pri 3000 okretaja min^{-1} tijekom 15 minuta. Supernatant se po završetku centrifugiranja dekantira u prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje nakon čega se suši na 105 °C do konstantne mase.

WAI je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici suhe tvari početnog uzorka, a računa se prema formuli (**4**).

$$WAI\ [gg^{-1}] = \frac{masa\ gela}{masa\ suhe\ tvari\ u\ početnom\ uzorku} \qquad \textbf{(4)}$$

WSI predstavlja masu suhe tvari u supernatantu, izraženu kao postotak suhe tvari u početnom uzorku, a računa se prema formuli (**5**).

$$WSI\ [\%] = \frac{masa\ suhe\ tvari\ u\ supernatantu}{masa\ suhe\ tvari\ u\ početnom\ uzorku}\ x\ 100 \qquad \textbf{(5)}$$

3.3.3.6. Udio netopljivih, topljivih i ukupnih prehrambenih vlakna

Metoda se zasniva na enzimskoj hidrolizi materijala primjenom termostabilne α-amilaze, proteaze i amiloglukozidaze. Udio netopljivih prehrambenih vlakana određuje se gravimetrijski nakon filtracije, dok se topljiva vlakna izdvajaju taloženjem iz dobivenog filtrata uz dodatak četverostrukog volumena etanola nakon čega se kvantificiraju gravimetrijski nakon filtracije.

Masa netopljivih vlakana i topljivih vlakana određuje se iz razlike konstantne mase lončića s talogom te opranog i ižarenog lončića s pomoćnim filtracijskim sredstvom, dok se udio istih računa prema formuli **(6)**. Udio ukupnih prehrambenih vlakana (UV) dobije se kao zbroj korigiranih vrijednosti za netopljiva i topljiva vlakna **(7)**.

$$NV(TV)\ [\%] = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} - p - A - B}{\frac{m_1+m_2}{2}}\ x\ 100 \qquad \textbf{(6)}$$

$$UV[\%] = NV + TV \qquad \textbf{(7)}$$

gdje je: R_1 i R_2 – masa ostatka (vlakana) iz uzorka m1 i m2 [g],

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

p – masa proteina iz ostatka R1 [g],

A – masa pepela iz ostatka R2 [g],

B – slijepa proba (**8**) [g].

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BP - BA \qquad \textbf{(8)}$$

gdje je: *BR* – masa ostatka slijepe probe [g],

BP – masa proteina iz BR_1 [g],

BA – masa pepela iz BR_2 [g] (Jozinović, 2015.).

3.3.3.7. Udio ukupnih polifenola (PPO) i antioksidativna aktivnost (AA)

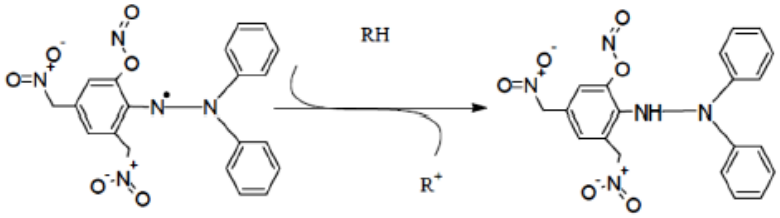
Metoda se temelji na kolorimetrijskoj reakciji Folin-Ciocalteuovog reagensa s nekim reducirajućim reagensom (polifenolni spojevi). Folin-Ciocalteauov reagens (smjesa fosfovolframove i fosfomolibden kiseline) reagira s fenolnom grupom iz uzorka uslijed čega fenolne grupe oksidiraju do kinona, dok se Folin-Ciocalteauov reagens reducira do plavo obojenih volframovih i molibdenovih oksida. Nakon dva sata reakcije, u kojoj svi polifenolni spojevi izreagiraju s Folin-Ciocalteauovim reagensom, spektrofotometrijski se odredi intenzitet nastalog plavog obojenja na 725 nm, pri čemu je intenzitet obojenja proporcionalan udjelu polifenolnih spojeva u ispitivanom uzorku (Prior i sur., 2005.; Everette i sur., 2010.).

Određivanje udjela ukupnih polifenola provedeno je prema metodi Wang i Ryu (2013.). Na izvaganih 1 g uzorka se provede ekstrakcija s 10 mL otopine metanol:voda (80:20 v/v) pri sobnoj temperaturi u trajanju od 2 h. Nakon toga uzorci se profiltriraju kroz Whatman-ov filter, a dobiveni ekstrakt koristi se za određivanje ukupnih polifenola i antioksidativne aktivnosti.

Uzme se alikvot (300 µL) ekstrakta u koji se doda 1,5 mL svježe razrijeđenog (10 puta) Folin-Ciocalteuovog reagensa. Otopina se ostavi stajati 5 min, nakon čega se doda 1,5 mL otopine natrijeva karbonata (60 gL^{-1}). Tako pripremljeni uzorci ostave se stajati 90 min na sobnoj temperaturi, nakon čega se mjeri apsorbancija razvijenog plavog obojenja na 725 nm, koristeći 80 %-tni metanol kao slijepu probu. Analizu je potrebno provesti u dva paralelna mjerenja, a udio ukupnih polifenola u uzorcima izražen je u mg ekvivalenata galne kiseline (engl. *gallic acid equivalents*; GAE) u 100 g suhe tvari uzorka.

