

Utjecaj dodatka tropa jabuke na svojstva kukuruznih snack proizvoda

Huzjak, Đurđica

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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:109:046216>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

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



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

Đurđica Huzjak

**UTJECAJ DODATKA TROPA JABUKE NA SVOJSTVA
KUKURUZNIH SNACK PROIZVODA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2014.

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 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na IX. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18. lipnja 2014.
Mentor: *prof. dr. sc. Drago Šubarić*
Pomoć pri izradi:

UTJECAJ DODATKA TROPA JABUKE NA SVOJSTVA KUKURUZNIH SNACK PROIZVODA

Đurđica Huzjak, 177/DI

Sažetak:

Ekstruzijsko kuhanje predstavlja jedan od najznačajnijih jediničnih procesa u proizvodnji hrane, gdje se jako često kao osnovna sirovina upotrebljava kukuruzna krupica. Zbog poboljšanja fizikalno-kemijskih osobina i nutritivne vrijednosti proizvoda, u kukuruznu krupicu se mogu dodavati brašna različitih žitarica, osušeno voće i povrće i dr.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka tropa jabuke u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice te njegov utjecaj na svojstva ekstrudata. Omjeri smjesa (kukuruzna krupica : trop jabuke) korištenih u istraživanju su: 95 : 5, 90 : 10 i 85 : 15. Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su pri temperaturnom profilu 135/170/170 °C. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva u odnosu na neekstrudirane uzorke.

Istraživanjem je utvrđeno da je dodatkom tropa jabuke došlo do smanjenja ekspanzijskog omjera (EO) i povećanja nasipne mase ekstrudata. Tvrdoa ekstrudata povećala se dodatkom tropa jabuke, dok se lomljivost smanjila. Dodatak tropa jabuke i proces ekstruzije uzrokovali su potamnivanje uzoraka te smanjenje zasićenosti boje. Nadalje, ekstruzijom su se povećali indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI), dok je udio pepela u uzorcima neznatno promijenjen, a udio masti smanjen. Dodatak tropa jabuke i proces ekstruzije uzrokovali su smanjenje viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C te su ekstrudirani uzorci bili manje skloni retrogradaciji.

Ključne riječi: ekstruzija, kukuruzna krupica, trop jabuke

Rad sadrži: 43 stranica
18 slika
3 tablica
0 priloga
39 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

- | | | |
|----|--|---------------|
| 1. | dr. sc. <i>Jurislav Babić</i> , izv. prof. | predsjednik |
| 2. | dr. sc. <i>Drago Šubarić</i> , red. prof. | član-mentor |
| 3. | dr. sc. <i>Đurđica Ačkar</i> , doc. | član |
| 4. | dr. sc. <i>Borislav Miličević</i> , izv. prof. | zamjena člana |

Datum obrane: 30. rujna 2014.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technologies
Subdepartment of Carbohydrate Technology
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of carbohydrates and confectionary products

Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. IX. held on June 18th, 2014.

Mentor: *Drago Šubarić*, PhD, full prof.

Technical assistance:

INFLUENCE OF APPLE POMACE ADDITION ON PROPERTIES OF CORN SNACK PRODUCTS

Đurđica Huzjak, 177/DI

Summary:

Extrusion cooking represents one of the most important operations in food production, where corn meal is often used as main raw material. In order to increase nutritive value and improve physical and chemical properties, in corn meal can be added flours of different grains, dehydrated fruits and vegetables, etc. The aim of this research was to determine the influence of apple pomace addition on properties of extruded products based on corn meal. Mixture ratios (corn meal : apple pomace) used in this study were: 95 : 5, 90 : 10 and 85 : 15. Mixtures with 15% moisture content were extruded at temperature regime 135/170/170 °C. Physical, thermophysical and rheological properties of the obtained extrudates were investigated in relation to non-extruded samples.

It was found that with addition of apple pomace expansion ratio decreased and bulk density of extrudates increased. The hardness of extrudates increased with adding of apple pomace in mixture, but on the other hand fracturability decreased. Apple pomace addition and extrusion process caused browning of samples and reduction of color saturation. Furthermore, extrusion also resulted in the increase of water absorption (WAI) and water solubility index (WSI), while the ash content in samples is slightly changed, and fat content is decreased. Addition of apple pomace and extrusion process caused the reduction of peak viscosity and viscosities at 92 °C and 50 °C, and the extruded samples were less prone to retrogradation.

Key words: extrusion, corn meal, apple pomace

Thesis contains: 43 pages
18 figures
3 tables
0 supplements
39 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|---|--------------|
| 1. <i>Jurislav Babić</i> , PhD, associate prof. | chair person |
| 2. <i>Drago Šubarić</i> , PhD, full prof. | supervisor |
| 3. <i>Đurđica Ačkar</i> , PhD, assistant prof | member |
| 4. <i>Borislav Miličević</i> , PhD, associate prof. | stand-in |

Defense date: September 30th, 2014.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Zahvaljujem najprije svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i uz ostatak obitelji bili moja najveća podrška tijekom cijelog studiranja. Nadalje, zahvaljujem prijateljima koji su također sudjelovali i davali mi podršku. Posebno zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Dragi Šbariću, prof. dr. sc. Jurislavu Babiću, doc. dr. sc. Đurđici Ačkar i Antunu Jozinoviću, mag. ing. techn. aliment. na velikoj pomoći u izradi rada.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. EKSTRUZIJA	4
2.1.1. Povijest, razvoj i primjena ekstruzije.....	5
2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji.....	6
2.2. PODJELA EKSTRUDERA	7
2.2.1. Ekstruderi s termodinamičkim uvjetima rada.....	7
2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka	8
2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini (intenzitetu) smicanja	10
2.2.4. Ekstruderi koji se primjenjuju u prehrambenoj industriji	10
2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA	11
2.4. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA	13
2.4.1. Kukuruz (<i>Zea mays</i>)	14
2.4.2. Trop jabuke.....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. ZADATAK	18
3.2. MATERIJALI I METODE	18
3.2.1. Materijali	18
3.2.2. Metode.....	18
3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s tropom od jabuke	18
3.2.2.2. Određivanje dijametra ekstrudata (de) i ekspanzijskog omjera (EO)	18
3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata	19
3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata	19
3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom.....	20
3.2.2.6. Određivanje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI)	20
3.2.2.7. Određivanje količine pepela	21
3.2.2.8. Određivanje udjela masti	22
3.2.2.9. Određivanje viskoznoati brašna Brabenderovim viskografom.....	23
4. REZULTATI	25
5. RASPRAVA	32
6. ZAKLJUČCI	38
7. LITERATURA	40

1. UVOD

Ekstruzija je termički proces u kojem se neki materijal uz pomoć klipa ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, miješanje i smicanje kroz ekstruder i sapnicu. Sapnica se nalazi na kraju stacionarnog kućišta te je izrađena tako da oblikuje ili ekspanzijom suši proizvod koji se naziva ekstrudat. Materijal se u ekstruderu zagrijava uslijed trenja i smicanja.

Zbog svoje višestruke primjene (snack proizvodi, tjestenina, hrana za kućne ljubimce, cijevi...) i energetske učinkovitosti proces ekstruzije, ili kako ga se ponekad naziva „ekstruzijsko kuhanje“ (engl. *extrusion cooking*), razvio se u posljednje vrijeme u jedan od najznačajnijih jediničnih procesa u proizvodnji hrane, koji vrlo često zamjenjuje istovremeno dva ili više tradicionalnih procesa.

Promjene u prehrambenim navikama ljudske populacije te težnja za što zdravijim načinom prehrane, a time i proizvodima, stavili su pred proizvođače izazov da povećaju nutritivnu vrijednost (prehrambena vlakna, vitamini, minerali...) prehrambenih proizvoda. Kukuruz, zob, pšenica, riža, ječam, tapioka i raž su najznačajnije sirovine koje se koriste u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Jedna od alternativa u poboljšavanju prehrambene vrijednosti takvih proizvoda je dodatak voća i povrća u proizvod, čime se povećava nutritivna vrijednost proizvoda.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka tropa jabuke u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice te njegov utjecaj na svojstva ekstrudata.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Po definiciji, ekstruzija je kontinuirani mehanički i termički proces u kojem se neki materijal prisiljava na gibanje s pomoću klipa (stapa) ili prolazom između jednog (ili dva) rotirajućeg puža i stacionarnog kućišta i izlaskom kroz sapnicu specifičnog oblika (Lovrić, 2003.) Da bi se to ostvarilo, materijal mora djelomično ili u potpunosti biti u obliku fluida kako ne bi blokirao otvor pri izlasku i pri određenom tlaku (Babić, 2011.).

Proces ekstruzije uključuje:

- želatinizaciju;
- kuhanje;
- molekularnu dezintegraciju;
- miješanje;
- sterilizaciju;
- oblikovanje;
- homogenizaciju;
- ekspanzijsko sušenje (Lovrić, 2003.).

Ekstruzija uključuje dvije ili više navedenih funkcija (Pozderović, 2009.).

Ekstruzijsko kuhanje se najčešće primjenjuje na škrobnim ili proteinima bogatim sirovinama. Iako je ta primjena danas pretežno ograničena na proizvode s niskim udjelom vode, novija su istraživanja usmjerena i na proizvode s većim sadržajem vode (40 – 80%) (Lovrić, 2003.). Proces ekstruzije, odnosno uvjeti pri kojima se provodi razlikuju se ovisno o upotrijebljenoj sirovini (Guy, 2001.). Općenito, ekstruzijom se povećava probavljivost hrane i smanjuje broj mikroorganizama, a proizvodi mogu biti pjenasti i u obliku peleta (Pozderović, 2009.).

Glavne prednosti ekstruzije u odnosu na tradicionalne procese mogu se svesti na slijedeće:

- brza izmjena topline s HTST obilježjima;
- veliki kapacitet s obzirom na ulaganja i prostor;
- veliki energetska učinak zbog relativno niske vlažnosti materijala;
- kontinuiranost i automatizacija procesa uz mali utrošak radne snage;
- precizna kontrola trajanja i temperaturnog režima procesa, što se odražava u dobroj ujednačenosti proizvoda;
- mogućnost upotrebe različitih sastojaka i dobivanje širokog spektra proizvoda;
- bez otpada (Lovrić, 2003.).

