

# Svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom tropa starih sorti jabuka

---

Tešanov, Ena

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:109:028854>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International / Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Ena Tešanov**

**SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA S DODATKOM TROPA STARIH  
SORTI JABUKA**

**DIPLOMSKI RAD**

Osijek, srpanj, 2024.

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

**Sveučilišni diplomski studij Prehrambeno inženjerstvo**

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija

**Nastavni predmet:** Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda

**Tema rada:** je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 22. svibnja 2023.

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. *Antun Jozinović*

**Komentor:** izv. prof. dr. sc. *Ante Lončarić*

**Svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom tropa starih sorti jabuka**

*Ena Tešanov, 0113145542*

**Sažetak:**

Kao glavna sirovina za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda koristi se kukuruzna krupica, a u nju se mogu dodavati neke druge sirovine kako bi se poboljšala nutritivna vrijednost ekstrudata. Cilj ovoga rada je ispitati svojstva ekstrudata koji su nastali iz smjese kukuruzna krupica : trop starih sorti jabuka u omjerima 96 : 4, 92 : 8, 88 : 12. Smjese vlažnosti 15 % ekstrudirane su pri temperaturnom profilu 135/170/170 °C. Ekstrudatima su se određivali sljedeći parametri: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, tvrdoća i lomljivost, indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi, udio ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost. Provedbom istraživanja utvrđeno je da se smanjio ekspanzijski omjer ekstrudata, dok se nasipna masa povećala. Došlo je do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti ekstrudata. Uzorci su potamnili te se smanjila zasićenost boje dodatkom tropa starih sorti jabuka i procesom ekstruzije. Indeks apsorpcije i indeks topljivosti u vodi su se povećali procesom ekstruzije. Udio polifenola i antioksidansa se povećava dodatkom tropa starih sorti jabuka, ali se smanjuje procesom ekstruzije. Ekstruzijom se smanjuju vrijednosti viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C te su retrogradaciji bili manje skloni ekstrudirani uzorci.

**Glavne riječi:** ekstruzija, kukuruzna krupica, trop jabuke

**Rad sadrži:** 47 stranica  
 22 slike  
 4 tablice  
 0 priloga  
 41 literaturnu referencu

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Sastav povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

- |                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. prof. dr. sc. Jurislav Babić       | Predsjednik     |
| 2. izv. prof. dr. sc. Antun Jozinović | član – mentor   |
| 3. izv. prof. dr. sc. Ante Lončarić   | član – komentor |
| 4. prof. dr. sc. Đurđica Ačkar        | zamjena člana   |

**Datum obrane:** 5. srpnja 2024.

**Rad je u tiskanom i elektoničkom (pdf formatu) 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 carbohydrates and confectionary products

**Thesis subject:** was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. held on May 22, 2023.

**Mentor:** *Antun Jozinović*, PhD, associate prof.

**Co-mentor:** *Ante Lončarić*, PhD, associate prof.

### Properties of Corn Extrudates with the Addition of Apple Pomace of Old Apple Varieties

*Ena Tešanov, 0113145542*

### Summary:

Corn meal is used as the main raw material for the production of extruded products, and some other raw materials can be added to it in order to improve the nutritional value of the extrudates. The aim of this work is to examine the properties of the extrudates that were created from the mixture of corn meal and apple pomace of old apple varieties in the proportions 96 : 4, 92 : 8, 88 : 12. Mixtures with a moisture content of 15% were extruded at a temperature profile of 135/170/170 °C. The following parameters were determined with extrudates: expansion ratio, bulk density, color, hardness and fracturability, water absorption index and water solubility index, proportion of total polyphenols and antioxidant activity. Furthermore, it was determined that the expansion ratio of the extrudate decreased, while the bulk density increased. There was an increase in hardness and a decrease in fracturability of extrudates. The samples darkened and the color saturation decreased due to the addition of old apple varieties and the extrusion process. The absorption index and water solubility index increased with the extrusion process. The proportion of polyphenols and antioxidants increases with the addition of apple pomace of old apple varieties, but decreases with the extrusion process. Extrusion reduces the peak viscosity, viscosity at 92 °C and viscosity at 50 °C, and extruded samples were less prone to retrogradation.

**Key words:** extrusion, corn grits, apple pomace

**Thesis contains:** 47 pages  
22 figures  
4 tables  
0 supplements  
41 references

**Original in:** Croatian

### Defense committee:

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. <i>Jurislav Babić</i> , PhD, prof.            | chair person           |
| 2. <i>Antun Jozinović</i> , PhD, associate prof. | Supervisor             |
| 3. <i>Ante Lončarić</i> , PhD, associate prof.   | member – co-supervisor |
| 4. <i>Đurđica Ačkar</i> , PhD, prof.             | stand in               |

**Defense date:** July 5, 2024

**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 izv. prof. dr. sc. Antunu Jozinoviću na prihvaćanju mentorstva te velikoj pomoći pri izradi eksperimentalnog i teorijskog dijela diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se na pomoći pri izradi eksperimentalnog dijela i komentoru izv. prof. dr. sc. Anti Lončariću i tehničarki Danieli Paulik.

Veliko hvala i svim ostalim zaposlenicima Prehrambeno-tehnološkog fakulteta, asistentima i profesorima na prenesenom znanju i susretljivost tijekom studiranja.

Najviše hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i uz brata Ivana, sestru Jelenu, Rafaelu i Stjepana bili najveća podrška. Također, zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama koji su uvijek bili spremni na suradnju, pomoć i koji su mi uljepšali vrijeme studiranja.

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom „Mogućnost iskorištavanja tradicionalnih sorti jabuka za proizvodnju jabuka i soka od jabuka sa smanjenim udjelom patulina“ (UIP-2020-02-8461).

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKI DIO .....	3
2.1. EKSTRUZIJA.....	4
2.1.1. Povijest ekstruzije .....	5
2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji.....	6
2.2. Podjela ekstrudera .....	6
2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada .....	6
2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka u uređaju .....	7
2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja .....	10
2.3. Građa i princip rada ekstrudera .....	11
2.4. Sirovine za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda .....	13
2.4.1. Kukuruz ( <i>Zea mays</i> L.) .....	13
2.4.2. Trop jabuke .....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	17
3.1. Zadatak.....	18
3.2. Materijali .....	18
3.3. Metode.....	18
3.3.1. Priprema uzoraka i provedba ekstruzije smjesa kukuruzne krupice s tropom starih sorti jabuka .....	18
3.3.2. Određivanje ekspanzijskog omjera ekstrudata (EO).....	21
3.3.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata (BD) .....	22
3.3.4. Određivanje boje zamjesa i ekstrudata kromametrom .....	22
3.3.5. Određivanje teksture ekstrudata.....	23
3.3.6. Određivanje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI) zamjesa i ekstrudata .....	24
3.3.7. Određivanje udjela ukupnih polifenola .....	25
3.3.8. Određivanje antioksidativne aktivnosti .....	25
3.3.9. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom .....	26
4. REZULTATI.....	28
5. RASPRAVA.....	35
6. ZAKLJUČCI .....	42
7. LITERATURA .....	44

## **1. UVOD**



Ekstruzija je postupak tijekom kojega se materijal prisilno giba unutar stacionarnog kućišta, pomoću jednog ili dva puža, te po završetku prolazi kroz sapnicu pri čemu postiže svoj konačni oblik. Tako dobiveni proizvod naziva se ekstrudat.

Zbog brojnih prednosti, ekstruzija se danas koristi za proizvodnju raznovrsnih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda kao što su primjerice tjestenina, cerealije, mesne prerađevine, hrana za kućne ljubimce, konditorski proizvodi, proizvodnja proizvoda od plastike itd.

Sirovine koje se koriste tijekom procesa ekstruzije, najčešće su škrobni materijali (npr. kukuruz, pšenica, riža itd.) te je važno poznavati njihovu cijenu, dostupnost i nutritivnu vrijednost. Kako bi se ekstrudiranim proizvodima poboljšala nutritivna vrijednost sve češće se počinju u zamjes dodavati, u određenim udjelima, nusproizvodi prehrambene industrije kao što je primjerice trop jabuke čime se dobiva visoko prihvatljivi snack proizvod što je danas od velike važnosti potrošačima.

Cilj ovog rada bio je ispitati svojstva smjesa kukuruzne krupice i tropa starih sorti jabuka u različitim omjerima, nakon postupka ekstruzije.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. EKSTRUZIJA

Mehanički i termički proces tijekom kojega se s pomoću klipa (stapa) ili prolaskom između jednog ili dva rotirajuća puža unutar stacionarnog kućišta materijal prisilno giba te izlaskom kroz sapnicu poprima specifičan oblik, naziva se ekstruzija ili ekstruzijsko kuhanje (engl. *extrusion cooking*) (Lovrić, 2003.).

Ekstruzija uključuje jedan ili više procesa, a to su:

- aglomeracija – manje čestice se povezuju u veće čestice;
- uklanjanje plinova – primjenom ekstruzije mogu se ukloniti mjehurići zraka iz namirnice, ako ih ona sadrži;
- dehidracija – uklanjanje vlage, može se postići gubitak vlage 4 – 5 %;
- ekspanzija – kontrolom procesnih parametara i konfiguracijom ekstrudera postiže se stupanj ekspanzije;
- želatinizacija – škrobne namirnice tijekom procesa ekstruzije bolje želatiniziraju;
- usitnjavanje – prolaskom materijala kroz ekstruder može doći do usitnjavanja;
- homogenizacija i miješanje;
- pasterizacija i sterilizacija – primjenom različitih temperatura ekstruzije;
- denaturacija proteina – zbog primijenjene temperature dolazi do denaturacije proteina;
- oblikovanje – različiti oblici ovisno o primijenjenoj sapnici;
- promjena teksture namirnica – zbog primijenjenih uvjeta dolazi do različitih fizikalnih i kemijskih promjena;
- kuhanje – termičko tretiranje (Jozinović, 2015.).

Primjenom različitih sirovina tijekom procesa ekstruzijskog kuhanja omogućena je proizvodnja raznovrsnih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda. Neki od najpoznatijih proizvoda su: tjestenina, mesne prerađevine, konditorski proizvodi, cerealije, hrana za kućne ljubimce, proizvodi od plastike, proizvodnja kablova itd. (Jozinović, 2023.).

Prednosti ekstruzije:

- proizvodnja različitih proizvoda promjenom uvjeta rada ekstrudera ili sastojaka;
- raznovrsni oblici, izgledi, boje i teksture dobivenih proizvoda;

- potrebna je relativno mala vlažnost sirovine te je time potrebno utrošiti manje energije za ponovno sušenje dobivenog proizvoda;
- niski troškovi obrade u usporedbi s drugim postupcima termičke obrade i oblikovanja;
- novi prehrambeni proizvodi (raznolike nove i jedinstvene grickalice) se proizvode tijekom procesa ekstruzije modifikacijom proteina, škrobova i drugih prehrambenih materijala;
- visoka produktivnost i automatizirani sustav;
- visoka kvaliteta proizvoda jer se zagrijavanje odvija na visokim temperaturama / kratko vrijeme (HT/ST) i time se minimizira degradacija hranjivih tvari uz poboljšanje probavljivosti proteina i škroba te se smanjuje broj mikroorganizama;
- mala količina nusproizvoda;
- podaci dobiveni na pilot postrojenju mogu se koristiti za lako poboljšavanje procesa proizvodnje ekstruderom;
- u nekim zemljama ekstruderi se koriste kao kontinuirani reaktori te se na takav način deaktiviraju aflatoksini u proizvodima od kikirikija i uklanjaju alergeni i toksični spojevi koji se mogu pronaći u sjemenkama uljarica (Riaz, 2000.).

### 2.1.1. Povijest ekstruzije

Postupci ekstrudiranja primijenjeni su krajem 18. stoljeća u proizvodnji bešavnih cijevi te krajem 19. stoljeća za nadijevanje kobasica. Počeci primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji povezani su s proizvodnjom tjestenine, instant proizvoda na bazi žitarica i snack proizvoda (Lovrić, 2003.).

Najvažnije godine kroz povijest u razvoju ekstruzije:

- 1619. – John Etherington izradio je prvi ručni klipni ekstruder, pomoću kojega se proizvodila cigla;
- 1623. – patent je zaštićen, ali nije stekao veliku popularnost;
- 1797. – Joseph Braham patentirao je klipni ekstruder za izradu cijevi te se slična oprema počela koristiti za izradu pločica, sapuna i makarona, što je predstavljalo prvu primjenu ekstruzije u prehrambenoj industriji;
- 1869. – Fellows i Bates razvijaju prvi kontinuirani dvopužni ekstruder koji je imao primjenu u proizvodnji kobasica;

- 1873. – tvrtka Phoenix Gummiwerke proizvodi jednopužni ekstruder za procesiranje gume;
- 1930. – započinje primjena kontinuiranih jednopužnih ekstrudera u proizvodnji plastike, tjestenine i cerealijske;
- 1950. – ekstruzija je našla primjenu i u proizvodnji hrane za kućne ljubimce (Bender i Böger, 2009.; Riaz, 2000.).