Određivanje antioksidativne aktivnosti provodi se DPPH metodom. Uklanjanje slobodnih radikala primarni je mehanizam djelovanja antioksidansa u hrani stoga je na temelju toga razvijeno nekoliko metoda pomoću kojih se može odrediti antioksidativna aktivnost koja se temelji na uklanjanju sintetskih radikala u polarnom organskom otapalu (npr. metanolu) pri sobnoj temperaturi. One koje su najčešće, koriste 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) i 2,2'-azinobis (3-etilbenztiazolin-sulfonska kiselina) (ABTS) radikale (Jozinović, 2011.).

Metoda DPPH temelji se na redukciji slobodnih DPPH radikala antioksidansom koji služi kao donor atoma vodika ili elektrona **(Slika 13)**. DPPH radikal radi nesparenog elektrona pokazuje jaku apsorpciju u vidljivom dijelu spektra, dok u prisutnosti elektron donora - RH dolazi do stabilizacije DPPH radikala sparivanjem elektrona te do promjene ljubičaste boje (oksidirani oblik radikala) otopine u žutu (reducirani oblik radikala), što se detektira spektrofotometrijski pri valnoj duljini 517 nm (Brand-Williams i sur., 1995.).



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

Određivanje antioksidativne aktivnosti DPPH metodom provedeno je prema metodi Wang i Ryu (2013.) na način da se uzme 200 µL ekstrakta pripremljenog tijekom analize ukupnih polifenola te se doda 3,9 mL svježe pripremljene otopine DPPH u metanolu (0,1 mM). Tim postupkom pripremljena otopina intenzivno se promiješa i ostavi na sobnoj temperaturi u tamnom tijekom 30 min te se izmjeri apsorbancija na 517 nm. Kontrola je provedena upotrebom 80 %-tnog metanola umjesto ekstrakta. Postotak inhibicije DPPH radikala izračunat je prema formuli **(9):**

$$\%\ inhibicije = \frac{A_0 - A_u}{A_0}\ x\ 100 \qquad \textbf{(9)}$$

gdje je: A_0 – apsorbancija kontrole,

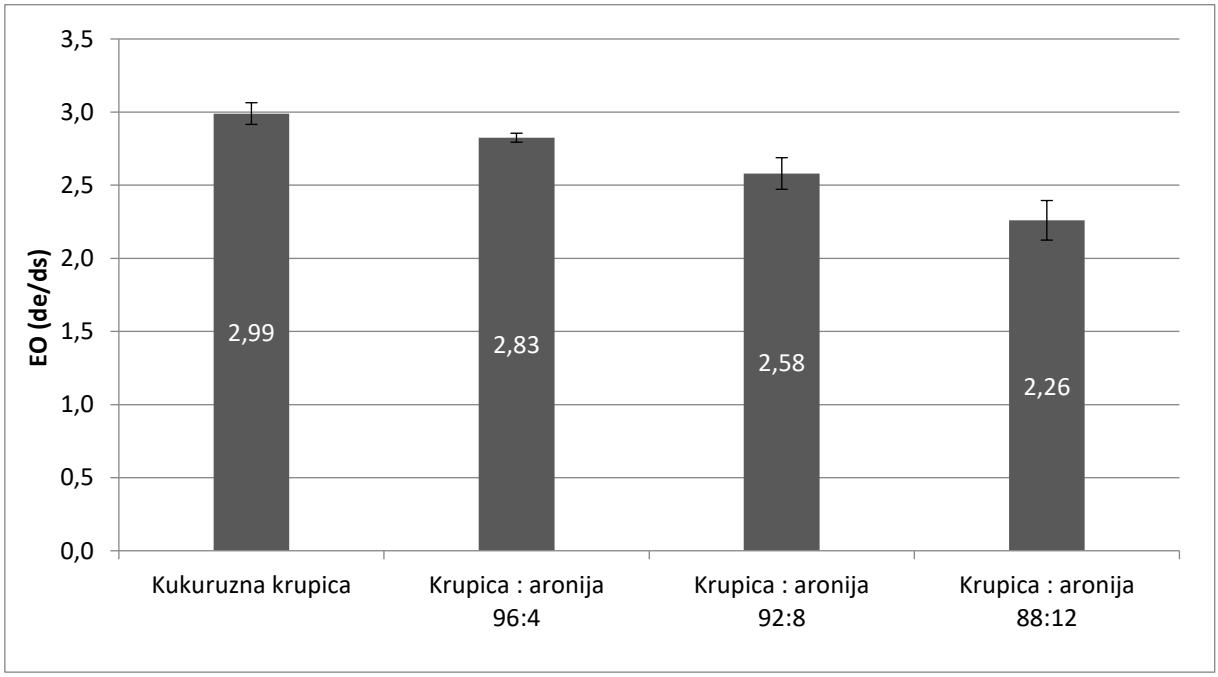
A_u – apsorbancija uzorka.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA

4.1.1. Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO)

Na **Slici 14** vidljiv je utjecaj dodatka tropa aronije u omjerima od 4, 8 i 12 %. Iz dobivenih rezultata je vidljivo da se ekspanzijski omjer smanjuje proporcionalno količini dodanog tropa aronije. Objašnjenje ovakvih rezultata se pripisuje povećanju udjela prehrambenih vlakana u ekstrudiranim snack proizvodima iz razloga što je primijećeno da prehrambena vlakna imaju veću sposobnost vezanja vode u odnosu na škrob pa samim time smanjuju gubitak vode pri izlazu iz proizvoda kroz sapnicu što direktno utječe na ekspanzijski omjer proizvoda te je to i dokazano u istraživanju (Abu-hardan i sur., 2011.).