Najpopularniji ekstruzijom dobiveni proizvodi uključuju:

- direktno ekstrudirane snack proizvode, pahuljice od žitarica za doručak i raznovrsni slični proizvodi koji se razlikuju po obliku, boji i okusu te se lako proizvode;
- snack pelete – poluproizvode predodređene za dobivanje prženih ili ekspanziranih snack proizvoda, prethodno kuhana tjestenina;
- hranu za bebe, prethodno kuhana brašna, instant koncentrate, funkcionalne komponente;
- hranu za kućne ljubimce, stočnu hranu i zamjene za mlijeko;
- teksturirane biljne proteine (uglavnom dobiveni od soje) koji se upotrebljavaju u proizvodnji zamjena za meso;
- svježi kruh, krušne mrvice, emulzije i paste;
- proizvode za farmaceutsku, kemijsku i industriju papira, te industriju piva;
- različite vrste slatkiša, žvakaćih guma, i dr. (Moscicki, 2011.).

2.1.1. Povijest, razvoj i primjena ekstruzije

Razvoj ekstruzije:

- 1979. godina – zabilježena je prva upotreba klipnog ekstrudera, a već nekoliko godina kasnije počinju se proizvoditi makaroni;
- 1869. godina – primjenjuju se ekstruderi sa dva uzajamno zahvaćena vijka u proizvodnji kobasica;
- 1935. godina – primjena hladne ekstruzije u proizvodnji tjestenine, pekarstvu i konditorskoj industriji;
- 1980. godina – primjenom HTST ekstrudera omogućen je veliki napredak primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji (Pozderović, 2009.).

Iako je postupak ekstrudiranja primijenjen već krajem 18. stoljeća u metalurgiji pri proizvodnji bešavnih cijevi i krajem 19. stoljeća u tehnologiji mesnih proizvoda (za nadijevanje kobasica), počeci šire primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji povezani su prvenstveno s proizvodnjom tjestenine, zatim instant proizvoda na bazi žitarica i snack proizvoda (Lovrić, 2003.).

Prva primjena ekstrudera javlja se 1870-ih godina u industriji gume, a prva komercijalna primjena ekstrudera u prehrambenoj industriji javlja se 1920-ih godina i vezana je uz proizvodnju tjestenine, odnosno za formiranje oblika tjestenine. Nakon toga uvode se promjene u sam postupak ekstruzije poput uvođenja termičke obrade tijekom ekstruzije koje se javlja u kasnim 1930-ima. Sredinom 1940-ih prvi su put proizvedeni ekspanzirani snack

proizvodi na bazi kukuruzne krupice. Tijekom 1960-ih započinje proizvodnja cerealijska, a 1970-ih započinje prerada sojinih proteina (tzv. teksturirani biljni proteini koji se koriste u zamjenama za meso). 1950-ih godina sve više raste i proizvodnja suhe ekspanzirane hrane za kućne ljubimce koja danas među ekstrudiranim proizvodima po količini proizvoda zauzima najveći dio. 1980-ih započinje proizvodnja hrane za ribe, prije svega za velika ribogojilišta (Babić, 2011.).

2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji

U tehnološkoj primjeni ekstruzije u proizvodnji hrane obično se razlikuju tri osnovna postupka:

- hladno ekstrudiranje;
- želatinizacija (geliranje);
- toplo ekstrudiranje.

Razvojem početnih funkcija miješanja i oblikovanja proizvoda, te uvođenjem novih jediničnih operacija i procesa, poput kuhanja i teksturiranja i njihovim povezivanjem u jedinstveni kontinuirani proces, suvremeni uređaji za ekstruziju (ekstruderi) mogu se smatrati HTST uređajima, koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove proizvode (Lovrić, 2003.).

Osnovne značajke suvremenih uređaja za ekstruziju, posebice onih namijenjenih ekstruzijskom kuhanju su sljedeće:

- visoka temperatura: 150 – 220 °C, postignuta trenjem, prijelazom topline kroz kućište i/ili injektiranjem pare;
- kratko vrijeme zadržavanja materijala: 10 – 200 s za dužinu kućišta od 0,2 – 3 m;
- visoki tlak: 100 – 200 bara, ovisno o karakteristikama puža;
- velika brzina smicanja: $\geq 100 \text{ s}^{-1}$, za brzine (broj okretaja) puža 50 - 1000 min^{-1} ;
- niska vlažnost: 10 – 30%;
- veliki unos energije: 0,3 – 2 MJkg^{-1} ;
- veliki kapacitet: do 10 Th^{-1} (Lovrić, 2003.).

Ekstruzija se danas primjenjuje za: aglomeraciju manjih čestica u veće, ekspanziranje, dehidrataciju, pasterizaciju i sterilizaciju, želatinizaciju, denaturaciju proteina, usitnjavanje, homogenizaciju i termičko tretiranje. Modeliranje procesa ekstruzije zahtjeva poznavanje reoloških svojstava pretežno ne-Newtonovskih sustava, neizotermne uvjete, odnosno složene uvjete prijelaza topline i ireverzibilne procese (Lovrić, 2003.).

2.2. PODJELA EKSTRUDERA

Ekstruder je uređaj koji ubrzava oblikovanje i restrukturiranje sastojaka hrane. Ekstruzija je svestrana jedinična operacija te se zbog toga može primijeniti za preradu više vrsta hrane. Ekstruderi se primjenjuju za kuhanje, formiranje, miješanje i teksturiranje hrane te sam proces omogućuje visoku produktivnost po nižem trošku. Upotreba ekstrudera za kuhanje se rapidno povećala u proizvodnji hrane i hrane za životinje unazad par godina (Riaz, 2000.).

Ekstruderi u tehnologiji proizvodnje prehrambenih proizvoda mogu se razvrstati na osnovi nekoliko kriterija, kao što su:

- termodinamički uvjeti;
- način stvaranja tlaka u uređaju;
- veličina smicanja (Lovrić, 2003.).

2.2.1. Ekstruderi s termodinamičkim uvjetima rada

a) Adijabatski ekstruderi

Rade pri približno adijabatskim uvjetima (Pozderović, 2009.). U ekstruderima se razvija toplina konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja (protjecanja) materijala u uređaju (tzv. autogeni ekstruderi; u pravilu se u ovim ekstruderima ne dovodi niti odvodi toplina) (Lovrić, 2003.). Tijekom procesa materijal se giba kroz uređaj, zbog visokog tlaka dolazi do smicanja i trenja pri čemu se mehanički rad pretvara u toplinu (Pozderović, 2009.).

b) Izotermni ekstruderi

U ovim ekstruderima se održava određena (konstantna) temperatura hlađenjem, tj. odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplinu (Lovrić, 2003.).

c) Politropski ekstruderi

Ovi uređaji rade između navedenih adijabatskih i izotermnih uvjeta. Ustvari, to su svi ekstruderi u prehrambenoj industriji, s tim da se jedni u većoj mjeri približavaju adijabatskim, a drugi izotermnim uvjetima (Lovrić, 2003.).

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

a) Ekstruderi pozitivnog tlaka, tzv. direktnog tipa

To su ekstruderi koji stvaraju pozitivan tlak, a mogu biti:

- klipni ekstruderi;
- pužni ekstruderi sa jednim ili dva vijka (Pozderović, 2009.).

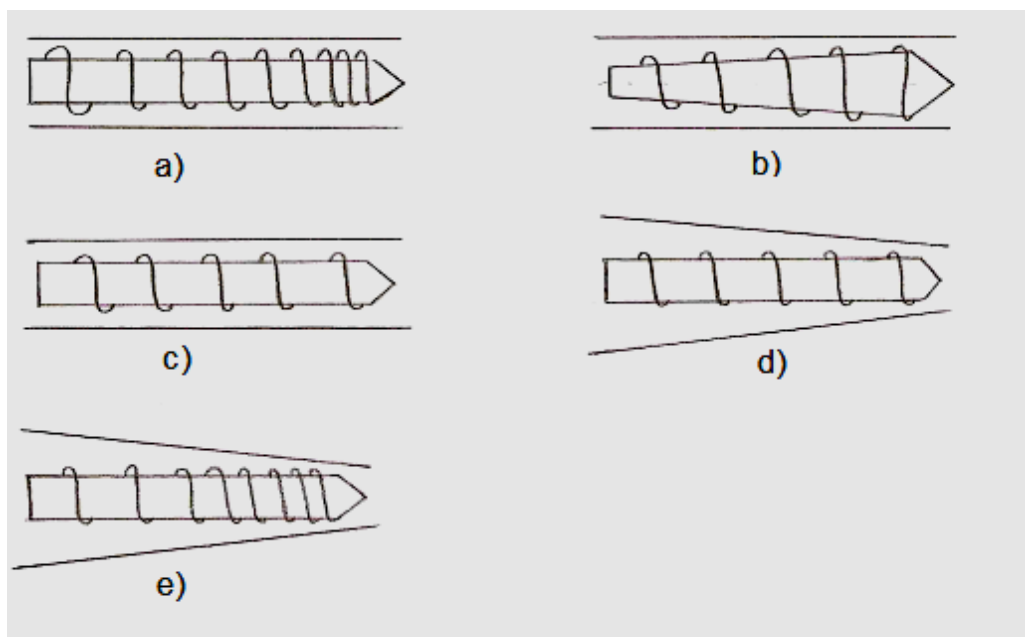
Klipni ekstruderi

Najjednostavniji ekstruderi, sastoje se od klipa i cilindra. Klip tlači materijal kroz cilindar pri čemu dolazi do smika (smicanja) pa su svojstva ekstrudata skoro neizmijenjena u odnosu na ulazni materijal. Ovaj jednostavan ekstruder se primjenjuje za nadijevanje kobasica u mesnoj industriji te za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženih kukuruznih čipseva (Pozderović, 2009.).

Pužni (vijčani) ekstruderi

To su ekstruderi s jednim ili dva paralelna puža ili vijka. Kod ekstrudera sa dva vijka vijci su postavljeni paralelno i oni mogu biti različite konstrukcije. Mogu biti isprepleteni potpuno ili djelomično, te mogu biti potpuno razdvojeni. Ekstruderi sa jednim vijkom mogu biti sa smanjenjem koraka vijka i sa smanjenjem promjera vijka ili kućišta, a može i oboje. Na **Slici 1** prikazana je podjela jednovijčanih ekstrudera prema izvedbi vijka i kućišta koji mogu biti:

- a) kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju;
- b) kod kojih se promjer puža povećava prema kraju;
- c) kod kojih su navoji (žljebovi) na unutarnjoj površini kućišta;
- d) kod kojih se kućište konično sužava;
- e) kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju, dok se kućište konično sužava (Pozderović, 2009.).



Slika1 Tipovi puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera. a) korak puža se smanjuje prema kraju; b) promjer puža se povećava prema kraju; c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta; d) kućište se konično sužava; e) korak puža se smanjuje prema kraju, a kućište se konično sužava (Babić, 2011.)