### 2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji

U prehrambenoj industriji primjenjuju se sljedeći postupci ekstruzije:

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

Tijekom postupka hladnog ekstrudiranja (temperatura: 40 – 70 °C, tlak: 60 – 90 bara) ne provodi se zagrijavanje kućišta i sapnice, a hlađenje se provodi po potrebi. Kod postupka želatinizacije (temperatura: 70 – 120 °C, tlak: 70 – 130 bara) kućište ekstrudera i sapnica zagrijavaju se ili hlade kako bi se održala željena temperatura u pojedinim zonama ekstrudera. Tijekom toplog ekstrudiranja (temperatura: 130 – 180 °C, tlak: 120 – 250 bara) odvija se zagrijavanje ili hlađenje kućišta i sapnice kako bi se održala željena temperatura (Jozinović, 2015.).

Ekstruzija se primjenjuje na proizvodima niskog udjela vode, bogatim škrobom ili proteinima, ali novija istraživanja usmjerena su i na uporabu proizvoda s većim udjelom vode (40 – 80 %) (Lovrić, 2003.).

## 2.2. Podjela ekstrudera

Podjela ekstrudera u tehnologiji prehrambenih proizvoda s obzirom na:

- termodinamičke uvjete;
- način stvaranja tlaka u uređaju;
- veličini smicanja (Lovrić, 2003.).

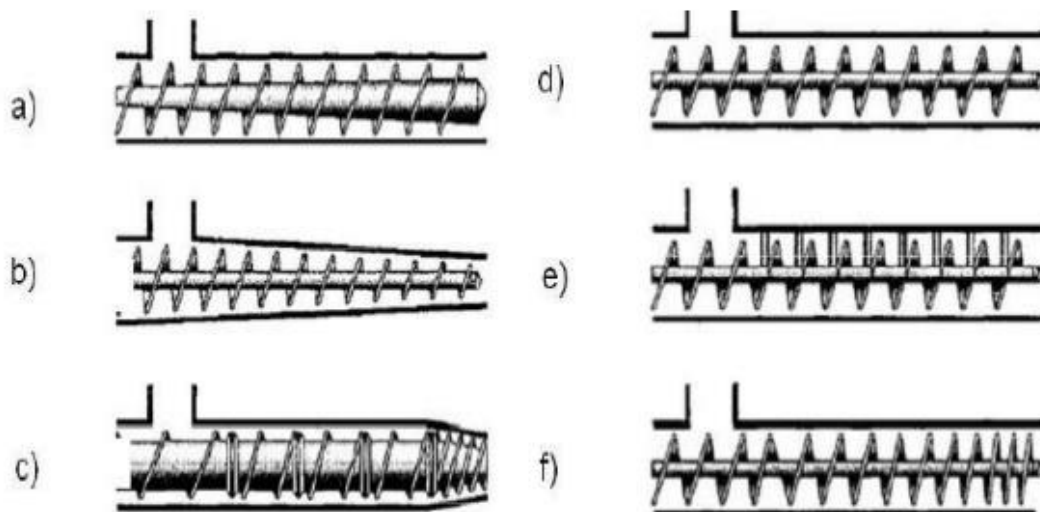
### 2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

- a) Adijabatski (autogeni) ekstruderi – ekstruderi rade pri približno adijabatskim uvjetima; u pravilu se ovdje ne dovodi, ali i ne odvodi toplina. U takvim ekstruderima toplina se razvija pretvorbom mehaničke energije protjecanjem materijala u uređaju;
- b) Izotermni ekstruderi – ekstruderi u kojima se održava konstantna temperatura hlađenjem;
- c) Politropski ekstruderi – ekstruderi koji se upotrebljavaju u prehrambenoj industriji te rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta (Lovrić, 2003.).

### 2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka u uređaju

- a) Ekstruderi viskozno – vlačnog toka (indirektnog tipa) – tip ekstrudera koji se najviše primjenjuje u konditorskoj industriji, a u njemu se materijal tijekom gibanja ponaša kao ne-newtonovski fluid, što utječe na promjenu svojstava ishodišnog materijala i definiranje svojstava gotovog proizvoda;
- b) Ekstruderi pozitivnog tlaka (direktnog tipa) – ekstruderi koji stvaraju pozitivan tlak, a mogu biti:
  - klipni ekstruderi – najjednostavniji tip ekstrudera koji se primjenjuje za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženog kukuruznog čipsa. Sastoji se od klipa koji tlači materijal kroz kućište, pri čemu ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata, u odnosu na ishodišni materijal, su gotovo nepromijenjena;
  - pužni (vijčani) ekstruderi – materijal se viskozno giba između puževa te između puževa i kućišta dolazi do smicanja, oslobađanja topline i materijal se značajno miješa. Veća količina topline se oslobađa što je niža vlažnost materijala i veća sila smicanja. Ovaj tip ekstrudera se primjenjuje u proizvodnji proizvoda kod kojih, u odnosu na ishodišni materijal, nije poželjna značajna promjena ekstrudata. S obzirom na konstrukcijsku izvedbu pužni ekstruderi se dijele u dvije grupe:
    - jednopužni ekstruderi,
    - dvopužni ekstruderi (Pichler, 2020.).

Ovisno o dužini pužnice, dubini žljebova, konfiguraciji puža i prividnoj viskoznosti materijala, jednopužni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova (Lovrić, 2003.). Najčešće konfiguracije puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera prikazane su na **Slici 1**. Glavna mana jednopužnim ekstruderima je slabo miješanje materijala te je zbog toga potrebno miješanje izvršiti prije doziranja u ekstruder. Također, imaju ograničenu učinkovitost kada se koristi mješavina sirovina (Moscicki, 2011.).



**Slika 1** Najčešće konfiguracije puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera:

- a) konstantan promjer kućišta, povišenje promjera pužnice; b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža; c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža; d) konstantan promjer kućišta, konstantna geometrija puža, e) konstantan promjer kućišta sa graničnicima; f) konstantan promjer kućišta, smanjenje „hoda“ puža (Jozinović, 2023.)

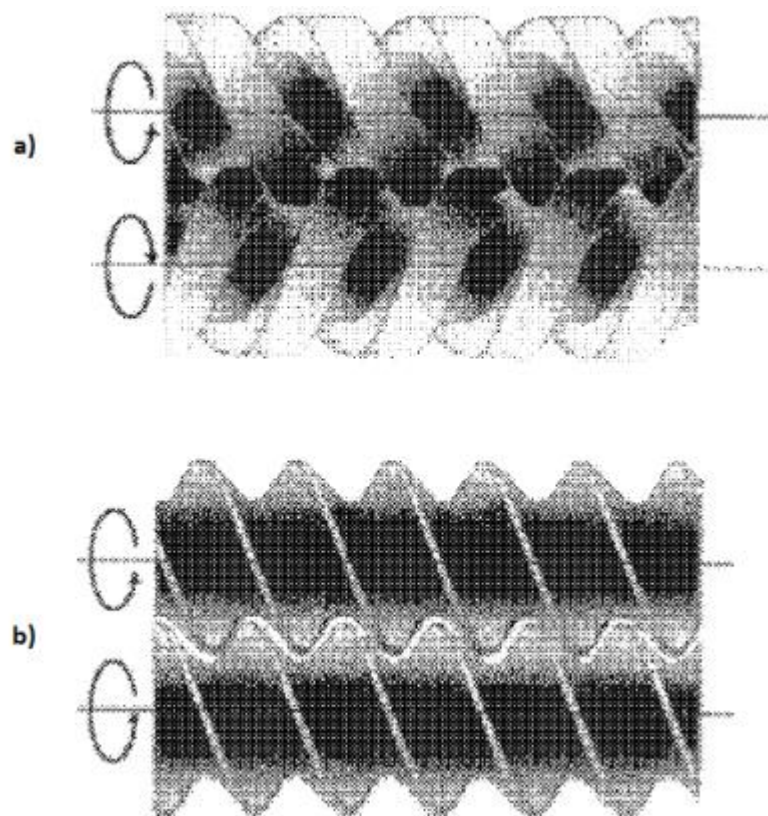
Prednosti dvopužnih ekstrudera u odnosu na jednopužne:

- pulsiranje materijala na izlazu je manje izraženo;
- upotrebljava se za vrlo viskozne, masne, ljepljive ili vrlo vlažne materijale te za druge materijale koji bi proklizali u jednopužnom ekstruderu;
- moguće je procesirati širok raspon materijala s obzirom na veličinu čestica (od finog praha do zrna);
- lagano čišćenje i održavanje zbog svojstva samočišćenja (Riaz, 2000.).

Znatno veća cijena (60 – 100 % u odnosu na jednopužne ekstrudere), složenija instalacija i rad te veća potrošnja energije, predstavljaju glavne nedostatke dvopužnih ekstrudera (Jozinović, 2015.).

S obzirom na smjer kretanja pužnice, dvopužne ekstrudere može se podijeliti u dvije kategorije (Slika 2):

- a) istosmjerni okretaji pužnice (korotirajuće);
- b) suprotni smjer okretaja pužnice (Pichler, 2020.).



**Slika 2** Dvopužni ekstruderi s kretanjem pužnica u suprotnom smjeru (a) i u istom smjeru (b) (Riaz, 2000.)

Korotirajući ekstruderi osiguravaju visoki stupanj prijenosa topline, imaju mehanizam samočišćenja, olakšanu kontrolu zadržavanja materijala u pojedinim segmentima procesa te omogućavaju postizanje ujednačenosti proizvoda.

Ekstruderi sa suprotnim smjerom okretaja pužnice najčešće se koriste za obradu materijala niske viskoznosti kojima je potrebna primjena veće brzine ekstruzije i dugo zadržavanje. Njihova primjena u prehrambenoj industriji je mala, a najčešće se koriste za proizvodnju žele i gumenih bombona (Jozinović, 2023.).

S obzirom na poziciju pužnica, dvopužne ekstrudere može se podijeliti u dvije kategorije:

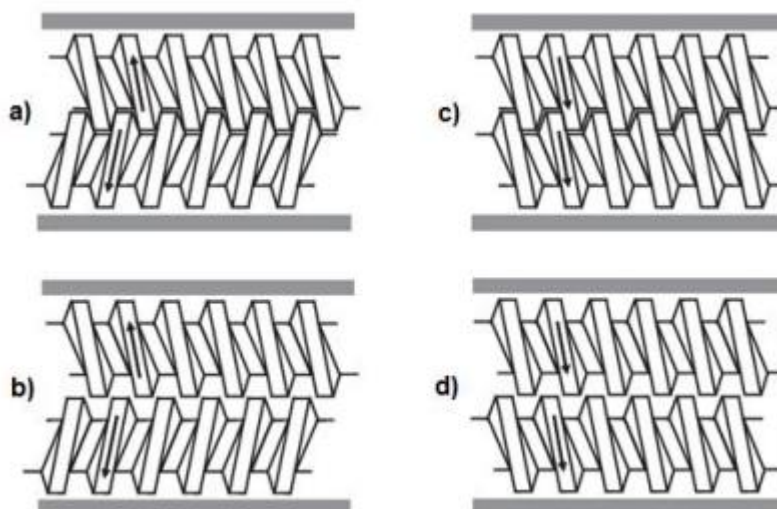
- a) pužnice koje se međusobno isprepliću – navoj jednog puža zahvaća navoje drugoga



- b) pužnice koje se ne isprepliću – pužnica se ne isprepliće s navojem druge pužnice, što dopušta jednoj pužnici da se okreće samostalno. Ovakvi ekstruderi rade kao jednopužni ekstruderi, ali imaju veći kapacitet (Riaz i Rokey, 2012.).

Moguća su četiri osnovna tipa konfiguracije s obzirom na poziciju pužnica i njihov smjer rotacije (**Slika 3**):

- suprotno rotirajuće zahvaćene pužnice;
- suprotno rotirajuće nezahvaćene pužnice;
- korotirajuće zahvaćene pužnice;
- korotirajuće nezahvaćene pužnice (Bouvier i Campanella, 2014.).



**Slika 3** Osnovne konfiguracije pužnica kod dvopužnih ekstrudera (Bouvier i Campanella, 2014.).

Najčešći tip konfiguracije dvopužnog ekstrudera koji se koristi je korotirajući sa zahvaćenim pužnicama (Riaz i Rokey, 2012.).