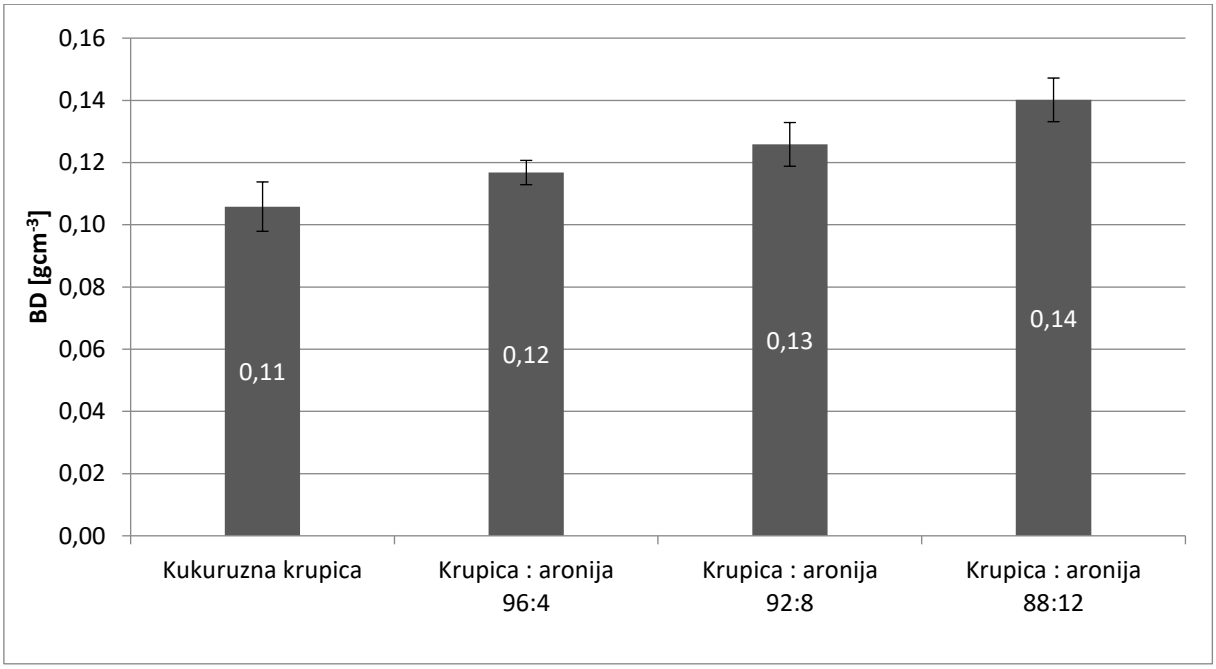


Slika 14 Utjecaj dodatka tropa aronije na ekspanzijski omjer (EO) kukuruznih ekstrudata

4.1.2. Nasipna masa ekstrudata (BD)

Nasipna masa od iznimne je važnosti kod procjene fizikalne kvalitete ekstrudata jer ona daje podatak o tome kolika masa zauzima određeni volumen. Kod ekstrudiranih snack proizvoda poželjno je da nasipna masa ima što niže vrijednosti jer to znači da ako je masa manja ona obrnuto proporcionalno zauzima veći volumen. Ekspanzijski omjer daje podatke samo o poprečnoj ekspanziji, dok nasipna masa pokazuje ekspanziju u svim smjerovima (Meng i sur., 2010.).

Grafički prikaz na **Slici 15** prikazuje utjecaj dodatka 4, 8 i 12 % tropa aronije u ekstrudirane kukuruzne proizvode. Iz grafičkog prikaza je vidljivo da se vrijednost nasipne mase povećava dodatkom tropa aronije što je i sukladno istraživanju Bisharat i sur. (2013.) jer kao posljedica povećanja udjela vlakana dolazi do puknuća stanične stijenke što posljedično dovodi do povećanja nasipne mase.



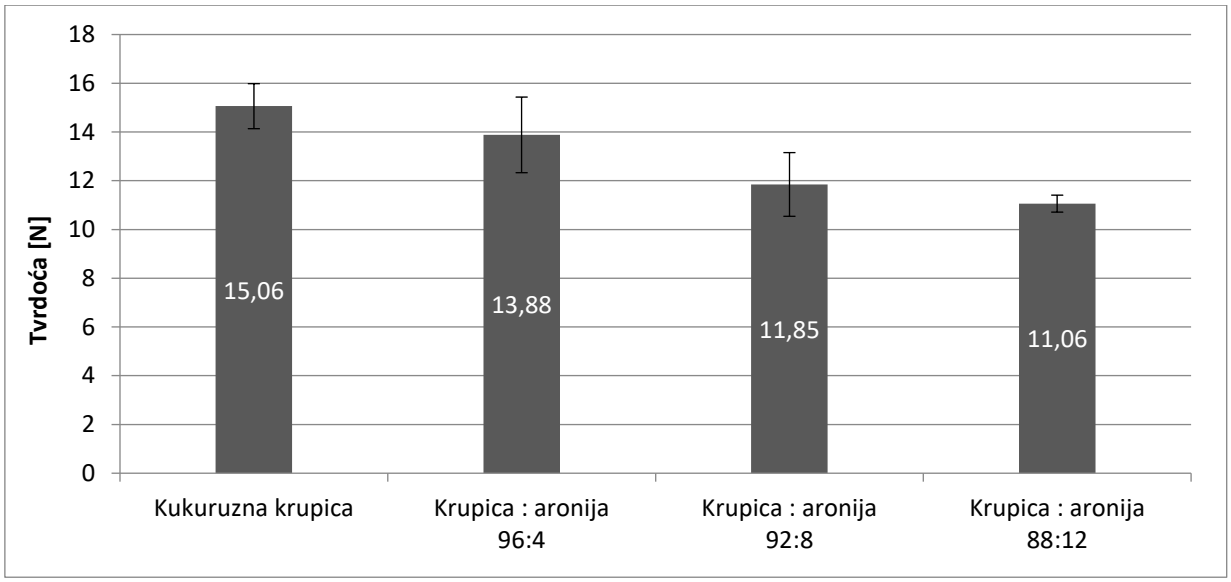
Slika 15 Utjecaj dodatka tropa aronije na nasipnu masu (BD) kukuruznih ekstrudata