Jednopužni ekstruderi su pogodni za postizanje visokog tlaka ovisno o duljini pužnice, dubini žljebova, konstrukciji vijka i viskoznosti materijala (Pozderović, 2009.).

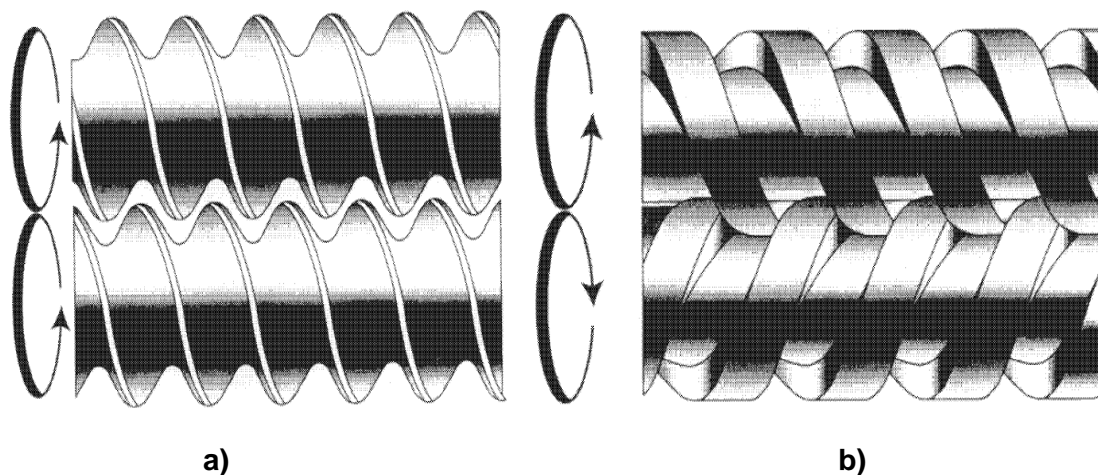
Razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta unutar uređaja. Kod jednopužnih transport materijala se vrši zbog razlike sile trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Kod dvopužnih ekstrudera s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. U tom slučaju je trenje od manjeg značaja (Pozderović, 2009.).

Kod pužnih ili vijčanih ekstrudera zbog viskoznog gibanja materijala između vijaka i između vijaka i kućišta dolazi do smicanja (smika) i oslobađanja topline. Osim toga materijal se značajno miješa. Što je niža vlažnost materijala sila smicanja je veća pa se oslobađa veća količina topline (Pozderović, 2009.).

Ovi ekstruderi se upotrebljavaju u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal kao što su kobasice, flips, čokolada, žvakaće gume (Pozderović, 2009.)

Na **Slici 2** prikazana je podjela ekstrudera sa dva puža koji mogu biti:

- a) sa okretanjem vijaka u istom smjeru;
- b) sa okretanjem vijaka u suprotnim smjerovima (Riaz, 2000.).



Slika 2 Dvopužni ekstruderi sa kretanjem puževa u istom smjeru (a) i kretanjem puževa u suprotnom smjeru (b) (Riaz, 2000.)

b) Ekstruderi indirektnog tipa – viskozno-vlačnog toka

Ovi ekstruderi su izvedeni tako da se tijekom gibanja materijala kroz ekstruder materijal ponaša kao ne-Newtonovska tekućina. Oni bitno utječu na promjene svojstava materijala, koriste se za dobivanje proizvoda u obliku pločica i za ekstrudiranje vrlo ljepljivih materijala. Osnovna primjena ovih ekstrudera je u konditorskoj industriji (Pozderović, 2009.).

2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini (intenzitetu) smicanja

Prema intenzitetu odnosno veličini smicanja kojem je materijal izložen tijekom ekstruzije dijele se na:

- Nisko smične ekstrudere;
- Srednje smične ekstrudere;
- Visoko smične ekstrudere (Pozderović, 2009.).

2.2.4. Ekstruderi koji se primjenjuju u prehrambenoj industriji

Ekstruderi za proizvodnju ekspandiranih ekstrudata žitarica

To su proizvodi tipa smoki, kroki i slično te slana koktel peciva. Za dobivanje ovih proizvoda koriste se ekstruderi kod kojih je moguće kuhanje pri visokim temperaturama uz određeni sadržaj vlage. Ovi ekstruderi brzo stvaraju visoku toplinu materijala. Rade s velikim obodnim brzinama i malom količinom materijala da bi se skratilo vrijeme zadržavanja proizvoda u ekstruderu (Pozderović, 2009.).

Ekstruderi za kuhanje tjestastih materijala

Upotrebljavaju se za obradu materijala s visokim sadržajem vlage jer omogućuju dulje kuhanje, ali manje agresivno. Rade kod manjih obodnih brzina pa je zagrijavanje manje. Imaju užlijebljene cilindre i zagrijavaju se izvana. Užlijebljene stjenke se koriste da ne dođe do proklizavanja materijala. Kod glatkih stijenki i kod obrade materijala s više vlage dolazi do proklizavanja pa je posljedica toga slabije zagrijavanje. Koriste se kao jedna vrsta kuhala za tjestaste materijale s visokim sadržajem vlage. Ovakvi ekstruderi su vrlo fleksibilni i široko se primjenjuju. Proizvodi dobiveni ovim načinom obično idu na daljnju doradu (sušenje, pečenje, prženje,...) (Pozderović, 2009.).

Ekstruderi za oblikovanje materijala s visokim udjelom vlage

Ovi ekstruderi rade zapravo na hladno jer je količina topline koja se oslobađa radom svedena na minimum. Proizvode visoke tlakove za oblikovanje materijala. Unutarnja površina cilindra može, a i ne mora biti užlijebljena, a obično je ako se želi spriječiti proklizavanje na površini. Ti žljebovi mogu biti spiralni, a koriste se kako bi se ubrzao ili usporio protok materijala (Pozderović, 2009.).

Ekstruderi za oblikovanje tjestenine

Najbliži su idealnim ekstruderima jer imaju glatku površinu cilindra, nemaju sekciju transporta materijala. Promjer puža je isti po cijeloj dužini. Prema termodinamičkim uvjetima rada najbliži je izotermnom. Koriste se za proizvodnju makarona i sličnih proizvoda (Pozderović, 2009.).

Ekstruderi s hlađenjem za oblikovanje suhog granuliranog materijala

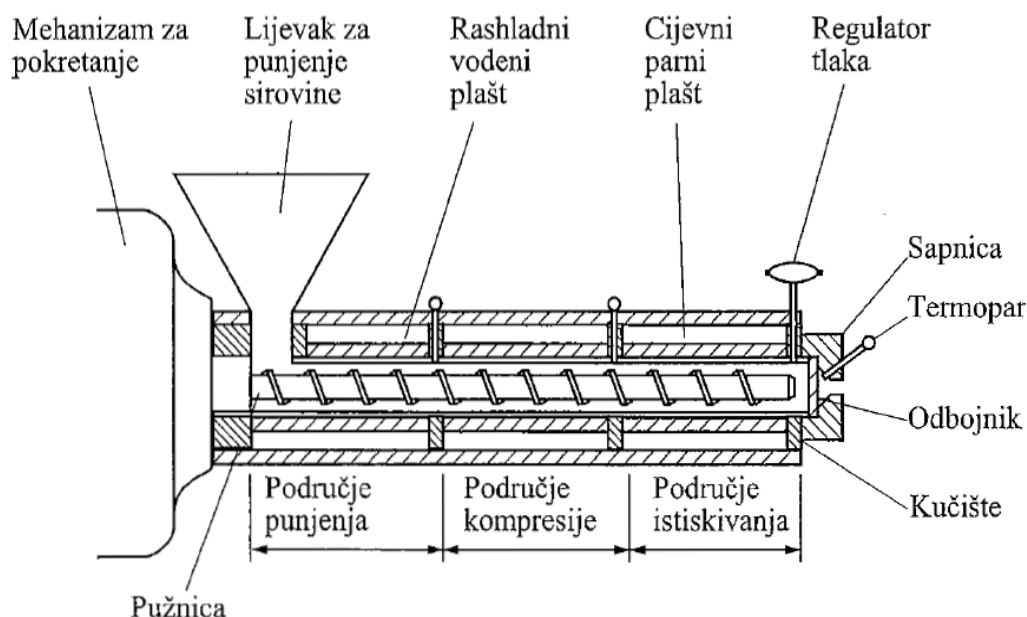
Ovi ekstruderi imaju hlađenje radi odvođenja nastale topline. To su uređaji visokog smika (smicanja) i kratkog vremena zadržavanja. Veliki dio mehaničkog rada pretvara se u toplinsku energiju zbog male vlažnosti materijala i velikog smicanja (Pozderović, 2009.).

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Ekstruderi se u pravilu sastoje od sljedećih zona:

1. Zone uvlačenja (napajanja);
2. Zone kompresije (prijelaza);
3. Zone istiskivanja (Pozderović, 2009.).

Na **Slici 3** prikazane su navedene zone ekstrudera.



Slika 3 Presjek jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (sekcijama)
(Lovrić, 2003.)

Zadaća zone *uvlačenja (napajanja)* je da prihvati materijal i da ga transportira u zonu kompresije (Pozderović, 2009.).

U *zoni kompresije (prijelaza)* vrši se kompresija materijala, gdje se mehanička energija pretvara u toplinu što uzrokuje porast temperature i plastificiranje materijala koji je u početku bio praškast ili u vidu granula. U ovoj fazi zbog zagrijavanja dolazi do kuhanja, geliranja odnosno želatinizacije i sterilizacije (Pozderović, 2009.).

I naposljetku, *zadaca zone istiskivanja* je da prihvati stlačeni materijal te da ga homogenizira i potiskuje kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog intenzivnog miješanja zbog sile smika (smicanja) i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz cilindar (Pozderović, 2009.).

U ekstruderu tlak dostiže maksimum pri kraju puža pri čemu kod izlaska materijala iz sapnice tlak pada na atmosferski. Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

- Viskozitetu materijala;
- Obliku i promjeru sapnice;
- Razlici tlaka (Pozderović, 2009.).

Kod ekstrudera kod kojih se postiže visoka temperatura i visoki tlakovi nakon izlaska iz sapnice na atmosferski tlak dolazi do ekspanzijskog sušenja. Pri tome voda naglo izlazi odnosno isparava iz materijala zbog čega dolazi do ekspanzije (povećanja) volumena materijala i dehidracije materijala (flips i slični proizvodi) (Pozderović, 2009.).