### 2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

- Niskosmični ekstruderi (ekstruderi hladnog oblikovanja) - ovakvi ekstruderi imaju glatko kućište, pužnice su dubokih navoja te imaju malu brzinu okretanja. Najčešće se primjenjuju za oblikovanje tijesta, keksa, mesnih proizvoda i nekih konditorskih proizvoda;
- Srednje-smični ekstruderi - ekstruderi kojima se toplina dovodi izvana. Sadrže pužnice za postizanje visokih tlakova i kućište sa žljebovima kako bi se poboljšalo miješanje. Koriste se za dobivanje proizvoda mekane konzistencije i s povišenim udjelom vlage te

se na izlazu iz ekstrudera ne provodi ekspanzija. Prije uvođenja sirovine u ekstruder, potrebno je pripremiti sirovinu miješanjem do konzistencije tijesta;

- c) Visoko-smični ekstruderi (Collet ekstruderi) - ovakvi ekstruderi imaju kućište sa žljebovima i pužnice s plitkim navojima. Sirovine s relativno niskim udjelom vlage (oko 12 %) brzo dosegnu vrijednost temperature iznad 175 °C, pri čemu dolazi do dekstrinizacije i želatinizacije škroba. Najčešće se koristi za proizvodnju ekspandiranih snack proizvoda jer dolazi do ekspanzije i sušenja, na izlazu iz ekstrudera, čime se postiže hrskava i porozna struktura proizvoda (Riaz, 2000.).

### 2.3. Građa i princip rada ekstrudera

Ekstruder je građen od osnovnih dijelova (**Slika 4**) kao što su: motor, kućište, pužnica, sapnica i rezalica, ali uz glavne dijelove ekstruder može sadržavati i neke druge dijelove ili opremu koja pomaže u pripremi mješavina sastojaka prije ekstruzije ili naknadnoj obradi ekstrudiranih proizvoda.

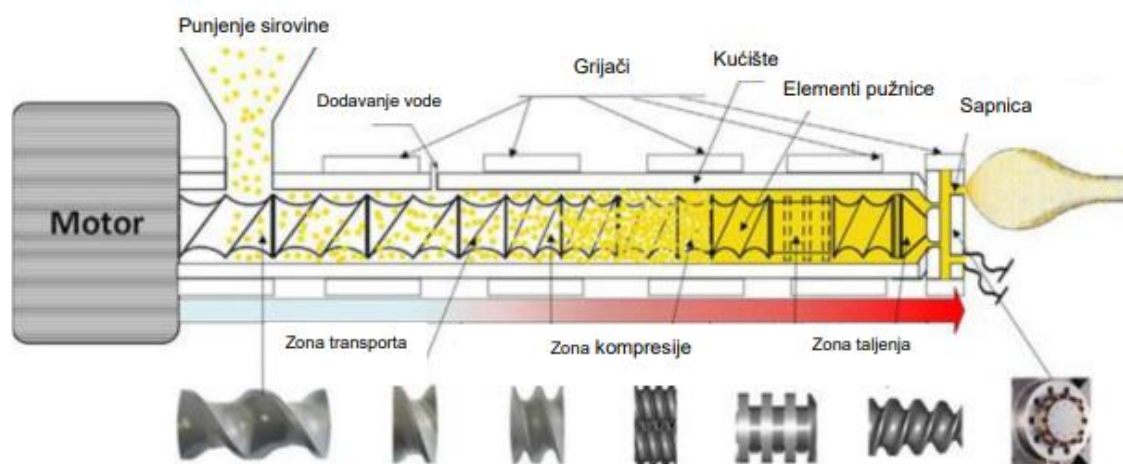
Motor je važan dio ekstrudera koji omogućuje okretanje pužnice koja je smještena unutar kućišta. Kućište je podijeljeno na sekcije/zone jednake veličine te se time osigurava grijanje ili hlađenje različitih dijelova ekstrudera duljinom cijele pužnice. Grijanje različitih dijelova ekstrudera provodi se upotrebom pare/tople vode ili električnim zavojnicama oko cijevi, dok se hlađenje provodi strujanjem hladne vode ili hladnoga zraka oko dijelova kućišta. Pužnice imaju mogućnost modifikacije profila te se time ostvaruje raznovrsna primjena ekstrudera. Voda se dodaje u ekstruder kroz ulaz koji je smješten u prvoj ili drugoj zoni/sekciji kućišta te je tu unutarnji tlak blizak atmosferskim uvjetima.

Ekstruder je podijeljen u tri zone/sekcije. Prva zona je zona transporta te su u ovome dijelu elementi pužnice često velikog nagiba i volumena što omogućuje kontinuirano prenošenje materijala u kompresijski dio ekstrudera. Druga zona je zona kompresije te se tu materijal istovremeno zbija i miješa, a kako bi zbijanje bilo što lakše upotrebljavaju se elementi puža kratkog nagiba. Zbijanje i otežano kretanje materijala dovodi do stvaranja topline uslijed smicanja među česticama hrane i između čestica hrane i površine puža i/ili kućišta. Treća zona je zona taljenja te se tu materijal tali uslijed stvaranja topline nastale djelovanjem mehaničkog smicanja i tlaka. Ovdje je tlak visok jer dolazi do zbijanja materijala i njegovog ograničenog kretanja kroz sapnicu koja se nalazi na kraju kućišta. Sapnica stvara suženje koje formira krajnji

oblik proizvoda te to suženje uzrokuje povišeni tlak u zoni ispred sapnice i time utječe na smicanje u zadnjoj zoni ekstrudera. Nakon kućišta i sapnice sustav obično ima postavljenu rezalicu koja može biti izravna, gdje pri izlasku iz ekstrudera noževi režu proizvod ili može biti sustav u kojemu se proizvod polaže na pokretnu traku te se reže nakon određenih modifikacija.

Kvaliteta proizvoda može se znatno poboljšati predkondicioniranjem sirovih sastojaka u predkondicioneru. Sirovom materijalu dodaje se voda ili vodena para kako bi se postigla željena vlažnost smjese prije nego se unese u ekstruder.

Proizvod se može modificirati nakon ekstruzije tako da se koristi dodatna oprema koja uključuje sustave za dehidraciju (sušilice ili friteze), sustave za začinjavanje i za pakiranje (Ganjyal, 2020.).



Slika 4 Građa ekstrudera (Ganjyal, 2020.)

Osnovne značajke suvremenih ekstrudera:

- mogući kapacitet do 10 T/h;
- vlažnost 10 – 30 %;
- unos energije 0,3 – 2 MJ/kg;
- tlak 100 – 200 bara ovisno o karakteristikama puža;
- zadržavanje materijala kratko vrijeme (10 – 200 sekundi za 0,2 – 3 metra dužine kućišta);
- temperatura 150 – 220 °C;
- velika brzina smicanja (Lovrić, 2003.).

## 2.4. Sirovine za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda

U procesu ekstruzije najpopularniji škrobni materijali koji se koriste su: proizvodi dobiveni od pšenice, kukuruza i riže, krumpirov škrob i osušena krumpirova krupica ili pahuljice. U manjoj mjeri koriste se proizvodi dobiveni od raži, ječma, zobi i heljde te se pomoću njih ekstrudatima poboljšava okus i/ili funkcionalne karakteristike i obogaćuje se njihova nutritivna vrijednost (Moscicki, 2011.).

Za proizvodnju popularnih ekstrudiranih proizvoda koriste se sirovine koje posjeduju određene osobine pomoću kojih se postiže različitost između proizvoda. Neke od tih osobina su:

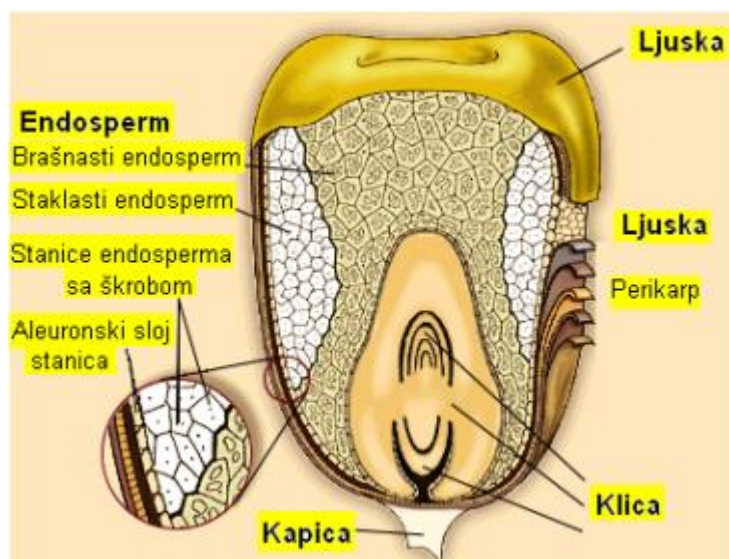
- formiranje odgovarajuće teksture proizvoda;
- olakšavanje fizikalnih promjena sirovine tijekom procesa ekstruzije;
- utjecaj na plastičnost i viskoznost materijala;
- olakšavanje homogenizacije sastavnih dijelova u tjestastim materijalima;
- ubrzavanje otapanja škroba i veća brzina želatinizacije;
- unaprijeđuje okus i boju proizvodima (Moscicki, 2011.).

Za odabir odgovarajuće sirovine vrlo važno je poznavati njezinu nutritivnu vrijednost, cijenu i dostupnost (Jozinović, 2023.).

### 2.4.1. Kukuruz (*Zea mays* L.)

Jedan od najpopularnijih sirovina za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda je kukuruz (*Zea mays* L.). Postoje različite sorte kukuruza, a u prehrambenoj industriji se one dijele na tzv. tvrde i meke. Meke sorte kukuruza se često koriste u proizvodnji krupice i brašna. Oba tipa kukuruza imaju granule različitog oblika, ovisno o udjelu amiloze i amilopektina, ali jednakih veličina (5 – 20  $\mu\text{m}$ ). Sorte voštanog kukuruza sadrže oko 1 % amiloze, dok češće korištene sorte sadrže 25 – 30 % (Moscicki, 2011.).

Zrno kukuruza (**Slika 5**) sastoji se od omotača (ljuske), endosperma i klice, a unutar endosperma se razlikuju rožasti (staklasti) i brašnasti dijelovi (Jukić i Koceva Komlenić, 2020.).



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Šubarić i sur., 2016.)

Vanjsku ovojnicu predstavlja perikarp koju karakterizira visoki udio vlakana, u prvom redu hemiceluloze, celuloze i lignina. Kapica je uglavnom sastavljena od netopljivih vlaknastih molekula, a predstavlja glavni ulaz koji propušta vodu i druge tekućine ili plinove u zrno. Najčešće se klica koristi za proizvodnju ulja kukuruznih klica zbog velikog udjela ulja koje je bogato polinezasićenim masnim kiselinama (Jozinović, 2015.).

Zrno najvećim dijelom sadrži endosperm (oko 82 %) koji sadrži najviše škroba. Prosječno endosperm sadrži 98 % škroba, 0,74 % proteina i 0,16 % masti od ukupno prisutnih u zrnu (Šubarić i sur., 2016.).

Odnos brašnastog i staklastog endosperma varira ovisno o sadržaju proteina i vrsti kukuruza, a najčešće iznosi 1 : 2 (BeMiller i Whistler, 2009.).

Staklasti endosperm ima škrobna zrnca (granule) koja su krupnija i uglasta te zbijena. (Jukić i Kočeva Komlenić, 2020.). Poligonalan oblik i zbijena struktura staklastog endosperma se postižu tijekom sušenja jer je neoštećena proteinska mreža deblja te ne puca, ali vrši pritisak na škrobna zrnca (Šubarić i sur., 2016.).

Brašnasti endosperm u odnosu na staklasti ima puno više škroba, a manje proteina. (Jukić i Kočeva Komlenić, 2020.). Takav endosperm ima znatno veće stanice i zrnca škroba. Tijekom sušenja tanka proteinska mreža puca, pri čemu nastaju praznine koje daju „brašnasti izgled“ ovom dijelu (Šubarić i sur., 2016.).

Proteinima i koloidnim ugljikohidratima ispunjeni su međuprostori između škrobnih zrnaca (Jukić i Koceva Komlenić, 2020.).