4.1.3. Tekstura (tvrdoća i lomljivost) ekstrudata

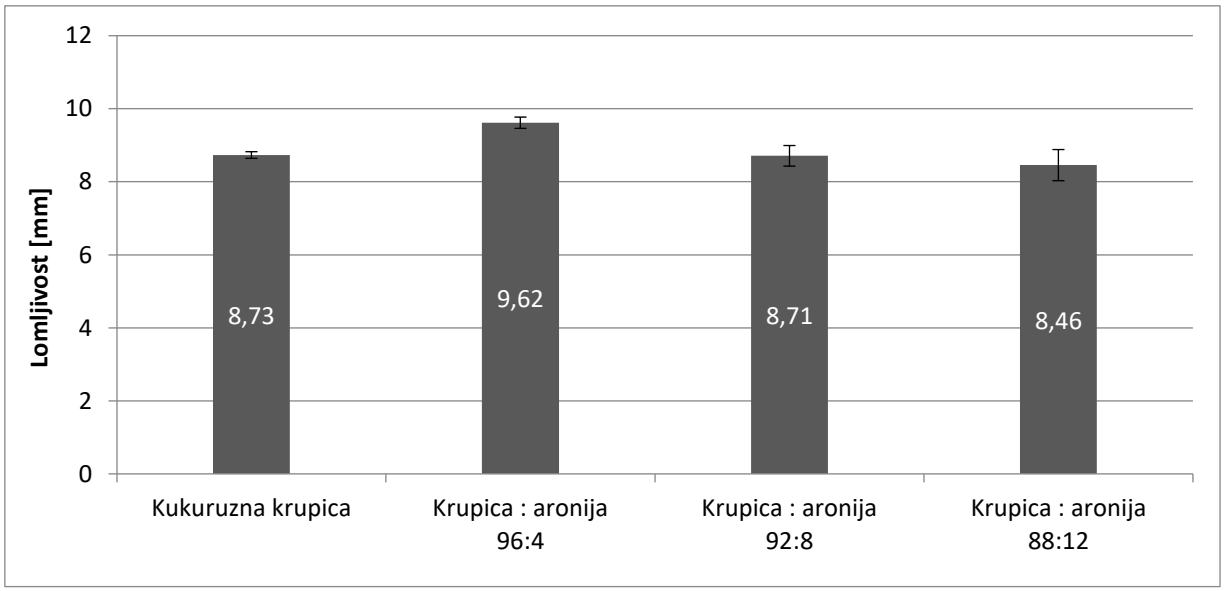
Mjerenjem teksture ekstrudata pomoću analizatora teksture imitiraju se uvjeti žvakanja i pokazuju se izvrsne korelacije sa senzorskim procjenama teksture (Paula i Conti-Silva, 2014.).

Određivanjem teksture dobiveni su podaci za tvrdoću i lomljivost. Podaci za tvrdoću prikazani su na **Slici 16**, a podaci za lomljivost prikazani su na **Slici 17**. Brojnim istraživanjima dokazano je kako se tekstura ekstrudiranih proizvoda mijenja ovisno o ekspanziji i nasipnoj masi (Anton i sur., 2009.; Stojceska i sur., 2009.; Zhu i sur., 2010.), te je isto i potvrđeno ovim istraživanjem.

Na grafičkim prikazima ovog istraživanja je vidljivo da je dodatkom 4, 8 i 12 % tropa aronije došlo do smanjenja tvrdoće, a lomljivost ekstrudata se nije značajno promijenila u odnosu na proizvode od kukuruzne krupice.



Slika 16 Utjecaj dodatka tropa aronije na tvrdoću kukuruznih ekstrudata



Slika 17 Utjecaj dodatka tropa aronije na lomljivost kukuruznih ekstrudata

4.1.4. Boja zamjesa i ekstrudata

U **Tablici 3** prikazani su rezultati mjerenja utjecaja procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruzna kupica : aronija, određenu kromametrom u CIELab sustavu. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da postoji značajna razlika između neekstrudiradih i ekstrudiranih uzoraka. Usporedbom neekstrudirane kukuruzne krupice s ekstrudiranom, za vrijednost parametra L*