2.4. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Sirovine koje se koriste za ekstrudiranje se zovu bipolimetri, a to su tvari bogate škrobom i/ili proteinima (Pozderović, 2009.). Najčešće primjenjivani materijali odnosno sirovine koje sadrže puno škroba su: proizvodi dobiveni od pšenice, kukuruza i riže, krumpirov škrob i osušena krumpirova krupica ili pahuljice. Proizvodi dobiveni od raži, ječma, zobi i heljde se upotrebljavaju u manjoj mjeri, najčešće da se pomoću njih poboljša nutritivna vrijednost te da se poboljša okus i/ili funkcionalne karakteristike ekstrudata (Moscicki, 2011.). Osim brašna različitih žitarica, za dobivanje ekstrudiranih proizvoda upotrebljavaju se i biljni proteini, najčešće sojini, sjemenke suncokreta, pšenični gluten i drugi (Babić, 2011.).

Sirovine koje se koriste za proizvodnju popularnih ekstrudiranih proizvoda posjeduju određene osobine pomoću kojih se postiže različitost među proizvodima. Neke od tih osobina podrazumijevaju:

- Formiranje određene teksture proizvoda;
- Olakšavanje fizikalnih preinaka sirovine tijekom ekstruzijskog kuhanja;
- Utjecaj na viskoznost materijala, ali i na njegovu plastičnost;
- Olakšavanje homogenizacije sastojaka u tjestastim materijalima;
- Ubrzavanje otapanja škroba i ubrzavanje želatinizacije;
- Poboljšavanje okusa i boje proizvodima (Moscicki, 2011.).

Pri odabiru odgovarajuće sirovine potrebno je obratiti pažnju na:

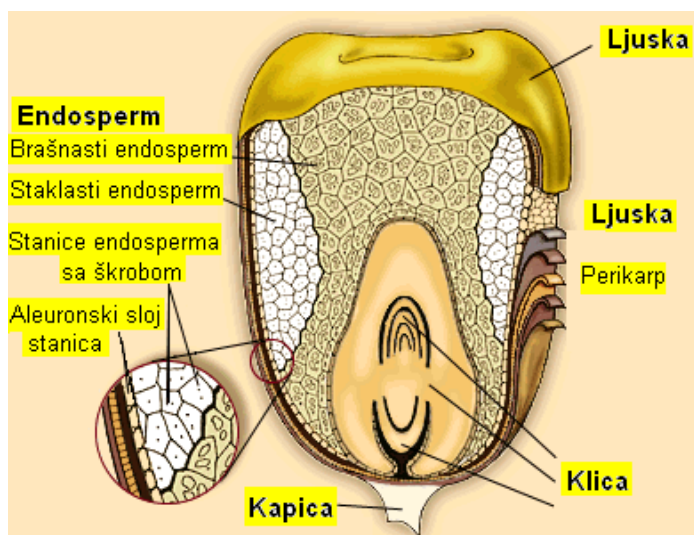
- Nutritivnu vrijednost (primarni čimbenik);
- Cijenu (sekundarni čimbenik);
- Dostupnost sirovine (Babić, 2011.).

U većini slučajeva tijekom ekstruzije procesiraju se tjestaste smjese brašna žitarica ili proteinskih smjesa. Škrob tijekom trajanja procesa želatinizira pri čemu upija određenu količinu vode što za posljedicu daje povišenje viskoznosti. Proteini iz sirovina poboljšavaju elastičnost materijala i zadržavanje plinova u njima (Babić, 2011.).

2.4.1. Kukuruz (*Zea mays*)

Kukuruz je jednogodišnja biljka botaničkog naziva *Zea Mays*. Rod kukuruza (*Zea*) obuhvaća jednu vrstu, međutim postoji više tipova koji se međusobno razlikuju u sastavu i strukturi zrna. Zrna kukuruza rastu na klipku kukuruza. Klip sadrži do 1000 zrna koja sazrijevaju krajem ljeta i u prosjeku teže oko 350 mg. Zrno kukuruza se sastoji od četiri osnovna dijela što je vidljivo na **Slici 4**:

- Ljuska;
- Klica;
- Brašnasti endosperm;
- Staklasti endosperm (Šubarić i sur., 2011.).



Slika 4 Dijelovi zrna kukuruza (Šubarić i sur., 2011.)

Endosperm čini najveći udio zrna (oko 82%) te time sadrži i najviše škroba, a sastoji se od dva dijela: brašnastog i staklastog (rožastog) endosperma. Endosperm prosječno sadrži 98% škroba, 0,74% proteina te 0,16% masti od ukupno prisutno u zrnu (Šubarić i sur., 2011.).

Brašnasti endosperm ima znatno veće stanice, veće granule škroba i tanku proteinsku mrežu. Tanka proteinska mreža puca tijekom sušenja zrna, pri čemu nastaju praznine koje ovom dijelu daju bijeli „brašnasti“ izgled (Šubarić i sur., 2011.).

U staklastom endospermu neoštećena proteinska mreža je deblja te ne puca tijekom sušenja, nego vrši pritisak na škrobne granule zbog čega one poprimaju poligonalan oblik i zbijeniju strukturu (Šubarić i sur., 2011.).

Klica čini oko 11% zrna kukuruza. Od ukupne količine masti u zrnu, u klici se nalazi 84%. Klica također sadrži 22% proteina, 82% pepela te 65% šećera od ukupno prisutnih u zrnu (Šubarić i sur., 2011.).

Proteinima kukuruza poklanja se velika pažnja zbog velikog značaja za prehranu ljudi i životinja, a time i ekonomske važnosti. Oni predstavljaju smjesu nekoliko vrsta proteina: globulini, prolamini te gluten (Šubarić i sur., 2011.).

Ljuska kukuruznog zrna sadrži oko 40% celuloze te isto toliko pentozana. Među šećerima u zrnu, najveći udio čini saharoza (0,9 – 1,9%), zatim glukoza 0,2 – 0,5% te fruktoza 0,1 -0,4%. Klica sadrži oko 2/3 od ukupno prisutnih šećera u zrnu, a ostatak se nalazi u endospermu. **Tablica 1** sadrži podatke o kemijskom sastavu kukuruznog zrna (Šubarić i sur., 2011.).

Tablica 1 Kemijski sastav kukuruznog zrna (Šubarić i sur., 2011.)

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

2.4.2. Trop jabuke

Trop jabuke je glavni nusproizvod koji zaostaje nakon usitnjavanja i prešanja jabuka tijekom proizvodnje soka. Predstavlja 30% od cijeloga ploda te je vrlo podložan biorazgradnji. Zbog toga predstavlja ozbiljan problem za proizvođače koji trebaju zbrinuti ekstremno velike količine takovog otpada na dnevnoj bazi. Trop jabuke je mokr nusproizvod koji se najčešće koristi kao stočna hrana ili kao gnojivo (Grigoras i sur., 2013.). Jedan od postupaka iskorištenja ovog nusproizvoda je njegova upotreba kao sastojka hrane, upravo zbog komponenata koje u svom sastavu sadrži (Royer i sur., 2006.). Trop jabuke sadrži oko 10,8% vlage, 0,5% pepela te 51,1% prehrambenih vlakana (Sudha i sur., 2006.).

Kvaliteta tropa jabuke procjenjuje se na temelju komponenata koje se nalaze u samome plodu i koje zaostaju u tropu nakon prešanja. Između komponenata koje su zastupljene, najviše pažnje se obraća na polifenole, jer je dobro poznato njihovo blagotvorno djelovanje na ljudsko zdravlje, te smanjenje oštećenja koje zadaje oksidativan stres kojeg prouzrokuju slobodni radikali. Osim polifenola, jabuka sadrži i terpenoide. Ove komponente imaju različita djelovanja po ljudski organizam; imaju protuupalno, antimikrobno, antioksidativno djelovanje, štite jetru te imaju izraženo citostatičko djelovanje (Grigoras i sur., 2013.). Osim polifenola i terpenoida, u tropu jabuke nalaze se veće količine pektina, od 13% do 39% (izraženo na suhu tvar) te je vrlo dobar izvor prehrambenih vlakana (Royer i sur., 2006.).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjese kukuruzne krupice s tropom jabuke (omjeri krupica : trop = 95 : 5; 90 : 10; 85 : 15). Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu Brabender 19/20 DN. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva te su rezultati uspoređeni s kontrolnim uzorcima kukuruzne krupice.

3.2. MATERIJALI I METODE

3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

1. kukuruzna krupica iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek proizvedena 2014. godine;
2. trop jabuke proizveden 2013. godine na pužnoj preši i osušen u laboratorijskom sušioniku s ventilacijom, Memmert UFE 500, pri temperaturi od 60 °C te samljeven nakon sušenja na laboratorijskom mlinu IKA MF10 uz upotrebu sita otvora 2 mm.

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjese kukuruzne krupice s tropom jabuke

Postupak ekstruzije proveden je pri sljedećem režimu:

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

Dobiveni ekstrudati osušeni su preko noći te su na njima provedena ispitivanja.

3.2.2.2. Određivanje dijametra ekstrudata (d_e) i ekspanzijskog omjera (EO)

Ekspandiranim suhim ekstrudatima izmjeren je dijametar pomoću pomičnog mjerila (u milimetrima). Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi pet puta te se izračuna srednja vrijednost. Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog s dijametrom sapnice ekstrudera (mm) te se računa prema formuli **(1)** (Brnčić i sur., 2008.):

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

gdje je: EO – ekspanzijski omjer;
 d_e – promjer ekstrudata [mm];
 d_s – promjer sapnice [mm].

3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata

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

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

pri čemu je: BD – nasipna masa ekstrudata (gcm^{-3});

m – masa ekstrudata [g];

d – promjer ekstrudata [cm];

L – dužina ekstrudata [cm].

3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System (**Slika 5**), uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće i lomljivosti štapića pomoću noža. Ekstrudati su za potrebe mjerenja rezani na štapiće dužine 10 cm te su podvrgavani sljedećem testu:

- brzina prije mjerenja: $1,0 \text{ mms}^{-1}$;
- brzina za vrijeme mjerenja: 1 mms^{-1} ;
- brzina nakon mjerenja: 10 mms^{-1} ;
- put noža: 3 mm.



Slika 5 TA.XT2 Plus Texture Analyser (Tanasković, 2014.)

3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom

Za određivanje boje samljevenih ekstrudata, odnosno neekstrudiranih smjesa brašna korišten je kromametar Konica Minolta CR-300 (**Slika 6**) s nastavkom za praškaste materijale. Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh sustavima kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je pet mjerenja u sustavima Lab i LCh te je određena srednja vrijednost. Ukupna promjena boje računata je prema formuli **(3)**:

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

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



Slika 6 Kromametar Konica Minolta CR-300 (Tanasković, 2014.)