**Tablica 1** Udio i sastav pojedinih komponenti u zrnu kukuruza (BeMiller i Whistler, 2009.)

	Udio u zrnu [%]	Škrob [% s.tv.]	Masti [% s.tv.]	Proteini [% s.tv.]	Pepeo [% s.tv.]	Šećer [% s.tv.]
<b>Klica</b>	11,50	8,30	34,40	18,50	10,30	11,00
<b>Endosperm</b>	82,30	86,60	0,86	8,60	0,31	0,61
<b>Kapica</b>	0,80	5,30	3,80	9,70	1,70	1,50
<b>Perikarp</b>	5,30	7,30	0,98	3,50	0,67	0,34
<b>Ukupno</b>	100,00	72,40	4,70	9,60	1,43	1,94

Oko 11 % zrna kukuruza čini klica (**Tablica 1**). U klici se nalazi 84 % masti od ukupne količine masti u zrnu. Klica sadrži 22 % proteina, 82 % pepela te 65 % šećera od ukupno prisutnih u zrnu. Proteini kukuruza imaju veliki značaj za prehranu ljudi i životinja te su od velike ekonomske važnosti. Proteini kukuruza su: globulin, prolamini i gluten. Ljuska sadrži 40 % celuloze i pentozana. Najzastupljeniji šećeri u zrnu jesu: saharoza (0,9 – 1,9 %), glukoza (0,2 – 0,5 %) i fruktoza (0,1 – 0,4 %). Od ukupno prisutnih šećera u zrnu klica sadrži 2/3, dok se ostatak nalazi u endospermu. Kukuruzno zrno sadrži sve minerale potrebne za razvoj biljke, a približno 80 % njih nalazi se u klici te se većim dijelom tijekom močenja ekstrahiraju u vodu za močenje. Neki od minerala su: fitin u obliku kalija (glavni izvor fosfora), magnezijeve soli, kalcij, sumpor i dr. (Šubarić i sur., 2016.).

**Tablica 2** Kemijski sastav kukuruznog zrna (Šubarić i sur., 2016.)

	Raspon [%]	Prosječno [%]
<b>Vlaga</b>	7 – 23	1,6 – 7
<b>Škrob</b>	64 – 78	71,1
<b>Proteini</b>	8 – 14	9,91
<b>Masti</b>	3,1 - 5,7	4,45
<b>Pepeo</b>	1,1 - 3,9	1,42
<b>Pentozani</b>	5,8 - 6,6	6,2
<b>Kruta vlakna</b>	1,8 - 3,5	2,66
<b>Vlakna</b>	8,3 - 11,9	9,5
<b>Celuloza</b>	3,3 - 4,3	3,3
<b>Šećeri</b>	1,0 - 3,0	2,58

Kukuruzno zrno prosječno sadrži najviše škroba (71,1 %), a najmanje pepela (1,42 %), što je i vidljivo u **Tablici 2**.

Kukuruz se može suhim mljevenjem samljati u krupicu ili brašno koje se kasnije koristi za proizvodnju žitarica za doručak, snack i sličnih proizvoda. Ukoliko se želi koristiti u tehnologiji proizvodnje škroba, kao sirovina za proizvodnju dekstrina, glukoznog i fruktoznog sirupa, sorbitola i sličnih proizvoda, potrebno je izvršiti mokro mljevenje kukuruza (Jozinović, 2015.).

### **2.4.2. Trop jabuke**

Trop jabuke glavni je nusproizvod tijekom procesa proizvodnje bistrog soka, a dobiva se usitnjavanjem i prešanjem jabuke (Grigoras i sur., 2013.). U tropu jabuke nalazi se oko 10,8 % vlage, 0,5 % pepela i 51,1 % prehrambenih vlakna (Sudha i sur., 2006.). Može se koristiti kao sirovina za proizvodnju nutritivnih i visoko prihvatljivih snack proizvoda. (Faisal i sur., 2017.). Bogat je izvor polifenolnih spojeva koji pripadaju skupini prirodnih antioksidansa, kao i prehrambenih vlakana (Droždž i sur., 2014).

Kvaliteta tropa jabuke procjenjuje se na temelju komponenata koje su prvobitno prisutne u samome plodu i koje nakon postupka prešanja zaostaju u tropu. Od svih komponenata najviše se pažnje pridaje polifenolima jer oni imaju blagotvorni učinak na ljudsko zdravlje i mogu smanjivati oštećenja koje zadaje oksidativan stres kojeg prouzrokuju slobodni radikali. Trop jabuke može sadržavati i terpenoide koji imaju protuupalno, antimikrobno, antioksidativno djelovanje, štite jetru te imaju izraženo citostatičko djelovanje (Grigoras i sur., 2013.). Osim polifenola i terpenoida, trop jabuke sadrži i pektin u udjelu od 13 do 19 % (Royer i sur., 2006.) te je odličan izvor prehrambenih vlakna (36,8 % s.tv.) (Carson i sur., 1994.).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**



### 3.1. Zadatak

Cilj ovog rada bio je ispitati mogućnost primjene tropa starih sorti jabuka u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice. Osušeni trop starih sorti jabuka bio je dodavan u kukuruznu krupicu u udjelima 4, 8 i 12 % s.tv. te je zamjes bio pripremljen na 15 % vlage i ekstrudiran u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu uz primjenu parametara ekstruzije prikladnih za proizvodnju direktno ekspandiranih snack proizvoda. Dobivenim ekstrudatima su se nakon sušenja određivali sljedeći parametri: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, tvrdoća i lomljivost, indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi, udio ukupnih polifenola i antioksidativna aktivnost.

### 3.2. Materijali

1. kukuruzna krupica EKO-JAZO d.o.o. Ivanovac;
2. liofilizirani trop starih sorti jabuka (proizveden 2021. godine).

### 3.3. Metode

#### 3.3.1. Priprema uzoraka i provedba ekstruzije smjesa kukuruzne krupice s tropom starih sorti jabuka

Priprema zamjesa za ekstrudiranje:

Tijekom pripreme zamjesa od uređaja je korištena laboratorijska vaga i mikser (**Slika 6**), a od sirovina (**Slika 7**) kukuruzna krupica, voda i trop jabuke. Kod pripreme prvog zamjesa kukuruznoj krupici je dodana voda do vlažnosti 15 %, pri čemu je korišten laboratorijski mikser. Tijekom pripreme drugog, trećeg i četvrtog zamjesa kukuruznoj krupici je prvo dodana voda, zatim se provelo kratko miješanje laboratorijskim mikserom. Nakon toga dodavao se trop starih sorti jabuka te se potom ponovno provelo miješanje. Udio vlažnosti u drugom, trećem i četvrtom zamjesu bio je također 15 %, ali su se oni međusobno razlikovali u omjerima kukuruzne krupice i tropa starih sorti jabuka. U drugome zamjesu omjer kukuruzne krupice i tropa starih sorti jabuka bio je 96 : 4, u trećem 92 : 8, a u četvrtom 88 : 12. Tako pripremljeni zamjesi bili su zapakirani u PVC vrećice (**Slika 8**) sa zatvaračem te ostavljeni preko noći na 4 °C kako bi se vlaga rasporedila ravnomjerno. Dio zamjesa se koristio za postupak ekstrudiranja, a dio se koristio za analize.



Slika 6 Laboratorijski mikser



Slika 7 Sirovine za pripremu zamjesa



Slika 8 Pripremljeni zamjes

Ekstruzija pripremljenih zamjesa provedena je u uređaju Ekstruder 19/20 DN, Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg; Model: 815654 (Slika 9).



Slika 9 Laboratorijski jednopužni ekstruder

Tijekom postupka ekstruzije primijenjen je sljedeći režim:

- konfiguracija puža: 4 : 1;
- sapnica promjera otvora: 4 mm;
- temperaturni profil: 135 / 170 / 170 °C.

Dobiveni ekstrudati su tijekom noći osušeni na zraku te su na njima provedena ispitivanja.

### 3.3.2. Određivanje ekspanzijskog omjera ekstrudata (EO)

Ekspandiranim suhim ekstrudatima, pomoću pomičnog mjerila (**Slika 10**), u milimetrima izmjeren je promjer. Za svaki uzorak provodi se pet paralelnih mjerenja te se izračuna njihova srednja vrijednost. Nakon toga se, prema **formuli (1)**, izračuna ekspanzijski omjer koji predstavlja vrijednost omjera promjera ekstrudata i promjera sapnice ekstrudata (4mm) (Brnčić i sur., 2008.).

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

gdje je: EO – ekspanzijski omjer,  
d<sub>e</sub> – promjer ekstrudata [mm],  
d<sub>s</sub> – promjer sapnice [mm].



Slika 10 Pomično mjerilo

### 3.3.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata (BD)

Prema metodi Alvarez – Martinez i sur. (1998.), provedeno je određivanje nasipne mase ekstrudata, pri čemu se ona računa prema **formuli (2)**:

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

gdje je: BD – nasipna masa ekstrudata [ $\text{gcm}^{-3}$ ],  
 m – masa ekstrudata [g],  
 d – promjer ekstrudata [cm],  
 L – dužina ekstrudata [cm].

### 3.3.4. Određivanje boje zamjesa i ekstrudata kromametrom

Kromametar, Konica Minolta, Chroma Meter CR-400 s komorom za mjerenje boje praškastih proizvoda (CR-A50) (Slika 11), korišten je za određivanje boje samljevenih ekstrudata, odnosno neekstrudiranih zamjesa. Prije mjerenja kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice (CR-A43) u sustavima CIELab i LCh sustavima.



Slika 11 Kromametar

Pet mjerenja je provedeno za svaki uzorak u sustavima Lab i LCh. Nakon toga određena je srednja vrijednost i standardna devijacija te su rezultati prikazani tablično. Prema **formuli (3)** računata je ukupna promjena boje:

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

pri čemu su vrijednosti boje za kontrolni neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice označene kao parametri s indeksom „0“.

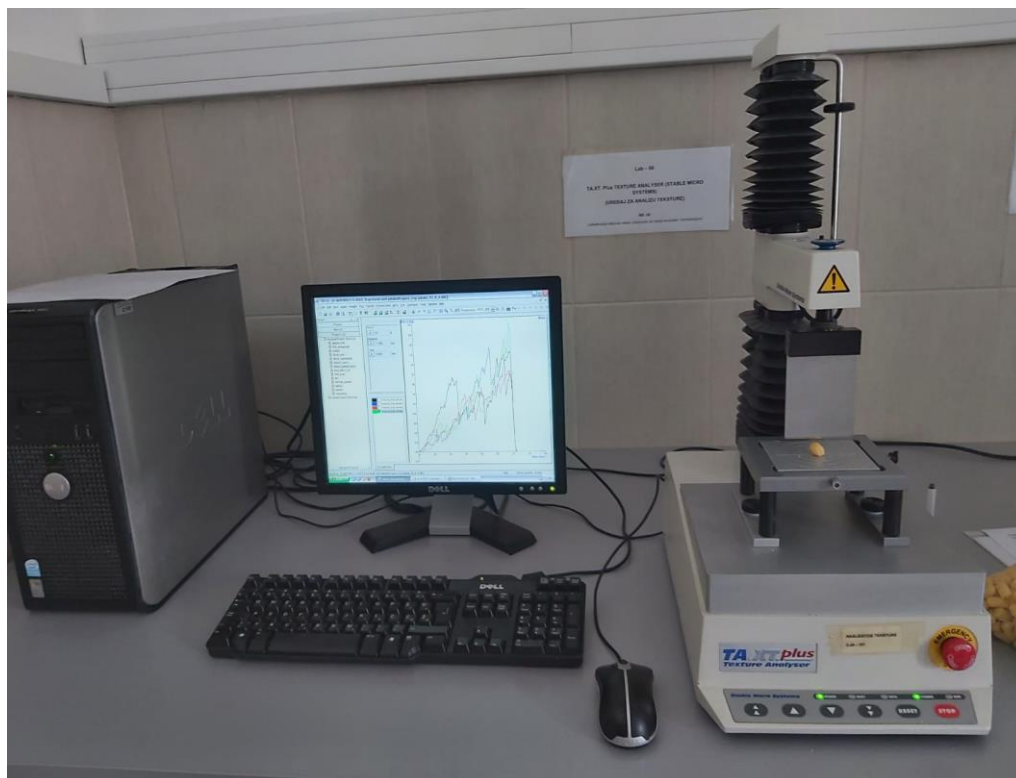
### 3.3.5. Određivanje teksture ekstrudata

Pomoću analizatora teksture, TA.XT Plus Texture Analyser, Stable Micro systems, Velika Britanija (**Slika 12**), uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće i lomljivosti štapića pomoću noža određena je tekstura ekstrudata.

Za potrebe mjerenja ekstrudati su rezani na štapiće dužine 10 cm te su podvrgnuti sljedećem testu:

- brzina prije mjerenja: 1,0 mms<sup>-1</sup>;
- brzina za vrijeme mjerenja: 1 mms<sup>-1</sup>;
- brzina nakon mjerenja: 10 mms<sup>-1</sup>;
- put noža: 3 mm.