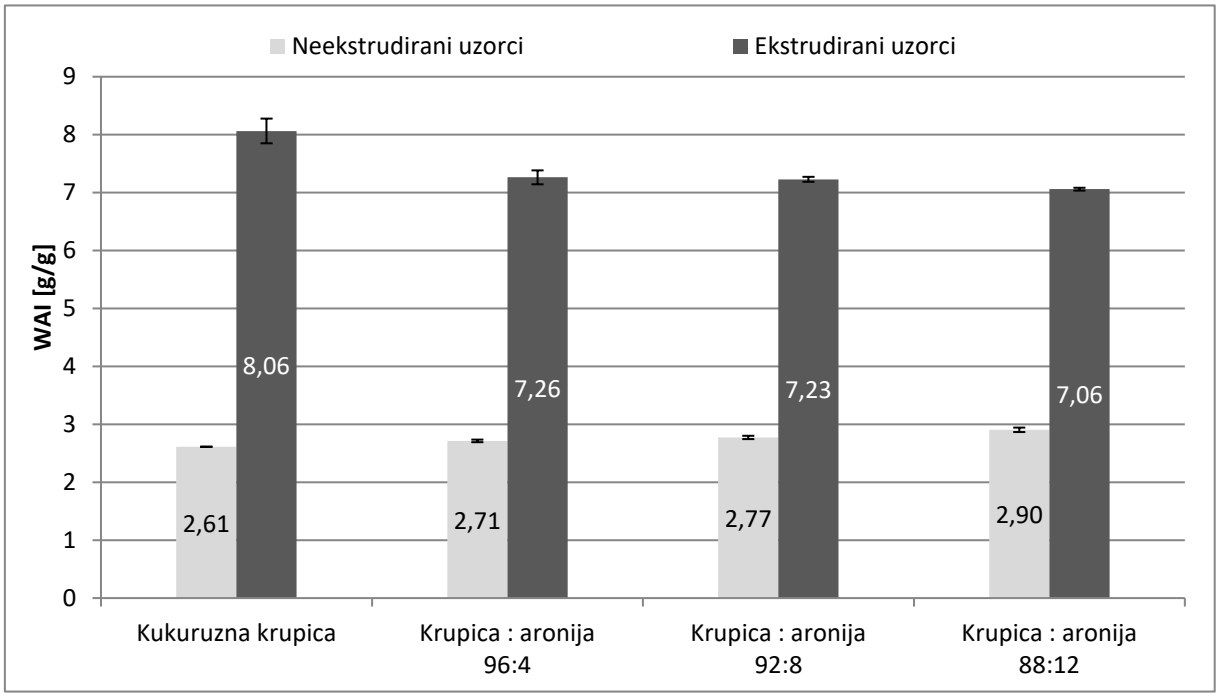
koji daje podatke o svjetlini može se vidjeti da je došlo do rasta vrijednosti, odnosno posvjetljenja. Usporedbom neekstrudiranih smjesa kukuruzne krupice i aronije u udjelima od 4, 8, 12 % i ekstrudiranih uzoraka, može se vidjeti da je došlo do pada vrijednosti parametra L*, što ukazuje na to da je došlo do potamnjivanja ovih uzoraka nakon provedene ekstruzije. U oba slučaja vrijednost parametra L* bile su najmanje kod smjesa kukuruzna krupica : aronija 88:12, što pokazuje da dodatak aronije utječe na potamnjivanje uzoraka. Vrijednosti parametra a* za ekstrudiranu krupicu je negativna, što znači da je u domeni zelene boje, dok su vrijednosti preostalih uzoraka bile pozitivne, što ukazuje da ulaze u domenu crvene boje. Vrijednost parametra b* najviša je kod neekstrudiranog uzorka kukuruzne krupice (47,22 ± 0,04), a b* vrijednosti su se snižavale dodatkom aronije u krupicu u svim uzorcima te je to rezultat degradacije žutih pigmenata i neenzimskog posmeđivanja koje se odvija prilikom ekstruzije (Liu i sur., 2000.). Pozitivne vrijednosti svih uzoraka upućuju na to da spadaju u domenu žute boje.

Tablica 3 Utjecaj dodatka tropa aronije u kukuruznu krupicu na boju zamjesa

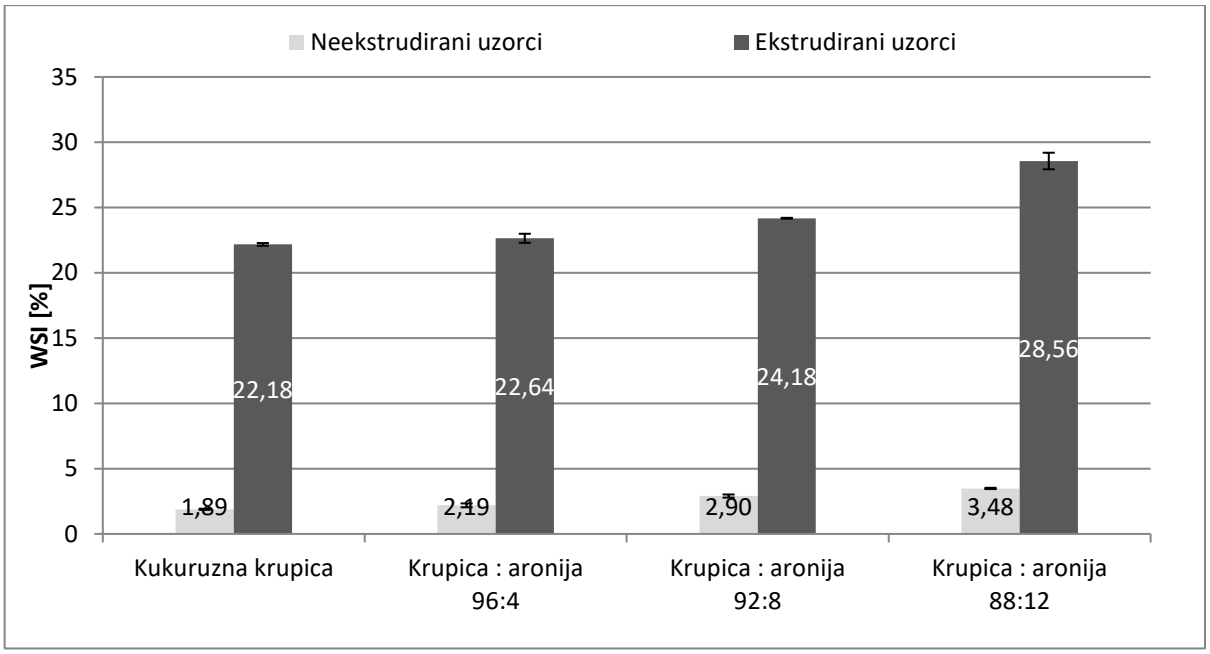
Uzorak	**NEEKSTRUDIRANI**			
	L*	**a***	**b***	**ΔE**
Kukuruzna krupica	80,64 ± 0,02	1,00 ± 0,06	47,22 ± 0,04	
Krupica : aronija 96:4	65,42 ± 0,04	1,12 ± 0,07	29,70 ± 0,10	23,20
Krupica : aronija 92:8	53,48 ± 0,03	1,53 ± 0,07	19,19 ± 0,09	38,46
Krupica : aronija 88:12	48,35 ± 0,04	3,10 ± 0,06	16,33 ± 0,04	44,73
Uzorak	**EKSTRUDIRANI**			
	L*	**a***	**b***	**ΔE**
Kukuruzna krupica	82,49 ± 0,02	-2,53 ± 0,06	45,13 ± 0,02	4,51
Krupica : aronija 96:4	54,83 ± 0,04	7,21 ± 0,05	15,29 ± 0,01	41,52
Krupica : aronija 92:8	49,22 ± 0,03	9,60 ± 0,04	10,44 ± 0,04	49,12
Krupica : aronija 88:12	44,48 ± 0,34	10,19 ± 0,04	7,93 ± 0,02	54,18