3.2.2.6. Određivanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI)

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

Izvaže se 2,5 g samljevenog uzorka u tariranu kivetu za centrifugiranje, volumena 50 mL. U svaki uzorak doda se 30 mL destilirane vode, ispirući stjenke kivete, te se uzorci ostave 30 minuta stajati uz povremeno miješanje, svakih 5 minuta.

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

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

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

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

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

3.2.2.7. Određivanje količine pepela (ISO 5984)

Metoda se zasniva na spaljivanju ispitivanog uzorka u mufolnoj peći na temperaturi $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok ne sagori sva organska tvar i vaganju ostatka.

Prije vaganja lončice treba žariti na temperaturi $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 minuta, ohladiti u eksikatoru na sobnoj temperaturi i vagati na analitičkoj vagi. U lončice za spaljivanje se izvaže 5 g uzorka (m_0) – ako se očekuje manje od 1% pepela na suhu tvar, ili 2 – 3 g – ako se očekuje više od 1% pepela na suhu tvar. Najprije se provede predspaljivanje na električnoj grijaćoj ploči dok uzorak ne karbonizira (**Slika 7**). Zatim se lončici s uzorkom prebace u prethodno zagrijanu mufolnu peć na $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ i žare u trajanju oko 180 minuta (**Slika 8**). Lončici se potom izvade i hlade na termorezistentnoj ploči 1 minutu, a potom prebace u eksikator. Ohlađeni lončici se važu na analitičkoj vagi.



Slika 7 Predspaljivanje na grijaćoj ploči



Slika 8 Žarenje u mufolnoj peći

Količina pepela računa se prema jednakosti (6):

$$w = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 [\%] \quad (6)$$

gdje je: w – količina pepela u suhoj tvari [%];

m_0 – masa praznog lončića [g];

m_1 – masa lončića sa uzorkom [g];

m_2 – masa lončića i pepela [g].

3.2.2.8. Određivanje udjela masti (ISO 6492)

Osnova određivanja sadržaja masti je njihova ekstrakcija iz uzorka organskim otapalom (petrol-eter) sa ili bez prethodne obrade uzorka kiselinom (HCl).

Postupak ekstrakcije provodi se u ekstraktoru po Soxhletu (**Slika 9**). Najprije se u odmašćeni tuljak za ekstrakciju odvaži oko 20 g uzorka. Tikvica po Soxhletu s nekoliko kuglica za vrenje se prethodno osuši na temperaturi 103 ± 2 °C i hladi u eksikatoru te potom važe na analitičkoj vagi. Osušeni tuljak se stavi u ekstraktor, spoji se tikvica i doda petrol-eter. Ekstrakcija traje 4 sata i to tako da se osigura oko 10 prelijevanja po satu. Otapalo se potom predestilira, a ostatak ispari na vodenoj kupelji te se tikvica suši u sušioniku na 103 °C ili u vakuumu na 80 °C u trajanju od jednog sata. Tikvica se potom hladi u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi te se ponovno suši 30 minuta i važe, a postupak se ponavlja do konstantne mase.

Količina masti računa se prema jednakosti (7):

$$w_M = \frac{m_M}{m_0} \times 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

gdje je: w_M – količina masti [%],

m_M – masa ekstrahirane masti [g],

m_0 – masa uzorka [g].



Slika 9 Aparatura za ekstrakciju masti po Soxhletu (Jozinović, 2011.)

3.2.2.9. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom



Slika 10 Brabenderov Mikro visko-analyzer (Jozinović, 2011.)

Određivanje viskoznosti brašna provedeno je Brabenderovim Mikro visko-analyzer-om, Tip 803202, Brabender GmbH & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 10**). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.

Uzorak samljevenog ekstrudata dodan je u destiliranu vodu (u posudu Brabenderovog Mikro visko-analyzera) kako bi se pripravilo 100 g 10% suspenzije. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

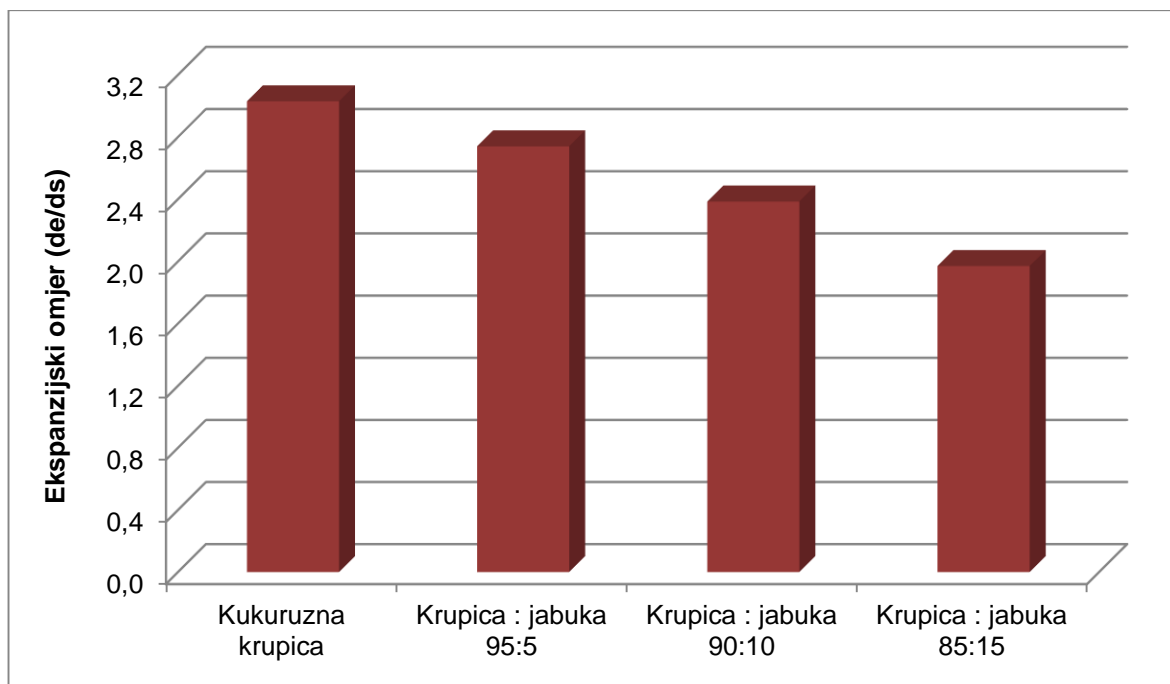
1. Zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C/min;
2. Izotermno na 92 °C, 5 minuta;
3. Hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C/min;
4. Izotermno na 50 °C, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 omin^{-1} , pri čemu se dobiju sljedeći parametri:

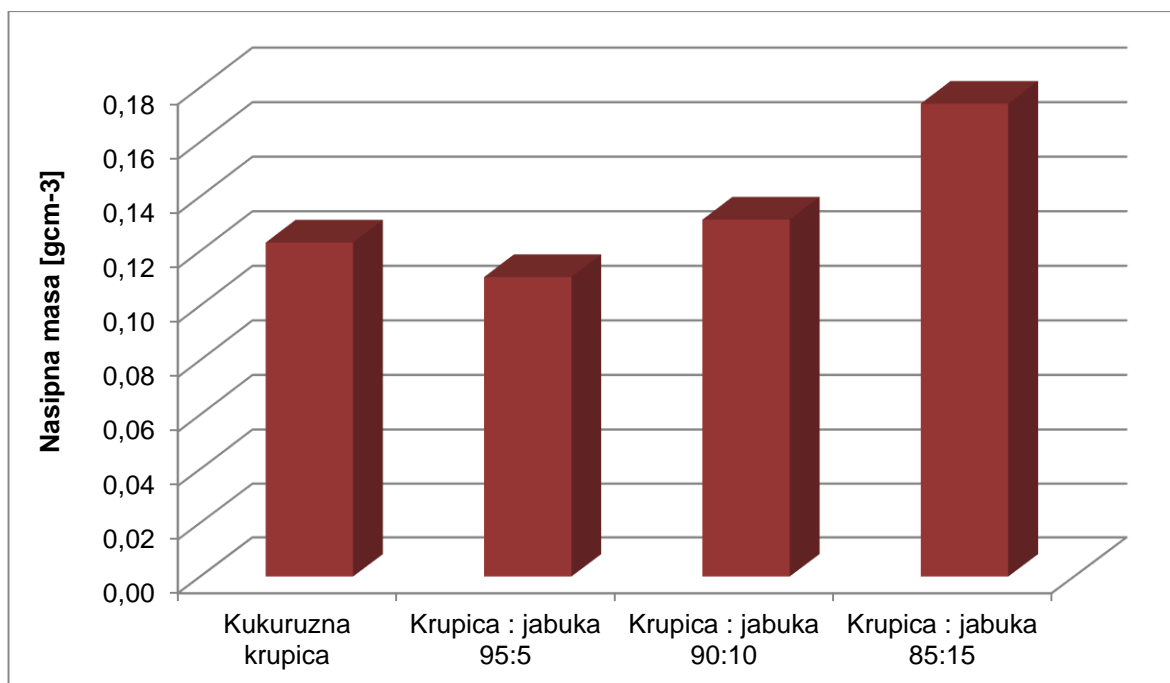
1. Početna temperatura želatinizacije škroba [°C];
2. Viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];
4. Vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 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 miješanja 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].