Slika 12 Analizator teksture

### 3.3.6. Određivanje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI) zamjesa i ekstrudata

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

U tariranu kivetu za centrifugiranje, volumena 50 mL, izvaže se 2,5 g prethodno samljevenog uzorka. Zatim se doda 30 mL destilirane vode tako da se stjenke kivete isperu te se uzorci ostve stajati 30 minuta uz povremeno miješanje, svakih 5 minuta.

Nakon toga uzorci se centrifugiraju 15 minuta, pri 3000 okretaja  $\text{min}^{-1}$ . U prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje dekantira se supernatant te se provodi sušenje na 105 °C do konstantne mase.

WAI se računa prema **formuli (4)**, a predstavlja masu gela dobivenu nakon dekantiranja supernatanta po jedinici suhe tvari početnog uzorka.

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

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

$$WSI[\%] = \frac{\text{masa suhe tvari u supernatantu}}{\text{masa suhe tvari u početnom uzorku}} \times 100 \quad (5)$$

### 3.3.7. Određivanje udjela ukupnih polifenola

Folin-Ciocalteu metodom određena je ukupna koncentracija polifenola. Iz kalibracije krivulje za galnu kiselinu preračuna se rezultat (Lončarić, 2014.).

U epruvetu se otpipetira 0,2 mL uzorka, 1,8 mL destilirane vode, 2,5 mL Folin-Ciocalteu reagensa i 2 mL 7,5 % otopine natrijevog karbonata. Pripremljene otopine se promućkaju i ostave da stoje na tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi 2 - 20 sati. Apsorbancija se određuje na spektrofotometru (**Slika 13**) pri 765 nm. Slijepa proba se pripravi s 2 mL destilirane vode. Tri mjerenja provedena su za svaki uzorak.



**Slika 13** UV-VIS spektrofotometar PerkinElmer LAMBDA 365 UVWinLab UOQ non-Pharma IQ/OQ

### 3.3.8. Određivanje antioksidativne aktivnosti

Uklanjanje DPPH radikala praćeno je smanjenjem absorpcije pri 515 nm, a do nje dolazi smanjenjem količine antioksidansa ili reakcije s radikalima (Lončarić, 2014.).

Postupak: otpipetira se 0,2 mL uzorka i 3 mL otopine DPPH, dobro promiješa te se reakcijska smjesa ostavi stajati 15 minuta. Pri 517 nm mjeri se apsorbancija. Za slijepu probu dodan je etanol umjesto uzorka. Za preračunavanje rezultata koristi se kalibracijska krivulja troloxa. Tri mjerenja provedena su za svaki uzorak.



### 3.3.9. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom

Za određivanje viskoznosti korišten je Brabenderov mikro visko-amilograf (Slika 14). Uređaj je spojen na računalo te ono upravlja radom uređaja i provodi obradu dobivenih podataka.



Slika 14 Brabenderov mikro visko-amilograf

Kako bi se pripravilo 100 g 10 % suspenzije, u posudu Brabenderovog mikro visko-amilografa, prethodno samljeveni uzorak ekstrudata dodan je u destiliranu vodu. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti sljedećim temperaturama:

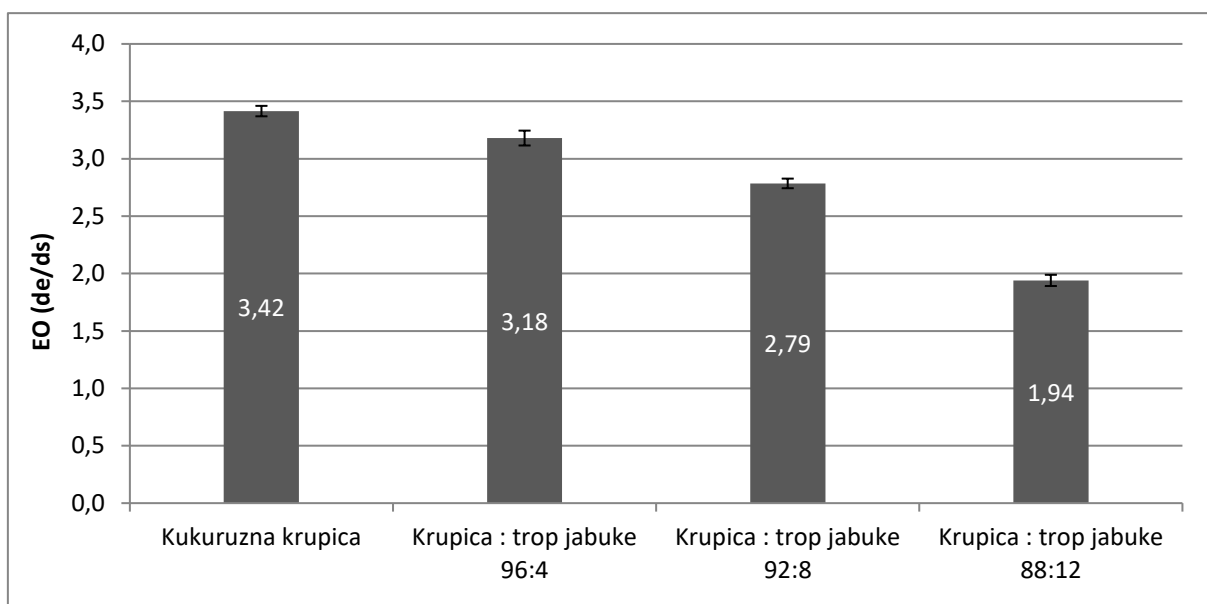
1. Zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C/min;
2. Izotermno na 92 °C, 5 minuta;
3. Hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C/min;
4. Izotermno na 50 °C, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela ( $250 \text{ omin}^{-1}$ ), čime se dobiju sljedeći parametri:

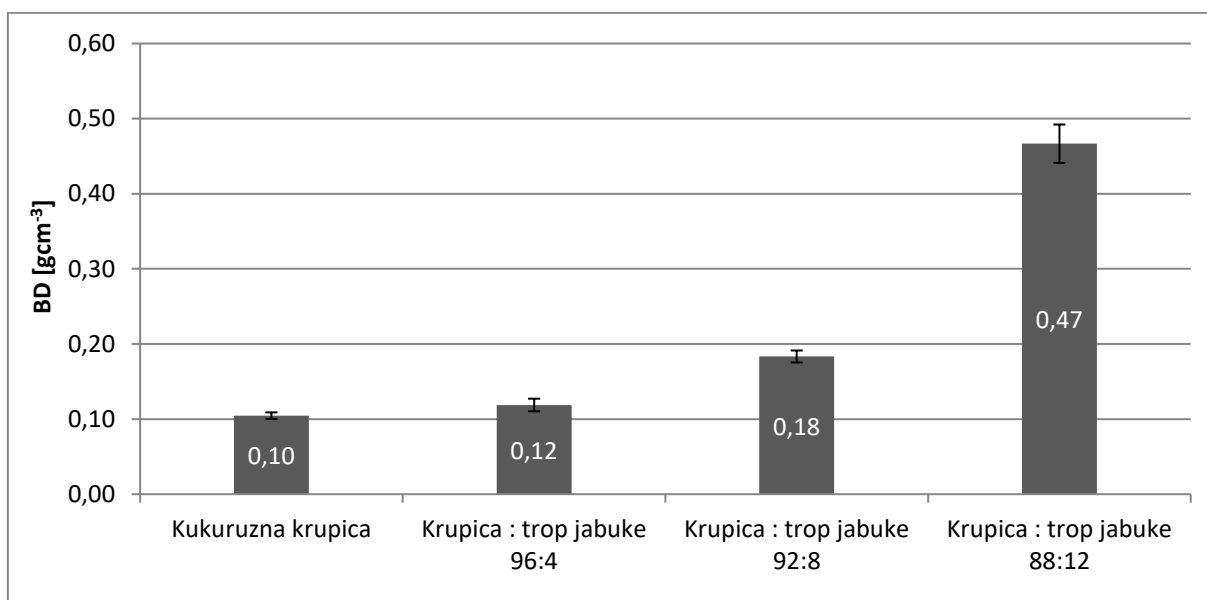
1. Početna temperatura želatinizacije škroba [°C];
2. Viskoznost vrha – označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];

4. Vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 °C [BU];
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja na 50 °C. Označava stabilnost pri 50 °C [BU];
7. Kidanje – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanjem na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama 92 °C;
8. „*Setback*“ – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 5 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C; ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

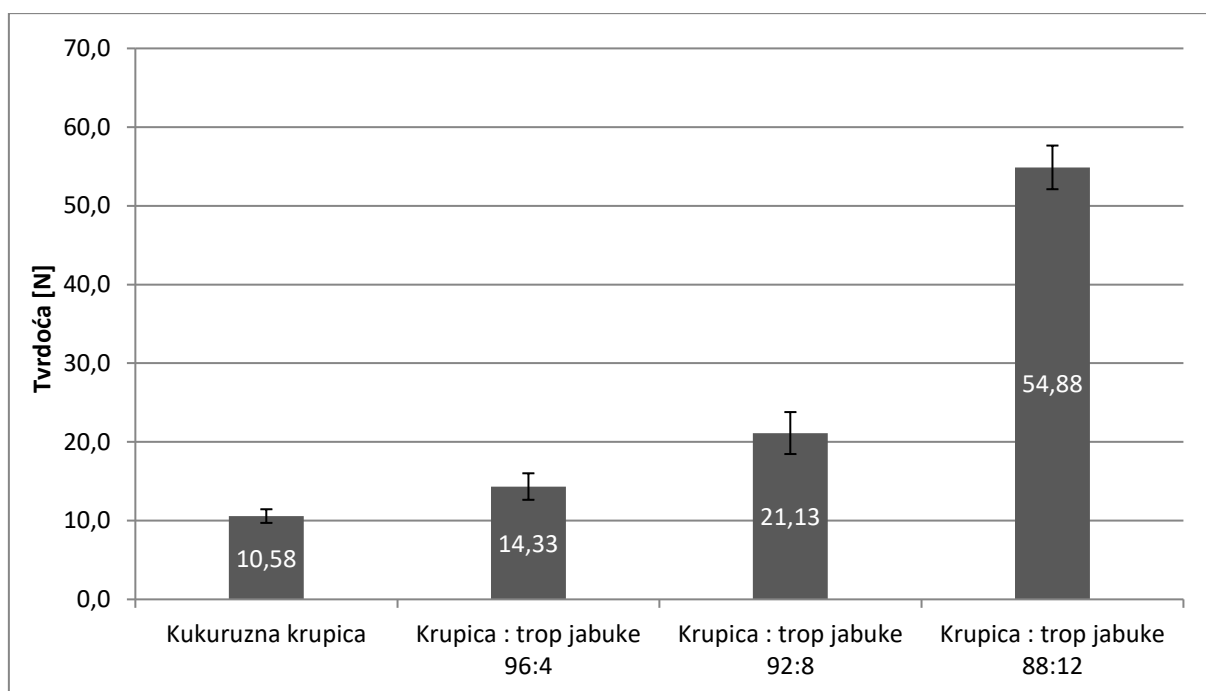
## **4. REZULTATI**



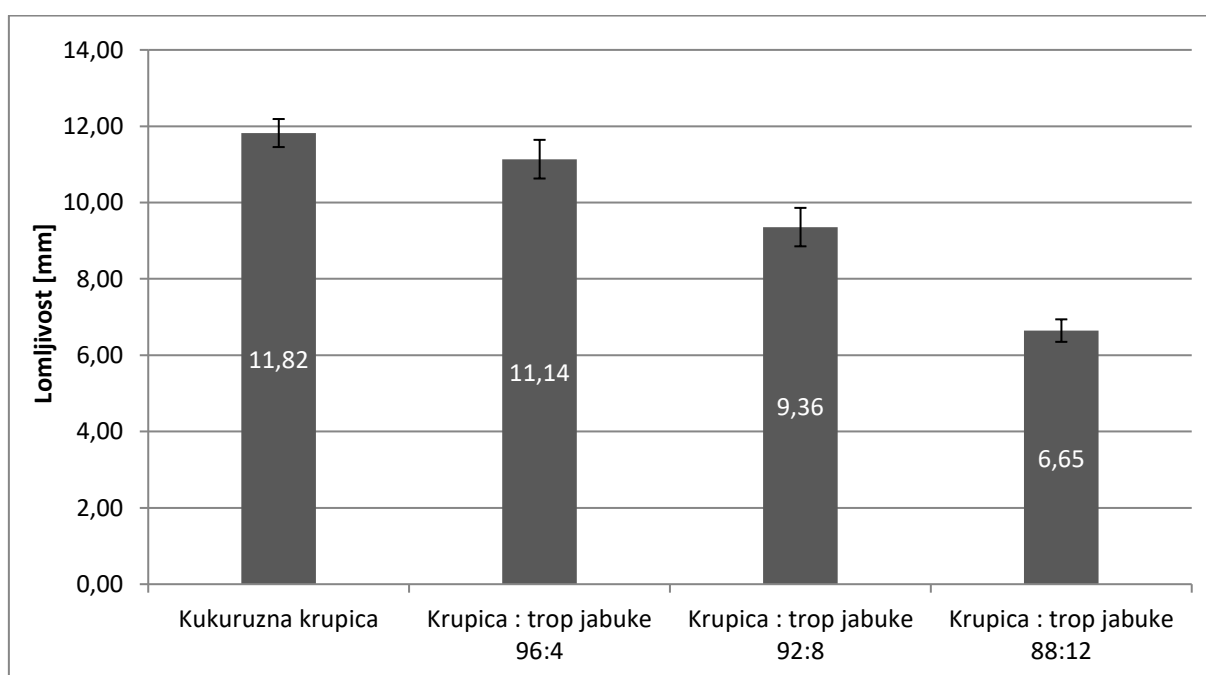
Slika 15 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na ekspanzijski omjer (EO) kukuruznih ekstrudata