4.1.5. Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI)

Na **Slici 18** prikazane su vrijednosti utjecaja dodatka tropa aronije i postupka ekstruzije na indeks apsorpcije vode te je vidljivo je da je indeks apsorpcije kod ekstrudirane kukuruzne krupice veći nego kod ekstrudiranih smjesa kukuruzne krupice i aronije, što znači da se dodatkom aronije indeks apsorpcije vode smanjuje. Vrijednosti indeksa apsorpcije vode za ekstrudirane smjese značajno su više nego u usporedbi s neekstrudiranim smjesama kukuruzne krupice i aronije. Vrijednosti indeksa topljivosti u vodi za neekstrudirane i ekstrudirane uzorke prikazane su na **Slici 19**. Sa slike je vidljivo je da dodatak aronije u neekstrudiranu krupicu kod oba uzorka povećava indeks topljivosti u vodi, dok postupak ekstruzije pokazuje značajan utjecaj na povećanje vrijednosti indeksa topljivosti u vodi. Povećanje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topivosti u vodi (WSI) nakon provedenog procesa ekstruzije utvrđeno je istraživanjima Jozinović i sur. (2012a., 2012b.) te je to u skladu s rezultatima ovog istraživanja.



Slika 18 Utjecaj dodatka tropa aronije te postupka ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI) kukuruznih zamjesa i ekstrudata



Slika 19 Utjecaj dodatka tropa aronije te postupka ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI) kukuruznih zamjesa i ekstrudata

4.1.6. Udio ukupnih polifenola (PPO) i antioksidativna aktivnost (AA)

U **Tablici 4** prikazan je utjecaj dodatka tropa aronije i postupka ekstruzije na udio ukupnih polifenola kao i na antioksidativnu aktivnost. Aronija je bogata polifenolima stoga je dodatak tropa aronije značajno utjecao na povećanje udjela PPO kao i na antioksidativnu aktivnost. Najviše vrijednosti PPO zamijećene su kod zamjesa s 12% tropa aronije (320,30 ± 0,41 mg GAE/100 g s. tv.), dok je i vrijednost za antioksidativnu aktivnost bila najviša (75,06 ± 0,58 % DPPH). Vrijednosti PPO kod kukuruzne krupice bez dodatka tropa aronije je 52,35 ± 0,80 mg GAE/100 g s. tv. te vrijednost za antioksidativnu aktivnost 17,29 ± 0,17 % DPPH. Najniže vrijednosti u zamjesima s aronijom su u smjesi s 4 % dodatka tropa aronije s vrijednostima PPO 161,18 ± 1,33 mg GAE/100 g s. tv. i antioksidativnom aktivnošću 51,06 ± 0,98 % DPPH. Proces ekstruzije uzrokovao je smanjenje vrijednosti PPO kod svih uzoraka te se isto dogodilo i s vrijednostima antioksidativne aktivnosti. Iz prikazanih rezultata vidljivo je da je najviša vrijednost za PPO kod smjese s 12 % tropa aronije (141,64 ± 1,06 mg GAE/100 g s. tv.) i najviša vrijednost za antioksidativnu aktivnost (54,62 ± 0,46 % DPPH). S druge strane, najniža vrijednost za PPO kod ekstrudiranih proizvoda s aronijom zabilježena je kod smjese s 4 % tropa aronije (79,23 ± 0,80 mg GAE/100 g s. tv) i vrijednost antioksidativne aktivnosti (27,51 ± 0,29 % DPPH). U istraživanjima (Anton i sur., 2009.; Sarawong i sur., 2014.; Wang i Ryu, 2013.)

utvrđeno je da se udio polifenola smanjuje tijekom postupka ekstruzije te je to u skladu s rezultatima ovog istraživanja.