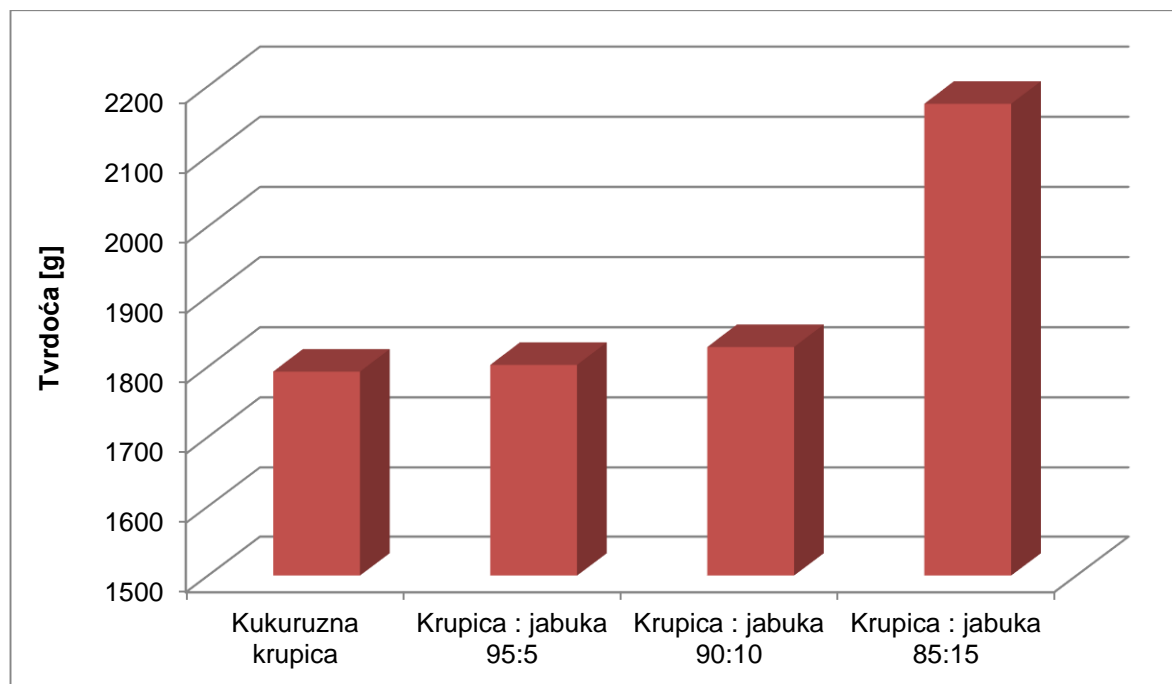
4. REZULTATI



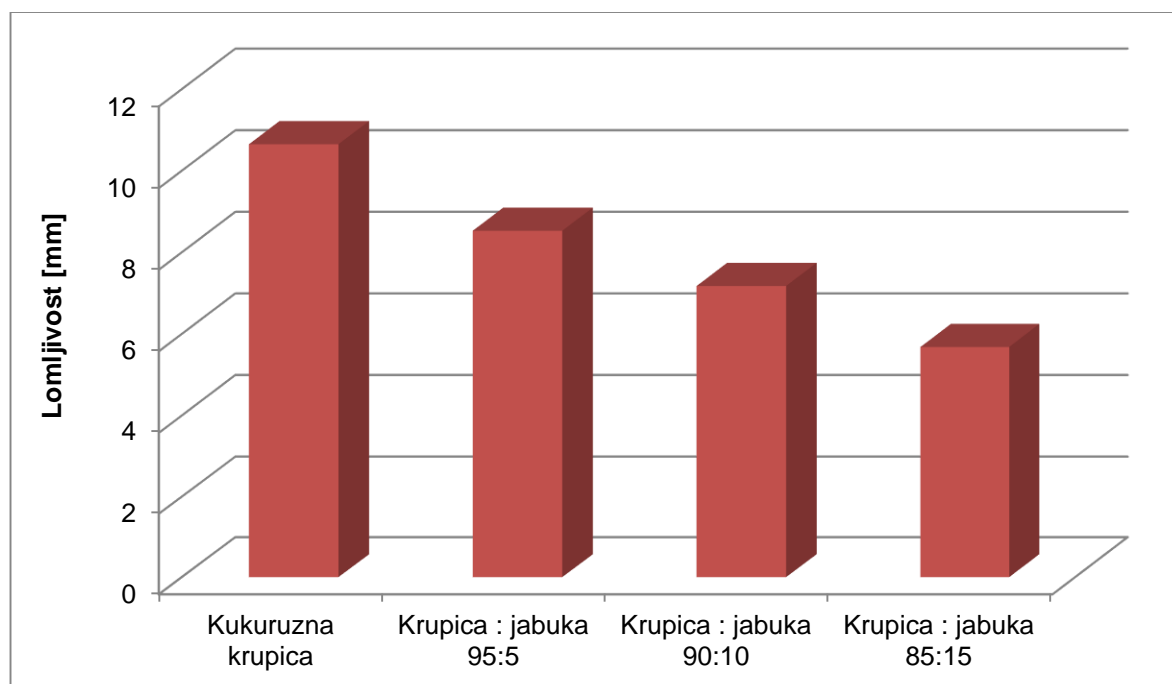
Slika 11 Utjecaj dodatka tropa jabuke na ekspanzijski omjer (EO) kukuruznih snack proizvoda



Slika 12 Utjecaj dodatka tropa jabuke na nasipnu masu kukuruznih snack proizvoda



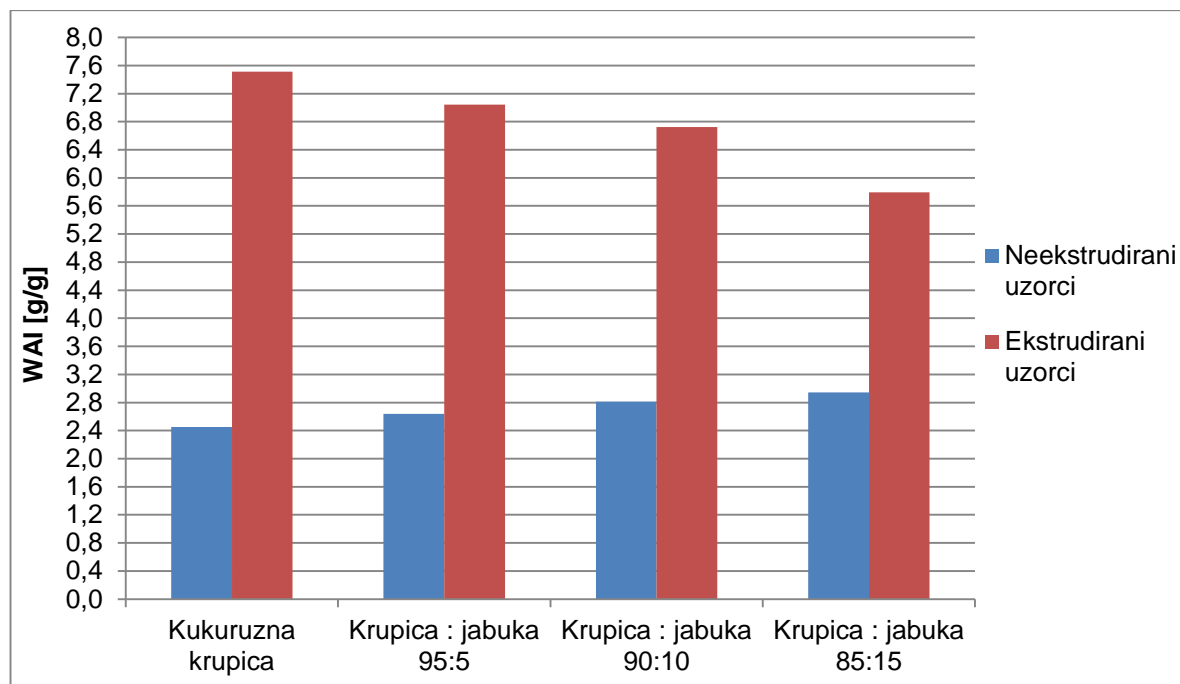
Slika 13 Utjecaj dodatka tropa jabuke na tvrdoću kukuruznih snack proizvoda



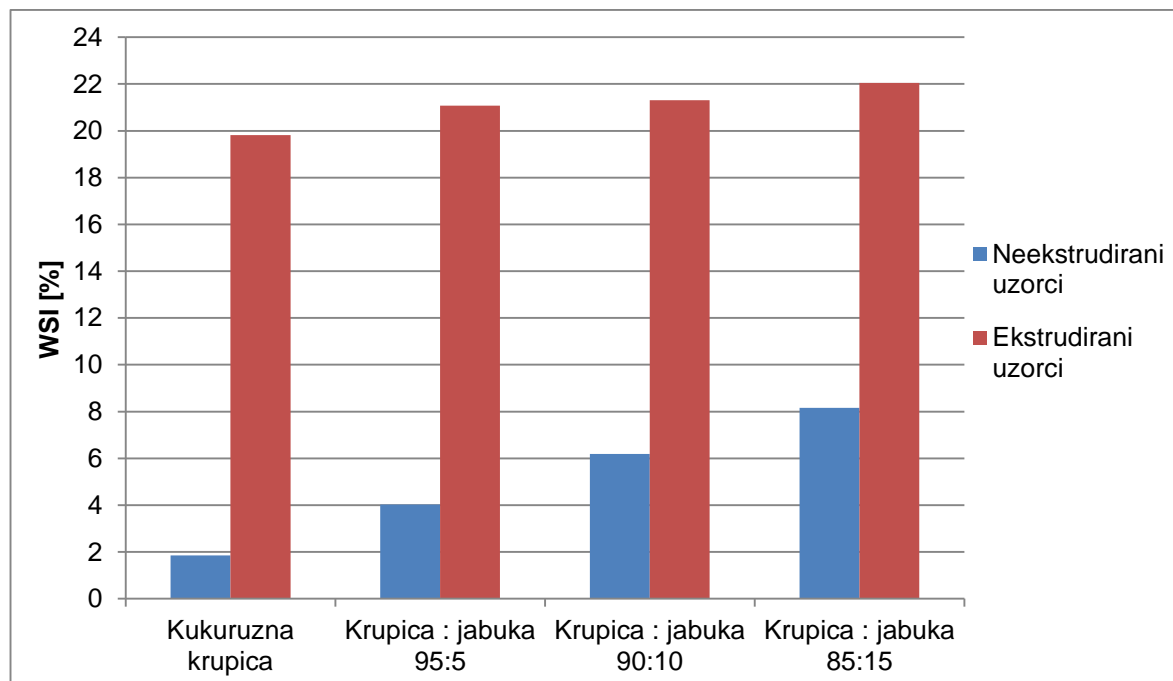
Slika 14 Utjecaj dodatka tropa jabuke na lomljivost kukuruznih snack proizvoda