Slika 16 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na nasipnu masu (BD) kukuruznih ekstrudata



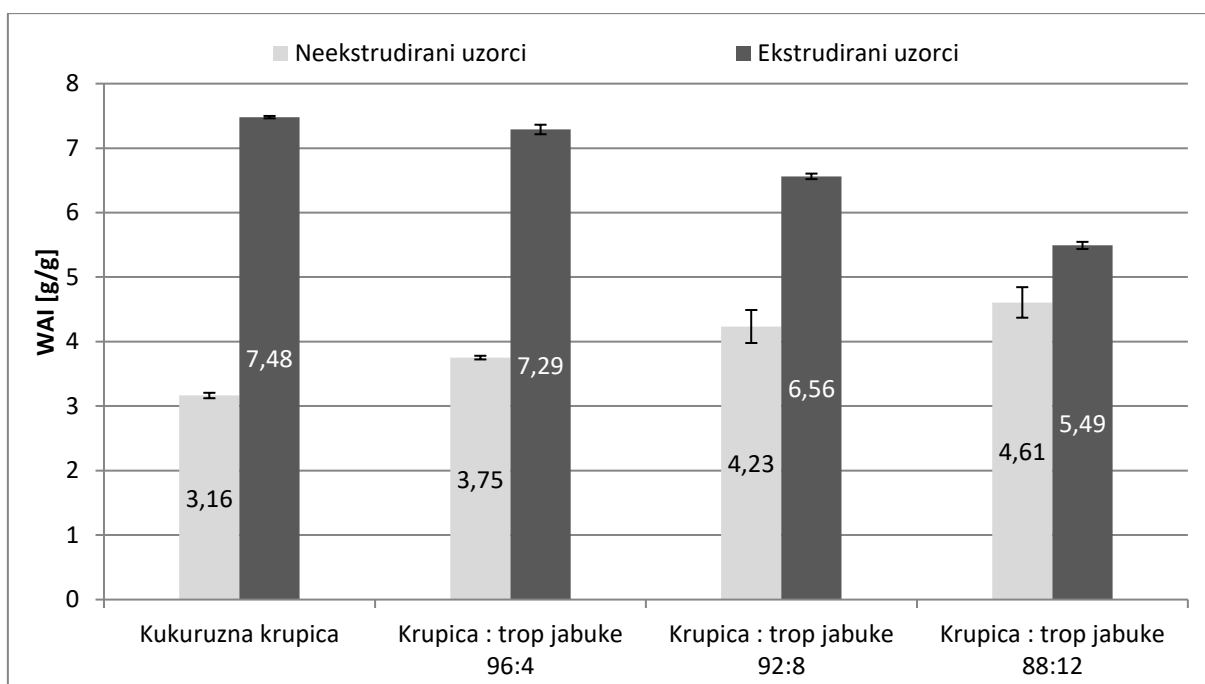
Slika 17 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na tvrdoću kukuruznih ekstrudata



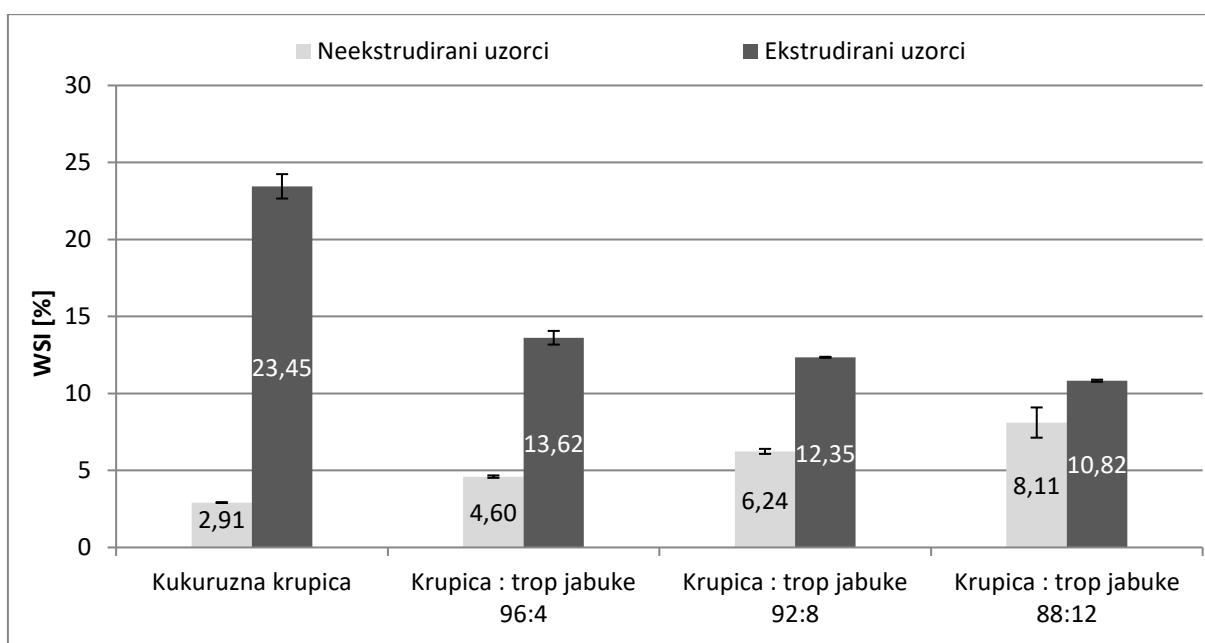
Slika 18 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na lomljivost kukuruznih ekstrudata

**Tablica 3** Utjecaj dodatka troja starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu te postupka ekstruzije na promjenu boje

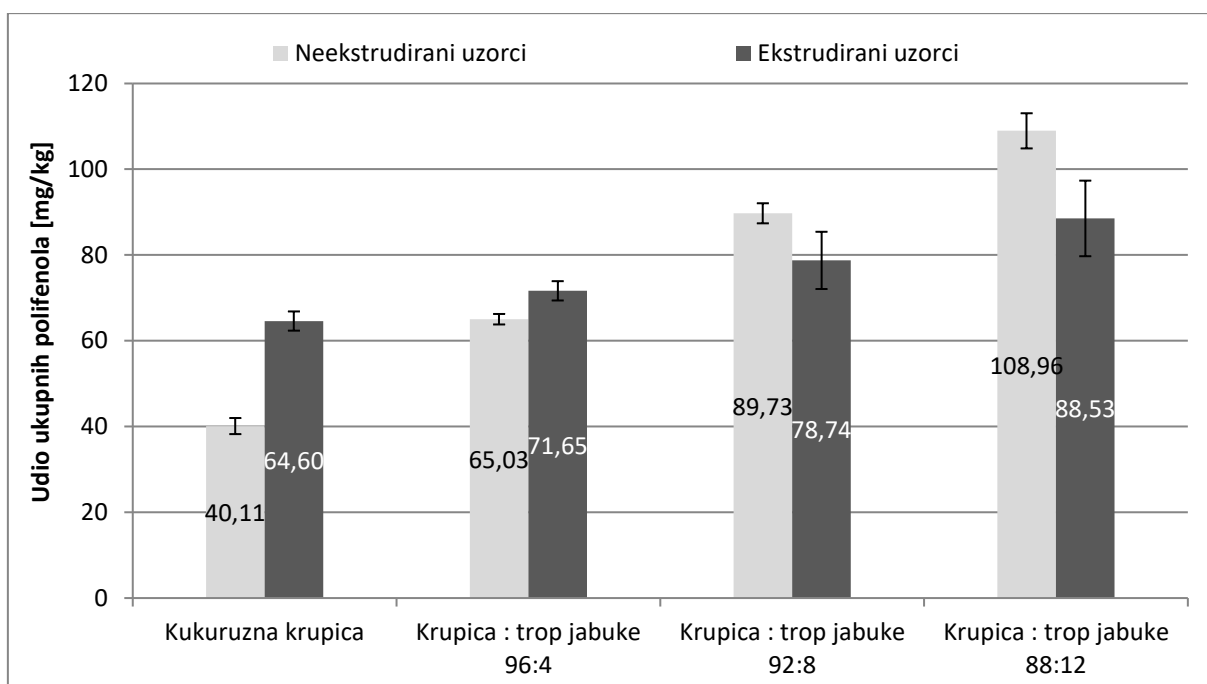
Uzorak	NEEKSTRUDIRANI UZORCI					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	77,03 ± 0,34	3,64 ± 0,48	54,74 ± 1,47	54,86 ± 1,49	86,20 ± 0,41	
Krupica : trop jabuke 96:4	70,71 ± 0,27	5,28 ± 0,28	46,86 ± 1,87	47,16 ± 1,85	83,56 ± 0,50	10,23
Krupica : trop jabuke 92:8	69,04 ± 0,41	5,53 ± 0,28	41,21 ± 1,27	41,58 ± 1,27	82,35 ± 0,39	15,83
Krupica : trop jabuke 88:12	68,46 ± 0,41	5,67 ± 0,26	38,60 ± 1,57	39,02 ± 1,51	81,62 ± 0,71	18,39
Uzorak	EKSTRUDIRANI UZORCI					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	82,15 ± 0,21	-3,49 ± 0,06	46,21 ± 1,14	46,35 ± 1,13	94,32 ± 0,12	12,23
Krupica : trop jabuke 96:4	80,64 ± 0,46	-1,86 ± 0,09	44,13 ± 0,64	44,17 ± 0,64	92,42 ± 0,12	12,48
Krupica : trop jabuke 92:8	78,05 ± 1,14	-0,84 ± 0,03	41,48 ± 0,70	41,49 ± 0,70	90,89 ± 0,39	14,03
Krupica : trop jabuke 88:12	75,81 ± 0,45	0,94 ± 0,02	38,66 ± 0,81	38,67 ± 0,81	88,68 ± 0,42	16,35



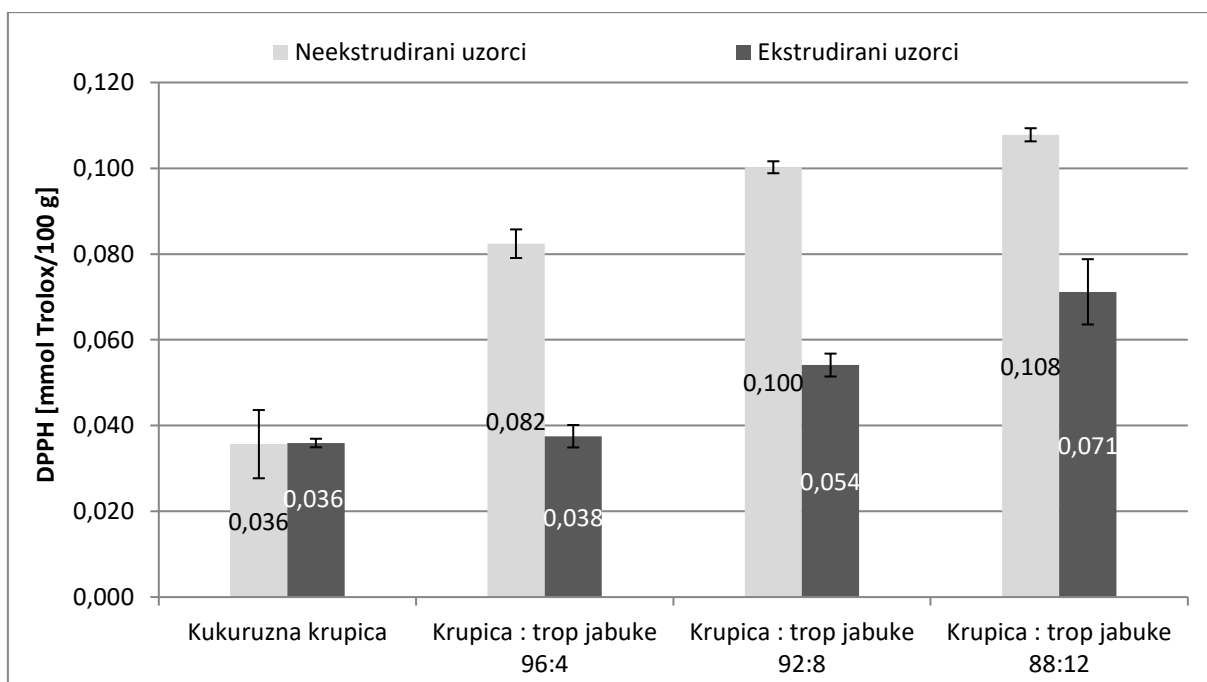
Slika 19 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI)