Tablica 4 Udio ukupnih polifnola (PPO) i antioksidativna aktivnost (AA) u zamjesima i ekstrudiranim uzorcima s dodatkom tropa aronije

Uzorak	NEEKSTRUDIRANI	
	PPO [mg GAE/ 100 g s. tv.]	AA [% DPPH]
Kukuruzna krupica	52,35 ± 0,80	17,29 ± 0,17
Krupica : aronija 96:4	161,18 ± 1,33	51,06 ± 0,98
Krupica : aronija 92:8	245,30 ± 0,40	67,42 ± 0,52
Krupica : aronija 88:12	320,30 ± 0,41	75,06 ± 0,58
Uzorak	EKSTRUDIRANI	
	PPO [mg GAE/ 100 g s. tv.]	AA [% DPPH]
Kukuruzna krupica	52,91 ± 0,80	18,11 ± 0,06
Krupica : aronija 96:4	79,23 ± 0,80	27,51 ± 0,29
Krupica : aronija 92:8	133,74 ± 0,27	47,42 ± 0,12
Krupica : aronija 88:12	141,64 ± 1,06	54,62 ± 0,46

4.1.7. Udio netopljivih, topljivih i ukupnih prehrambenih vlakna

Iz dobivenih rezultata navedenih u **Tablici 5** vidljivo je kako se povećanjem udjela dodanog nusproizvoda tropa aronije u zamjes udio NV i TV proporcionalno povećava, pri čemu je najviša vrijednost za NV uočena kod smjese krupica : aronija 88:12 (14,02 ± 0,24 % s.tv.) te vrijednost TV (1,35 ± 0,11 % s.tv.) kod iste neekstrudirane smjese. Proces ekstruzije utjecao je na vrijednosti za netopljiva prehrambena vlakna na način da su se vrijednosti smanjile, no još uvijek je najveća vrijednost zabilježena kod ekstrudiranih proizvoda s dodatkom 12 % tropa aronije. Vrijednosti za NV kod ekstrudiranih proizvoda iznose upola manje nego kod neekstrudiranih (7,45 ± 0,34 % s.tv.), dok su vrijednosti za TV nakon procesa ekstruzije veće nego prije procesa ekstruzije i također je najviša vrijednost zabilježena kod smjese s 12 % tropa aronije i iznosi 1,76 ± 0,17 % s. tv. U prijašnjim istraživanjima (Wang i Ryu, 2013.; Vasanthan i

sur., 2002.; Wolf, 2010.) utvrđeno je kako se postupkom ekstruzije uglavnom smanjuje udio netopivih vlakana dok s druge strane dolazi do povećanja udjela topivih vlakana prema tome se postavlja zaključak da tijekom procesa ekstruzije dolazi do transformacije dijela netopljivih u topljiva vlakna.

Tablica 5 Udio ukupnih (UV), topljivih (TV) i netopljivih (NV) vlakana u sirovinama

Uzorak	**NEEKSTRUDIRANI**		
	NV [% s. tv.]	**TV [% s. tv.]**	**UV [% s. tv.]**
Kukuruzna krupica	4,31 ± 0,20	0,54 ± 0,01	4,85 ± 0,19
Krupica : aronija 96:4	7,20 ± 0,45	0,71 ± 0,05	7,90 ± 0,50
Krupica : aronija 92:8	10,16 ± 0,02	1,19 ± 0,04	11,34 ± 0,06
Krupica : aronija 88:12	14,02 ± 0,24	1,35 ± 0,11	15,38 ± 0,35
Uzorak	**EKSTRUDIRANI**		
	NV [% s. tv.]	**TV [% s. tv.]**	**UV [% s. tv.]**
Kukuruzna krupica	2,11 ± 0,12	0,57 ± 0,05	2,68 ± 0,18
Krupica : aronija 96:4	4,39 ± 0,20	0,78 ± 0,02	5,17 ± 0,22
Krupica : aronija 92:8	5,74 ± 0,24	1,24 ± 0,05	6,98 ± 0,28
Krupica : aronija 88:12	7,45 ± 0,34	1,76 ± 0,17	9,22 ± 0,51

5. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja provedenih u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Ekspanzijski omjer ekstrudata proporcionalno se smanjio ovisno o udjelu dodanog tropa aronije.

2. Dodatkom nusproizvoda tropa aronije došlo je do povećanja nasipne mase ekstrudata.

3. Dodatkom 4, 8 i 12 % tropa aronije došlo do smanjenja tvrdoće, a lomljivost ekstrudata se nije značajno promijenila u odnosu na kontrolni uzorak ekstrudirane kukuruzne krupice.

4. Dodatkom tropa aronije u kukuruznu krupicu došlo je do značajne promjene boje.

5. Proces ekstruzije imao je značajan utjecaj na povećanje indeksa apsorpcije i indeksa topljivosti u vodi, te je zamijećeno da se indeks apsorpcije vode neznatno smanjio nakon provedenog procesa ekstruzije u smjesi s najvećim udjelom tropa aronije.

6. Udio ukupnih polifenola povećao se dodatkom tropa aronije u zamjes te je postupkom ekstruzije došlo je do smanjenja udjela ukupnih polifenola kod svih uzoraka.

7. Antioksidativna aktivnost značajno se povećala dodatkom tropa aronije, te su se nakon provedenog procesa ekstruzije vrijednosti smanjile.

8. Udio prehrambenih vlakana povećao se proporcionalno udjelu dodanog tropa aronije u zamjes, dok je nakon provedenog procesa ekstruzije zabilježeno smanjenje udjela netopljivih te povećanje udjela topljivih prehrambenih vlakana kod svih uzoraka.

6. LITERATURA

Abu-hardan M, Hill SE, Farhat I: Starch conversion and expansion behaviour of wheat starch cooked with either; palm, soybean or sunflower oils in a co-rotating intermeshing twin-screw extruder. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(2):268-274, 2011.

Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Karper JM: A general model for expansion of extruded products*. Journal of Food Science*, 53:609–615, 1988.

Anderson RA, Conway HFM, Pfeiffer VF, Griffin EJ: Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14:4–12, 1969.