Tablica 2 Utjecaj procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima

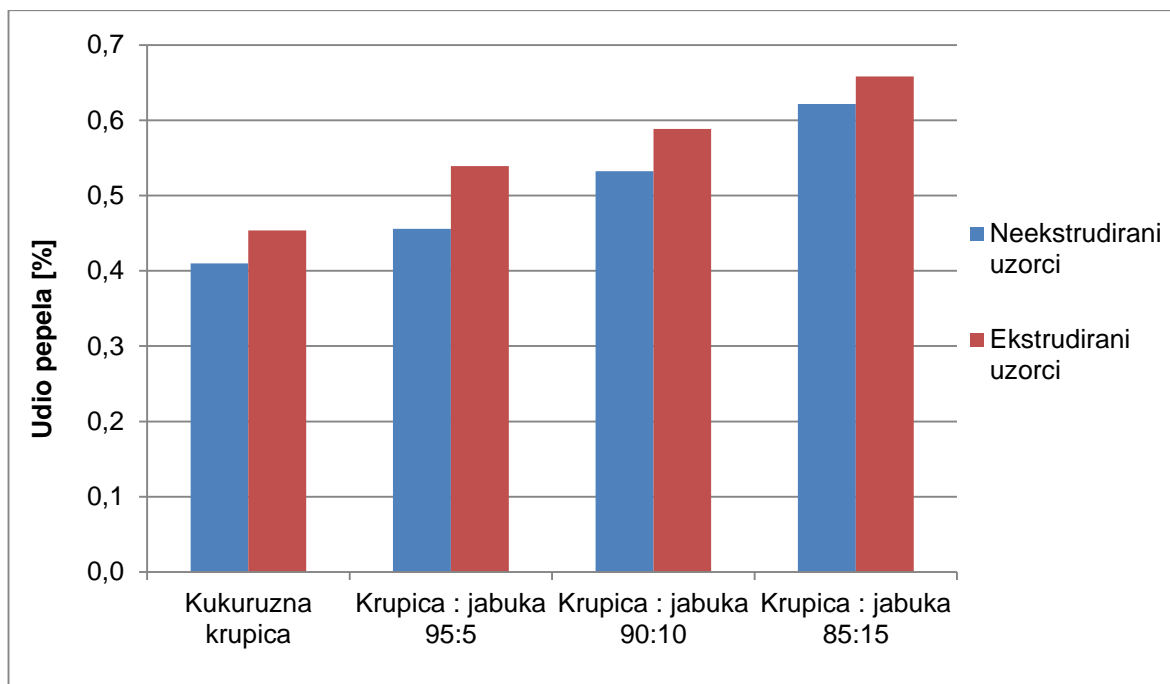
Uzorak	Neekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	78,30 ± 0,02 ^d	1,47 ± 0,03 ^a	49,26 ± 0,06 ^d	49,27 ± 0,06 ^d	88,25 ± 0,03 ^d	
Krupica : jabuka 95:5	75,98 ± 0,04 ^c	1,55 ± 0,06 ^b	43,06 ± 0,18 ^c	43,08 ± 0,18 ^c	87,94 ± 0,08 ^c	6,62
Krupica : jabuka 90:10	71,49 ± 0,03 ^b	2,28 ± 0,04 ^c	41,12 ± 0,05 ^b	41,18 ± 0,05 ^b	86,83 ± 0,06 ^b	10,64
Krupica : jabuka 85:15	69,20 ± 0,02 ^a	3,26 ± 0,03 ^d	37,89 ± 0,12 ^a	38,01 ± 0,09 ^a	85,08 ± 0,05 ^a	14,67
Uzorak	Ekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	81,14 ± 0,02 ^d	-2,95 ± 0,03 ^a	46,12 ± 0,02 ^d	46,22 ± 0,03 ^c	93,65 ± 0,03 ^d	6,12
Krupica : jabuka 95:5	56,89 ± 0,01 ^c	7,56 ± 0,02 ^b	25,33 ± 0,02 ^c	26,43 ± 0,02 ^b	73,38 ± 0,04 ^c	32,68
Krupica : jabuka 90:10	55,19 ± 0,01 ^b	8,00 ± 0,03 ^c	24,05 ± 0,03 ^b	25,36 ± 0,02 ^a	71,60 ± 0,07 ^b	34,82
Krupica : jabuka 85:15	53,11 ± 0,03 ^a	8,56 ± 0,03 ^d	23,89 ± 0,03 ^a	25,38 ± 0,03 ^a	70,29 ± 0,07 ^a	36,44



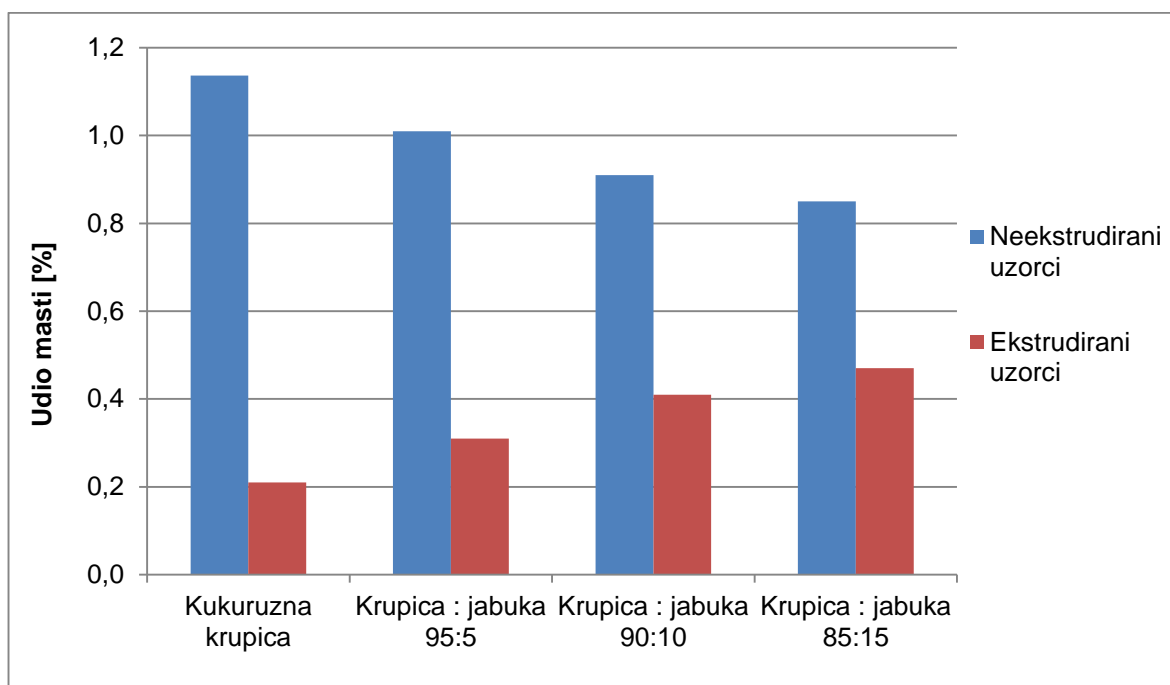
Slika 15 Utjecaj dodatka troja jabuke i postupka ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI)



Slika 16 Utjecaj dodatka troja jabuke i postupka ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI)



Slika 17 Utjecaj dodatka tropa jabuke i postupka ekstruzije na udio pepela



Slika 18 Utjecaj dodatka tropa jabuke i postupka ekstruzije na udio masti

Tablica 3 Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost kukuruzne krupice te smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke

	Kukuruzna krupica	Krupica : jabuka 95:5	Krupica : jabuka 90:10	Krupica : jabuka 85:15
Neekstrudirani uzorci				
viskoznost vrha [BU]	566 ± 14,0 ^c	547,5 ± 7,5 ^{b, c}	509,5 ± 5,5 ^b	434,5 ± 10,5 ^a
viskoznost pri 92 °C [BU]	69 ± 3,0 ^c	55,5 ± 3,5 ^b	46 ± 2,0 ^{a, b}	42,5 ± 2,5 ^a
nakon miješanja na 92 °C [BU]	568,5 ± 12,5 ^c	545 ± 5,0 ^c	506,5 ± 6,5 ^b	433 ± 11,0 ^a
viskoznost pri 50 °C [BU]	1043,5 ± 15,5 ^d	928 ± 6,0 ^c	858 ± 5,0 ^b	745 ± 12,0 ^a
nakon miješanja na 50 °C [BU]	1027 ± 9,0 ^d	930,5 ± 6,5 ^c	855,5 ± 3,5 ^b	747,5 ± 12,5 ^a
kidanje [BU]	6 ± 0,0 ^a	4 ± 2,0 ^a	1,5 ± 1,5 ^a	1 ± 1,0 ^a
„setback“ [BU]	449 ± 4,0 ^d	376,5 ± 1,5 ^c	340,5 ± 8,5 ^b	301,5 ± 1,5 ^a
Ekstrudirani uzorci				
viskoznost vrha [BU]	92 ± 5,0 ^c	43,5 ± 3,5 ^a	67 ± 5,0 ^b	133 ± 4,0 ^d
viskoznost pri 92 °C [BU]	16,5 ± 7,5 ^b	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a
nakon miješanja na 92 °C [BU]	5 ± 5,0 ^b	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a
viskoznost pri 50 °C [BU]	114,5 ± 7,5 ^b	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a
nakon miješanja na 50 °C [BU]	123 ± 8,0 ^b	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a
kidanje [BU]	92 ± 5,0 ^c	43,5 ± 3,5 ^a	67 ± 5,0 ^b	133 ± 4,0 ^d
„setback“ [BU]	105,5 ± 2,5 ^b	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a	0 ± 0,0 ^a

5. RASPRAVA

Zadatak ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka tropa jabuke (5, 10 i 15%) na kvalitetu kukuruznih snack proizvoda.

Na **Slici 11** prikazan je utjecaj dodatka tropa jabuke na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruzne krupice. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da se ekspanzijski omjer (EO) smanjio linearno količini dodanog tropa jabuke u kukuruznu krupicu.

Ove rezultate potvrdili su Robin i sur. (2012.) u svom radu o utjecaju dodatka prehrambenih vlakana u ekstrudirane proizvode, koji navode kako prisutnost vlakana utječe na povećanje gustoće ekstrudata, a time i do čvršće stjenke ekstrudata pa je i ekspanzijski omjer manji. Smatraju da tretmani poput smanjenja veličine čestica u zamjesu ili povećanja topljivosti u vodi dovode do povećanja ekspanzijskog omjera. Smanjenje ekspanzije utvrdili su i Anton i sur. (2009.) istraživanjem utjecaja dodatka brašna graška na stupanj ekspanzije, te su kao razlog naveli da vlakna utječu na razaranje staničnih stjenki i onemogućavaju potpunu ekspanziju. Nadalje, Brnčić i sur. (2008.) u svom radu o utjecaju dodatka proteina sirutke na kvalitetu kukuruznih ekstrudata u kojem su došli do zaključka da dodatak proteina očvršćava stjenku ekstrudata i smanjuje stupanj ekspanzije.

Slika 12 prikazuje utjecaj dodatka tropa jabuke na nasipnu masu ekstrudata kukuruzne krupice. Može se vidjeti da je dodatkom 5% tropa jabuke u zamjes došlo do smanjenja nasipne mase u odnosu na kontrolni uzorak kukuruzne krupice, dok je daljnjim povećanjem udjela tropa jabuke na 10% i 15% došlo do povećanja nasipne mase ekstrudata. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima dobivenima za ekspanzijski omjer, naime, ekstrudati s nižim vrijednostima dijametra i ekspanzijskog omjera imali su višu nasipnu masu, uz izuzetak kod uzorka s 5% tropa jabuke. Ekspanzija je posljedica želatinizacije, a povećanjem ekspanzijskog omjera dolazi do smanjenja nasipne mase (Case i sur., 1992., Hagenimana i sur., 2006., Mercier i sur., 1975.). U svom radu o utjecaju ekstruzije i dodatku dehidriranog povrća za obogaćivanje kukuruznih ekstrudata, Bisharat i sur. (2013.) došli su do zaključka da se nasipna masa povećavala dodavanjem veće koncentracije dehidriranog povrća u zamjes, što potvrđuje rezultate ovoga istraživanja. Visoki udio proteina i vlakana u pasti od masline i brokule, koje su dodane u zamjes, rezultiralo je puknućem staničnih stijenki i sprečavanjem ekspanzije zračnih mjehurića. Također, Stojceska i sur. (2008.) u svom su radu utvrdili smanjenje ekspanzije i povećanje nasipne mase ekstrudata dodatkom pivskog tropa.