Slika 20 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI)



Slika 21 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na udio ukupnih polifenola



Slika 22 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na antioksidativnu aktivnost



Tablica 4 Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu te postupka ekstruzije na viskoznost

	Kukuruzna krupica	Krupica : trop jabuke 96:4	Krupica : trop jabuke 92:8	Krupica : trop jabuke 88:12
<b>NEEKSTRUDIRANI UZORCI</b>				
viskoznost vrha [BU]	157,50 ± 9,19	111,00 ± 5,66	119,50 ± 2,12	124,00 ± 1,41
viskoznost pri 92 °C [BU]	2,50 ± 3,54	4,00 ± 5,66	11,50 ± 0,71	12,00 ± 1,41
nakon miješanja na 92 °C [BU]	159,50 ± 9,19	112,50 ± 6,36	122,50 ± 2,12	126,50 ± 2,12
viskoznost pri 50 °C [BU]	380,00 ± 9,90	252,00 ± 7,07	266,00 ± 4,24	273,50 ± 6,36
nakon miješanja na 50 °C [BU]	388,00 ± 9,90	253,50 ± 9,19	268,00 ± 4,24	278,00 ± 5,66
kidanje [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
„setback“ [BU]	220,50 ± 0,71	139,50 ± 0,71	143,50 ± 2,12	147,00 ± 4,24
<b>EKSTRUDIRANI UZORCI</b>				
viskoznost vrha [BU]	23,50 ± 3,54	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	62,00 ± 0,00
viskoznost pri 92 °C [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	34,50 ± 0,71
nakon miješanja na 92 °C [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	61,50 ± 0,71
viskoznost pri 50 °C [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	152,00 ± 1,41
nakon miješanja na 50 °C [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	150,00 ± 0,00
kidanje [BU]	23,50 ± 3,54	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,50 ± 0,71
„setback“ [BU]	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	90,50 ± 0,71

## **5. RASPRAVA**

Zadatak ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s tropom starih sorti jabuka.

Na **Slici 15** je prikazan utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruzne krupice. Dobiveni rezultati pokazuju smanjenje vrijednosti ekspanzijskog omjera dodatkom i povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka u smjesama krupica: trop jabuke.

Ove rezultate potvrdili su Brnčić i sur. (2008.), gdje su zaključili kako se stjenka ekstrudata učvršćuje uz dodatak proteina i smanjuje stupanj ekspanzije. Ekspanzijski omjer se također smanjuje dodatkom prehrambenih vlakana koja u proizvodu povećavaju gustoću ekstrudata čime se učvršćuje njihova stjenka (Robin i sur., 2012.).

Faisal i sur. (2017.) zaključili su kako je smanjenje ekspanzijskog omjera uzrokovano vezama između škroba i proteina i formacijom intermolekularnih disulfidnih veza, pod utjecajem porasta temperature u ekstruderu, koje ograničavaju ekspanziju.

**Slika 16** prikazuje utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na nasipnu masu ekstrudata kukuruzne krupice. Nasipna masa ekstrudata se povećava s povećanjem udjela tropa jabuke u odnosu na kontrolni uzorak kukuruzne krupice.

Singha i Muthukumarappan (2018.) zaključili su kako povećanjem udjela tropa jabuke raste, a povećanjem temperature i brzine pužnice se smanjuje nasipna masa. Do povećanja nasipne mase dolazi zbog smanjene ekspanzije i raspodjele vlakana u ekspandiranom proizvodu.

Nasipna gustoća se smanjuje sa povećanjem želatinizacije škroba ovisno o početnoj sirovini s kojom se provodi ekstruzija (Case i sur., 1992.).

Bishart i sur. (2013.) zaključili su da povećanje koncentracije dehidriranog povrća u zamjesu dovodi do povećanja nasipne mase, ali zbog količine proteina i vlakana u povrću dolazi do pucanja staničnih stjenki koje ne dopuštaju ekspanziju zračnih mjehurića.

Utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka na tvrdoću kukuruznih ekstrudata, prikazuje **Slika 17**. S Povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka, povećava se tvrdoća ekstrudata. Lomljivost kukuruznih ekstrudata s dodatkom tropa starih sorti jabuka prikazuje **Slika 18**. Iz grafa na prethodno navedenoj slici vidljivo je da dolazi do smanjenja lomljivosti što je veći udio dodanog tropa starih sorti jabuka.

Brojna istraživanja utvrđuju da su svojstva teksture izravno povezana s ekspanzijom i nasipnom masom ekstrudiranih proizvoda. Također, Ačkar i sur. (2018.) navode kako više ekspanzirani ekstrudati imaju manju čvrstoću i veću lomljivost.

Na tvrdoću, hrskavost i lomljivost ekstrudiranih proizvoda značajno je utjecala količina dodanog tropa i temperatura ekstrudiranja (Singha i sur., 2019.).

Svojstva stanične stjenke materijala su također ključna u određivanju teksture (Karkle i sur., 2012.).

**Tablica 3** prikazuje utjecaj ekstruzije na boju neekstrudiranih i ekstrudiranih smjesa kukuruzna krupica : trop starih sorti jabuka određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima.

Određene su vrijednosti za sljedeće parametre:

- $L^*$  (*Luminosity*) – vrijednost predstavlja svjetlinu i izražava se u rasponu od 0 za crnu do 100 za bijelu boju;
- $a^*$  - vrijednost predstavlja crveno – zelenu komponentu boje; ukoliko su dobivene vrijednosti negativne u domeni su zelene boje, a ukoliko su pozitivne u domeni su crvene boje;
- $b^*$  - vrijednost predstavlja žuto – plavu komponentu boje; ukoliko su dobivene vrijednosti negativne u domeni su plave boje, a ukoliko su pozitivne u domeni su žute boje;
- $C$  – zasićenost boje; vrijednost predstavlja intenzitet i živost boje, a izražava se u rasponu od 0 za sivkaste boje do 100 za najintenzivnije boje;
- $h^0$  – predstavlja ton boje koji se kreće u rasponu od  $0^\circ$  (crvena),  $90^\circ$  (žuta),  $180^\circ$  (zelena),  $270^\circ$  (plava) i natrag do  $0^\circ$  (Tanasković, 2014., Delgado – Gonzalez i sur. 2018.).

Iz rezultata je vidljiva razlika između vrijednosti boje kod ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka. Usporedbom nekstrudiranih uzoraka i onih ekstrudiranih, može se uočiti povećanje vrijednosti parametra  $L^*$ , što dovodi do zaključka da je došlo do posvjetljivanja. Nadalje, što je veći udio dodanog tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu to je i dobivena vrijednost za  $L^*$  manja, odnosno dolazi do potamnjenja.

Za sve neekstrudirane uzorke vrijednosti parametra  $a^*$  su pozitivne, što znači da su u domeni crvene boje. Vrijednosti za ekstrudirane uzorke su negativne, pa su u domeni zelene boje.

Ovdje je izuzetak ekstrudirani uzorak krupica : trop jabuke (88 : 12) jer ima pozitivnu vrijednost parametra  $a^*$  te se time nalazi u domeni crvene boje.

Najvišu vrijednost parametra  $b^*$  imao je neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice. Dodatkom tropa starih sorti jabuka i postupkom ekstruzije vrijednosti su se snizile, ali su ostale pozitivne te time ulaze u domenu žute boje.

Vrijednost parametra C smanjila se dodatkom tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka.

Vrijednosti parametara  $a^*$  i  $b^*$  u visokoj mjeri potvrđuju vrijednosti parametra  $h^\circ$  jer se one uglavnom nalaze u domeni crvene i žute boje.

Iz rezultata je vidljivo da ukupna promjena boje raste s dodatkom većeg udjela tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka.

Droždž i sur., (2014.) u svom istraživanju utvrdili su da s povećanjem udjela tropa jabuke dolazi do smanjenja svjetline ekstrudata. Povećanjem udjela tropa jabuke povećava se crvena boja. Nadalje, uzorci koji su sadržavali trop jabuke pokazali su nižu vrijednost  $b^*$  nego uzorci bez tropa jabuke. Povećanje udjela tropa jabuke nije dovelo do statistički značajne varijacije, među vrijednostima, u domeni žute boje. Zasićenost boje je manja kod uzoraka sa dodatkom tropa jabuke.

Promjena boje snack proizvoda dodatkom tropa jabuke, posljedica je njegovog kemijskog sastava. Trop jabuke ima veći sadržaj reducirajućih šećera i polifenola u odnosu na primjerice pulpu krumpira. Visokotemperaturnom ekstruzijom provode se Maillardove reakcije te dolazi do transformacije šećera i sinteze melanoidnih pigmenata, čija smeđa boja doprinosi promjeni boje. Također, povećanju intenziteta crvene boje ekstrudata doprinose polifenoli i karotenoidi koji obogaćuju tropove voća (Tomaszewska-Ciosk i sur., 2019.).

Nadalje, Faisal i sur. (2017.) zaključuju da neenzimsko posmeđivanje i razgradnja pigmenata povećavaju intenzitet žute boje tijekom ekstruzijskog kuhanja. Tim reakcijama mogli su biti oštećeni karotenoidi te je gubitak boje mogao biti izazvan posmeđivanjem. Smatraju da je to posljedica visokog sadržaja vlakana u tropu jabuke, koji tijekom ekstruzije može utjecati na želatinizaciju škroba.

Povišenje temperature utječe na intenzitet boje, a sadržaj vlage početnog materijala na svjetlinu ekstrudata (Badrie i Mellowses, 1991.).

**Slika 19** prikazuje utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu i postupak ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI). Uspoređujući neekstrudirane uzorke, iz dobivenih rezultata, s ekstrudiranim uzorcima uočeno je da ekstruzijom dolazi do povećanja indeksa apsorpcije vode. Kod neekstrudiranih uzoraka indeks apsorpcije vode raste povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka. Dok, kod ekstrudiranih uzoraka indeks apsorpcije vode opada s povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka. Uspoređujući dobivene rezultate sa rezultatima za ekspanzijski omjer ekstrudata, može se uočiti da uzorci s većom ekspanzijom imaju i veći indeks apsorpcije vode.

**Slika 20** prikazuje utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI). Iz rezultata je vidljivo da se indeks topljivosti u vodi povećava s dodatkom tropa starih sorti jabuka kod neekstrudiranih uzoraka, dok kod ekstrudiranih uzoraka dolazi do smanjenja indeksa topljivosti u vodi povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka i procesom ekstruzije.

Indirektnim pokazateljem nesmetane i potpune želatinizacije granula škroba može se smatrati indeks apsorpcije vode, a on predstavlja sposobnost škroba za upijanje vode (Zhu i sur., 2010.), dok indeks topljivosti u vodi ovisi o količini topljivih molekula i povezan je s razgradnjom škroba (Gutkoski i El-Dash, 1999.).

Ačkar i sur., (2018.) su u svom radu naveli neznatno povećanje indeksa apsorpcije vode i indeksa topljivosti u vodi, kao posljedicu većeg udjela topivih i netopivih vlakana. Također, taj porast je znatno izraženiji kod ekstrudiranih proizvoda, s manjim udjelom dodanog nusproizvoda.

**Slika 21** prikazuje utjecaj dodatka starih sorti jabuka te postupka ekstruzije na udio ukupnih polifenola. Vidljivo je da neekstrudirani uzorci imaju veći udio polifenola u odnosu na ekstrudirane uzorke te da povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka, raste i udio ukupnih polifenola. Izuzetak je samo uzorak kukuruzna krupica : trop jabuke (96 : 4).