Babić J: Materijali s predavanja na kolegiju *„Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“.* Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2011.

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

Bijak M, Bobrowski M, Borowiecka M, Podsedek A, Golanski J, Nowak P: Anticoagulant effect of polyphenols-rich extracts from black chokeberry and grape seeds. *Fitoterapia*, 82(6): 811-817, 2011.

Bisharat GI, Oikonomopoulou VP, Panagiotou, NM, Krokida, MK, Maroulis, ZB: Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53:1-14, 2013.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C: Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28:25-30, 1995.

Brnčić M, Ježek D, Rimac Brnčić S, Bosiljkov T, Tripalo B: Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva izravno ekspandiranog kukuruznog ekstrudata. *Mljekarstvo*, 58(2):131-149, 2008.

Bucić-Kojić A: Utjecaj procesnih uvjeta i načina kruto-tekuće ekstrakcije na ekstraktibilnost fenolnih tvari iz sjemenki grožđa. *Doktorska disertacija.* Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2008.

Camire ME, Camire A, Krumhar K: Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29:35-37, 1990.

Camire ME: Extrusion and nutritional quality. U *Extrusion cooking: Technologies and applications (Guy R, ur.).* Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 108-130, 2001.

Chaplin M: The memory of water; an overview. *Homeopathy*, 96:143,150, 2007.

Drożdż W, Boruczkowska H, Boruczkowski T, Tomaszewska-Ciosk E, Zdybel E: Use of blackcurrant and chokeberry press residue in snack products. *Polish Journal of Chemical Technology*, 21(1), 13–19, 2019.

Handeland M, Grude N, Torp T, Slimestad R: Black chokeberry juice (Aronia melanocarpa) reduces incidences of urinary tract infection among nursing home residents in the long term-a pilot study. *Nutrition Research*, 34: 518–525, 2014.

Huber GR: Twin-Screw Extruders. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 81-114, 2000.

Jozinović A, Šubarić D, Ačkar Đ, Babić J, Klarić I: Influence of buckwheat and chestnut flour addition on properties of corn extrudates. *Croatian Journal of Food Science and Technology,* 4(1):26-33, 2012.a.

Jozinović A, Šubarić D, Ačkar Đ, Babić J, Planinić M, Pavoković M, Blažić M: Effect of screw configuration, moisture content and particle size of corn grits on properties of extrudates. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 4(2):95-101, 2012.b.

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

Jozinović A: Utjecaj ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s heljdinim i kestenovim brašnom. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011.

Kulling SE, Rawel HM: Chokeberry (Aronia melanocarpa)–A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta Medica*, 74(13), 1625–1634, 2008.

Leonard W, Zhang P, Ying D, Fang Z: Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* 19(1), 218–246, 2020.

Liu Y, Hsieh F, Heymann H, Huff HE: Effect of process conditions on the Physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science*, 65(7):1253- 1259, 2000.

Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva* (Lovrić T, ur.). Hinus, Zagreb, 287-299, 2003.

Meng X, Threinen D, Hansen M, Driedger D: Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour – based snack. *Food Research International*, 43:650–658, 2010.

Móscicki L, Wójtowicz A: Raw Materials in the Production of Extrudates. U *Extrusion - Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability* (Móscicki L, ur.). WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 45-63, 2011.

Móscicki L: *Extrusion - Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2011.

Obradović V: Utjecaj temperature i dodataka na fizikalna, kemijska i senzorska svojstva kukuruznih ekstrudata. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2014.

O'Shea N, Arendt EK, Gallagher E: Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:1–10, 2012.

Oszmiański J, Wojdylo A.: Aronia melanocarpa phenolics and their antioxidant activity. *European Food Research and Technology*, 221(6), 809–813, 2005.

Paula AM, Conti-Silva AC: Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121:9-14, 2014.

Popović K: Utjecaj koncentriranja membranskim procesima na tvari boje i arome soka od aronije. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2019.

Prior RL, Wu X, Schaich K: Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:4290-4302, 2005.

Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 1-24, 2000.

Riaz NM: *Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds.* Clenze, Germany, 2007.

Rokey GJ: Single-Screw Extruders. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 25-50, 2000.

Rossen JL, Miller RC: Food extrusion. *Food Technology*, 27:46-53, 1973.

Sarawong C, Schoenlechner R, Sekiguchi K, Berghofer E, Ng PKW: Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 143:33-39, 2014.

Schieber A, Stintzing FC, Carle R: By-products of plant food processing as a source of functional compounds — Recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12:401–413, 2001.

Singh N, Kaur A, Shevkani K: Maize: Grain Structure, Composition, Milling, and Starch Characteristics. U *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses* (Chaudhary DP, Kumar S, Langyan S, ur.). Springer, New Delhi, 65-76, 2014.

Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş: The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food byproducts. *Food Chemistry*, 114:226–232, 2009.

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

Wang YY, Ryu GH: Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO2 injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 58(1):110-116, 2013.

Wawer I: The Power Of Nature : Aronia Melanocarpa, Mae´s *Health and Wellness LLC*, 2010.

Wolf B: Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current opinion in Colloid & Interface Science*, 15:50-54, 2010.

Yağcı S, Göğüş F: Effect of incorporation of various food by-products on some nutritional properties of rice-based extruded foods. *Food Science and Technology International*, 15(6):571-581, 2010.

Zhu LJ, Shukri R, de Mesa-Stonestreet NJ, Alavi S, Dogan H, Shi YC: Mechanical and microstructural properties of soy protein-high amylase corn starch extrudates in relation to physicochemical changes of starch during extrusion: *Journal of Food Engineering*, 100:232-238, 2010.