Smanjenje udjela polifenola nakon procesa ekstruzije može biti rezultat njihove razgradnje pri visokim temperaturama ekstruzije ili promjene u strukturi koja uzrokuju smanjenu reaktivnost fenolnih spojeva (Jozinović i sur., 2021.).

Droždž i sur., (2014.) potvrđuju u svom radu da trop jabuke, koji se koristio za proizvodnju ekstrudiranih snack proizvoda, ima dvostruko veći sadržaj polifenola u odnosu na

neekstrudiranu kukuruznu krupicu. Nadalje, zaključuju da dodatak tropa jabuke ima pozitivan utjecaj, na vrijednost polifenola u ekstrudatima krupice kukuruza i tropa jabuke.

**Slika 22** prikazuje utjecaj postupka ekstruzije i dodatka tropa starih sorti jabuka na antioksidativnu aktivnost. Iz rezultata je vidljivo da veću antioksidativnu aktivnost imaju neekstrudirani uzorci u odnosu na ekstrudirane. Vidljivo je da veću antioksidativnu aktivnost imaju uzorci u koje je dodavan trop starih sorti jabuka, u odnosu na sam kontrolni uzorak.

Antioksidativna aktivnost ekstrudiranih proizvoda ovisi o razini bioaktivnih spojeva i o njihovom sastavu. Visoke temperature su štetne za antioksidativnu aktivnost. Dodavanje tropa jabuke kukuruznoj krupici poboljšalo je sadržaj fitokemijskih spojeva i antioksidaciju aktivnost te se time dobiva namirnica sa funkcionalnim karakteristikama (Vargas i sur., 2022.).

Tomaszewska-Ciosk i sur. (2019.), potvrđuju da snack proizvodi sa dodanim nusproizvodima imaju veću antioksidativnu aktivnost u odnosu na snack proizvode u koje nisu dodani nusproizvodi. Također, što je veći udio dodanog nusproizvoda to je veća antioksidativna aktivnost.

**Tablica 4** prikazuje utjecaj dodatka tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu te postupka ekstruzije na viskoznost. Iz rezultata vidljivo je da ekstrudirani uzorci imaju sniženu vrijednost viskoznosti vrha u odnosu na neekstrudirane. Neekstrudirani kontrolni uzorak kukuruzne krupice imao je višu vrijednost viskoznosti vrha u odnosu na sve ostale neekstrudirane i ekstrudirane smjese kukuruzne krupice : trop starih sorti jabuka. Uočava se iz rezultata da se dodavanjem tropa jabuke postepeno smanjuje vrijednost viskoznosti vrha kod neekstrudiranih uzoraka.

Zagrijavanjem na 92 °C kod neekstrudiranih uzoraka, viskoznost se smanjila. Miješanjem i zadržavanjem na toj temperaturi 5 minuta dolazi do ponovnog povećanja viskoznosti te su dobivene vrijednosti približne početnim vrijednostima. Nadalje, nakon početnog smanjenja viskoznosti zagrijavanjem na 92 °C, kod ekstrudiranih uzoraka vrijednosti se nisu značajno mijenjale.

Hlađenjem na 50 °C dolazi do povećanja vrijednosti viskoznosti svi neekstrudiranih uzoraka, a kod ekstrudiranih uzoraka vidljivo je povećanje vrijednosti samo za uzorak kukuruzna krupica : trop jabuke (88 : 12). Miješanjem i zadržavanjem na toj temperaturi 1 minutu rezultati se

značajno ne povećavaju. Tijekom hlađenja odvija se retrogradacija škroba te time dolazi do povećanja viskoznosti.

Neekstrudirani uzorci su dobre stabilnosti pri miješanju na visokim temperaturama, dok ekstrudirani nisu toliko stabilni te je zbog toga u rezultatima prisutna njihova vrijednost kidanja. Najveću vrijednost za kidanje imao je ekstrudirani uzorak kukuruzne krupice, a nakon njega kukuruzna krupica : trop jabuke (88 : 12). Za ostale uzorke vrijednosti iznose  $0 \pm 0,0$  BU.

Iz vrijednosti podataka za „*setback*“, može se očitati sklonost retrogradaciji i uočiti da su njoj skloniji neekstrudirani uzorci jer pokazuju više vrijednosti prema tablici u odnosu na ekstrudirane uzorke.

Jozinović i sur. (2012.a., 2012.b.), utvrdili su da nakon provedenog procesa ekstruzije dolazi do smanjenja viskoznosti.

Hagenimana i sur. (2006.), navode da viskoznost paste u velikoj mjeri ovisi o stupnju želatinizacije škrobnih granula i njihovoj molekularnoj razgradnji te da se tijekom procesa ekstruzije viskoznost smanjuje zbog većeg stupnja degradacije i želatinizacije škroba.

Ondo i sur. (2013.) su zaključili da viskoznost paste ovisi još i o sklonosti retrogradaciji uslijed hlađenja.



## **6. ZAKLJUČCI**

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

1. Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) smanjio se s povećanjem udjela tropa starih sorti jabuka u zamjesu.
2. Dodatkom veće količine tropa starih sorti jabuka u zamjes, povećala se i nasipna masa (BD) ekstrudata smjesa kukuruzna krupica : trop starih sorti jabuka.
3. Proporcionalno količini dodanog tropa starih sorti jabuka, povećavala se tvrdoća, a smanjivala lomljivost. To je u skladu s rezultatima dobivenim za ekspanzijski omjer, tj. bolje ekspanzirani uzorci imali su manju tvrdoću i veću lomljivost.
4. Rezultati mjerenja boje pokazali su da je došlo do potamnjenja i smanjenja zasićenosti kod uzoraka u koje je dodan trop starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu te je proveden postupak ekstruzije. Boja uzoraka bila je u domeni crvene, žute i zelene boje.
5. Značajno povećanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI) rezultat su postupka ekstruzije.
6. Dodatak tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu povećao se sadržaj ukupnih polifenola u neekstrudiranim uzorcima, a u uzorcima nakon ekstruzije dolazi do razgradnje polifenola te se njihov udio smanjuje.
7. Udio antioksidansa se povećao s dodatkom tropa starih sorti jabuka u kukuruznu krupicu, tj. što je veći udio dodanog tropa starih sorti jabuka to je veća antioksidativna aktivnost. Nakon provođenja ekstruzije dolazi do smanjenja udjela antioksidansa.
8. Nakon provedenog procesa ekstruzije kod svih uzoraka došlo je do smanjenja vrijednosti viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C. Iz niskih vrijednosti *kidanja* se može zaključiti da bolju stabilnost tijekom miješanja na visokim temperaturama imaju neekstrudirani uzorci u odnosu na ekstrudirane. Nadalje, prema vrijednostima za „*setback*“, može se zaključiti da su ekstrudirani uzorci manje skloni retrogradaciji u odnosu na ekstrudirane.

## **7. LITERATURA**

- Ačkar Đ, Jozinović A, Babić J, Miličević B, Panak Balentić J, Šubarić D: Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47 : 517-524, 2018.
- 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.
- Badrie N, Mellowes WA: Effect of Extrusion Variables on Cassava Extrudates. *Journal of Food Science*, 56 (5):1334 – 1337, 1991.
- Bemiller J, Whistler R: Structure, Composition and Quality of Grain. U *Starch, Chemistry and Technology. 3rd Edition*, str. 375-378. Academy Press, Cambridge, 2009.
- Bender W, Böger HH: A Short History of the Extruder in Ceramics. U *Extrusion in Ceramics*, str. 85-86. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2009.
- Bishart 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):1-14, 2013.
- Bouvier JM, Campanella OH: Specificities of the intermeshing co-rotating twin screw-barrel assembly. U *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*, str. 19 WILEY Blackwell, John Wiley and Sons, Ltd., Ujedinjeno Kraljevstvo, 2014.
- Brnčić M, Ježek D, Rimac Brnčić S, Bosiljkov T, Tripalo B: Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva izravno ekspaniranog kukuruznog ekstrudata. *Mljekarstvo*, 58(2):131-149, 2008.
- Carson KJ, Collins JL, Penfield MP: Unrefined, Dried Apple Pomace as a Potential Food Ingredient. *Journal of food science*, 59(6):1213–1215, 1994.
- Case SE, Hamann DD, Schwartz SJ: Effect of Starch Gelatinization on Physical Properties of Extruded Wheat- and Corn-Based Products. U *Cereal Chemistry*, 69(4):401-404, 1992.
- Delgado-Gonzalez MJ, Carmona-Jimenez Y, Rodriguez-Dodero M.C., Garcia-Moreno MV: Color Space Mathematical Modeling Using Microsoft Excel. *Journal of Chemical Education*, 95:1885-1889, 2018.
- Drożdż W, Tomaszewska-Ciosk E, Zdybel E, Boruckowska H, Boruckowski T, Regiec P: Effect of apple and rosehip pomaces on colour, total phenolics and antioxidant activity of corn extruded snack. *Polish Journal of Chemical Technology*, 16(3):7–11, 2014.
- Faisal S, Mani I, Gupta RK, Sahoo PK, Jha SK, Singh B, Sarkar SK, Khura TK: Response surface analysis and process optimization of twin screw extrusion of apple pomace blended snacks. *Indian Journal of Agricultural Science*, 87(11):1499-1506, 2017.

- Ganjyal GM: General design of an extruder and terminology. U *Extrusion Cooking*, str. 6-10. Elsevier Inc., Duxford, 2020.
- Grigoras GC, Destandau E, Fougère L, Elfakir C: Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds. *Industrial crops and products*, 49:794-804, 2013.
- Gutkoski LC, EL-DASH AA: Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54:315-325, 1999.
- Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43:38-46, 2006.
- 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: Materijali s predavanja na kolegiju: „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.
- Jozinović A: Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2015.
- Jukić M, Koceva Komlenić D: Materijali s predavanja na kolegiju: „Osnove tehnologije žitarica“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.
- Karkle EL, Keller L, Dogan H, Alavi S: Matrix transformation in fiber-added extruded products: Impact of different hydration regimens on texture, microstructure and digestibility. *Journal of Food Engineering*, 108:171-182, 2012.
- Lončarić A: Utjecaj dodatka šećera i praha kore jabuka na udio polifenola i antioksidacijsku aktivnost kaša od jabuka. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2014.
- Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb, 2003.
- Moscicki L: Extrusion-Cooking Techniques. WILEY-VCH Verlag & Co. KgaA, Weinheim, Germany, 2011.
- Ondo SE, Singkhornart, Ryu G: Effects of die temperature, alkalized cocoa powder content and CO<sub>2</sub> gas injection on physical properties of extruded cornmeal. *Journal of Food Engineering*, 117:173-182, 2013.
- Pichler A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2020.

- Riaz MN, Rokey GJ: What are the different types of twin screw extruders that are available?. U *Extrusion problems solved*, str. 30. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2012.
- Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. In *Extruders in Food Applications*, str. 6-20. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Robin F, Dattinger S, Boire A, Forny L, Horvat M, Schuchmann HP, Palzer S: Elastic properties of extruded starchy melts containing wheat bran using on-line rheology and dynamic mechanical thermal analysis. *Journal of Food Engineering*, 109: 414-423, 2012.
- Royer G, Madieta E, Symoneaux R, Jourjon F: Preliminary study of the production of apple pomace and quince jelly. *LWT*, 39:1022-1025, 2006.
- Singha P, Muthukumarappan K: Single screw extrusion of apple pomace-enriched blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Food Science and Technology International*, 24(5):447-462, 2018.
- Singha P, Singh SK, Muthukumarappan K: Textural and structural characterization of extrudates from apple pomace, defatted soy flour and corn grits. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4):e13046, 2019.
- Sudha ML, Baskaran V, Leelavathi K: Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104:686-692, 2006.
- Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: Interna skripta iz kolegija „Tehnologija škroba“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2016.
- Tanasković I: Utjecaj dodatka zobi na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2014.
- Tomaszewska-Ciosk E, Zdybel E, Lech K, Nems A: Effect of ethanol on properties of extrudates enriched with high-fibre by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 54:2811-2820, 2019.
- Vargas LEA, Gomez ACA, Aguayo RJ, Vargas TA, Hernandez UJP, Palma RHM, Navarro CRO: Phytochemical content and antioxidant activity of extruded products made from yellow corn supplemented with apple pomace powder. *Food Science and Technology (Brazil)*, 42:e91221, 2022.
- Zhu L, Shukri R, Jhoe de Mesa-Stonestreet N, Alavi S, Dogan H, Shi Y: Mechanical and microstructural properties of soy protein – high amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100:232-238, 2010.