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, pri čemu su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost. Rezultati pokazuju da se tvrdoća ekstrudata povećala s povećanjem udjela tropa jabuke (**Slika 13**). Na **Slici 14**

prikazan je utjecaj dodatka tropa jabuke na lomljivost ekstrudata te je iz dobivenih rezultata vidljivo da se lomljivost smanjivala što je veći udio tropa jabuke.

Brnčić i sur. (2009.) su u svojem radu ispitivali svojstva teksture na ekspaniranim kukuruznim proizvodima sa i bez dodatka pšenice te su utvrdili da dodatkom pšenice dolazi do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti, što je u skladu s rezultatima ovoga istraživanja. Ove rezultate potvrđuju i Jozinović i sur. (2012.), koji su u svom radu zaključili da je dodatkom kestenovog i heljedinog brašna u kukuruznu krupicu došlo do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti kukuruznih ekstrudata.

Tablica 2 prikazuje utjecaj procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima.

Dobivene su vrijednosti za sljedeće parametre:

- L^* (Lightness) – svjetlina,
- a^* – ukoliko su dobivene vrijednosti za ovaj parametar pozitivne, u domeni su crvene boje; a ukoliko su dobivene vrijednosti negativne, u domeni su zelene boje,
- b^* – ukoliko su dobivene vrijednosti za ovaj parametar pozitivne, u domeni su žute boje, a ukoliko su vrijednosti negativne, u domeni su plave boje,
- C – zasićenost boje,
- h^0 - ton boje, kreće se u rasponu od 0° (crvena), 90° (žuta), 180° (zelena), 270° (plava) te natrag do 0° (Tanasković, 2014.).

Iz dobivenih rezultata može se uočiti značajna razlika između vrijednosti boje kod ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka. Usporedbom neekstrudirane kukuruzne krupice sa ekstrudiranom, može se uočiti da je došlo do povećanja vrijednosti parametra L^* , što znači da je došlo do posvjetljivanja. S druge strane kod svih smjesa kukuruzna krupica : trop došlo je do značajnog smanjenja te vrijednosti, odnosno dolazi do potamnjenja ekstrudata. Nadalje, dodatkom tropa jabuke u kukuruznu krupicu također dolazi do potamnjenja smjesa i to proporcionalno s udjelom dodanog tropa jabuke u krupicu. Vrijednosti parametra a^* za neekstrudiranu krupicu su pozitivne vrijednosti što znači da su u domeni crvene boje dok je za ekstrudiranu krupicu ta vrijednost negativna pa ona ulazi u domenu zelene boje. Vrijednosti parametra a^* za smjese kukuruzna krupica : trop jabuke spadaju u domenu crvene boje i povećale su se s dodatkom tropa jabuke, kao i provedbom postupka ekstruzije. Neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice imao je najvišu vrijednost parametra b^* , a vrijednosti su se snizile dodatkom tropa jabuke i postupkom ekstruzije. Svi uzorci imali su pozitivne vrijednosti, što znači da ulaze u domenu žute boje. Vrijednosti parametra C smanjile su dodatkom tropa jabuke i provedbom ekstruzije kod svih uzoraka. Iz rezultata za parametar h^0 može se zaključiti da oni potvrđuju rezultate dobivene za parametre a^* i b^* , jer

dobivene vrijednosti za parametar h° pokazuju da je boja uzoraka bila u domeni žute boje, odnosno crvene i blago zelene (za ekstrudirani uzorak kukuruzne krupice). Ukupna promjena boje kreće se od 6,12, za ekstrudiranu kukuruznu krupicu, do 36,44, za ekstrudiranu smjesu s 15% tropa jabuke.

Utjecaj parametara ekstruzije i primjene različitih sirovina na boju ekstrudiranih proizvoda predmet je brojnih istraživanja, gdje se kao glavni uzrok promjene boje navodi karamelizacija i nastanak produkata Maillardovih reakcija (Ilo i sur., 1999.; Ilo i Berghofer, 1999.; Sacchetti i sur., 2004.; Wang i Ryu, 2013.). Gutkoski i sur. (1999.) istraživanjem su utvrdili da je zob specifična zbog prirodno prisutnog visokog sadržaja ukupnih šećera i proteina te, samim time, dolazi do veće stope Maillardovih reakcija. Nadalje, Badrie i sur. (1991.) uočili su da viši sadržaj vlage početnog materijala utječe na svjetlinu ekstrudata, a povišenje temperature na intenzitet boje.

Slika 15 prikazuje utjecaj ekstruzije na stupanj apsorpcije vode (WAI) kukuruzne krupice te smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke. U usporedbi s neekstrudiranim uzorcima, iz dobivenih rezultata, uočeno je da ekstruzijom dolazi do povećanja indeksa apsorpcije vode u svim uzorcima. Rezultati za indeks apsorpcije vode (WAI) kod ekstrudiranih uzoraka u skladu su s rezultatima za ekspanzijski omjer, tj. uzorci s većom ekspanzijom imali su veći WAI.

Indeks apsorpcije vode predstavlja sposobnost škroba za upijanje vode te se može smatrati indirektnim pokazateljem nesmetane i potpune želatinizacije granula škroba (Zhu i sur., 2010.).

Na **Slici 16** prikazan je utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI) kukuruzne krupice i smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke. Iz rezultata je vidljivo da su se procesom ekstruzije i dodatkom tropa jabuke vrijednosti indeksa topljivosti u vodi povećale. Povećanje indeksa topljivosti u vodi ekstrudiranih proizvoda rezultat je narušenosti strukture škroba i prisutnosti većeg sadržaja molekula manje molekulske mase (Gutkoski i sur., 1999.).

Slika 17 prikazuje utjecaj procesa ekstruzije na udio pepela u kukuruznoj krupici te u smjesama kukuruzna krupica : trop jabuke za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke. Vidljivo je iz rezultata da postoji mali porast u sadržaju pepela sa povećanjem udjela tropa jabuke, dok postupkom ekstruzije nije došlo do značajne promjene. Ovi rezultati u skladu su s literaturnim podacima u Camire (2000.), Jozinović (2011.) te Vračević (2012.).

Utjecaj ekstruzije i dodatka tropa jabuke u kukuruznu na sadržaj masti prikazan je na **Slici 18**. Iz rezultata je vidljivo da se dodatkom tropa jabuke sadržaj masti smanjio. Nadalje, procesom ekstruzije također je došlo do smanjenja sadržaja masti kod svih uzoraka, pri čemu je to smanjenje značajnije kod bolje ekspanziranih uzoraka.

Ovi rezultati u skladu su sa zaključkom koji navodi Jozinović (2011.), gdje je utvrđeno da se sadržaj masti smanjio nakon procesa ekstruzije i to više pri višoj temperaturi ekstruzije. U pravilu sadržaj masti se smanjuje nakon procesa ekstruzije. Dio lipida može se izgubiti na sapnici u obliku slobodnog ulja, ali ovo je slučaj samo kod visoko-masnih sirovina, kao što je to cjelovita soja. Drugo objašnjenje za manji sadržaj lipida je stvaranje kompleksa s amilozom i proteinima (Camire, 2000.). De Pilli i sur. (2011.) su u svom radu proveli istraživanje vezano za stvaranje škrob-lipid kompleksa te utvrdili da do većeg stvaranja kompleksa dolazi pri višoj temperaturi ekstruzije i većem sadržaju vlage.

Rezultati utjecaja procesa ekstruzije na reološka svojstva kukuruzne krupice i smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke prikazan je u **Tablici 3**. Viskoznost je mjerena Brabenderovim micro-visco-analyzer-om. Na osnovi dobivenih rezultata može se vidjeti da je ekstruzija rezultirala sniženjem vrijednosti *viskoznosti vrha* (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba) kod svih uzoraka. Isti zaključak o sniženju te vrijednosti donosi i Jozinović (2011.). Kod neekstrudiranih i ekstrudiranih smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke vrijednosti *viskoznosti vrha* bile su niže u odnosu na kontrolni uzorak kukuruzne krupice. Kod neekstrudiranih uzoraka dodavanjem tropa jabuke postepeno su se smanjivale vrijednosti *viskoznosti vrha*. Najvišu vrijednost *viskoznosti vrha* imao je neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice ($566 \pm 3,5$ BU), dok je najmanju vrijednost imao ekstrudirani uzorak smjese s 5% tropa jabuke, gdje je ta vrijednost iznosila $43,5 \pm 3,5$ BU.

Kod neekstrudiranih uzoraka viskoznost se zagrijavanjem na $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ smanjila, a zadržavanjem na toj temperaturi pet minuta uz miješanje došlo je do ponovnog povećanja viskoznosti na vrijednosti približne početnoj. Kod ekstrudiranih uzoraka vidljivo je da se nakon početnog smanjenja viskoznosti zagrijavanjem na $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ vrijednosti nisu značajno mijenjale. Rezultat toga su niske vrijednosti *kidanja* (*kidanje* = *viskoznost vrha* – *viskoznost na $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 5 min*) kod neekstrudiranih uzoraka što pokazuje njihovu dobru stabilnost pri miješanju na visokim temperaturama. S druge strane, ekstrudirani uzorci su imali veće vrijednosti *kidanja*, što ukazuje na to da su manje stabilni pri miješanju na visokim temperaturama.

Nakon hlađenja na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ došlo je do povećanja vrijednosti viskoznosti svih neekstrudiranih uzoraka, dok je kod ekstrudiranih povećanje viskoznosti vidljivo samo kod kontrolnog uzorka kukuruzne krupice. Povećanje viskoznosti tijekom hlađenja rezultat je retrogradacije škroba. Sklonost retrogradaciji može se očitati iz vrijednosti podataka za „*setback*“ (*setback* = *viskoznost na $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – viskoznost na $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 5 min*). Na osnovi toga može se uočiti da skloniji retrogradaciji neekstrudirani uzorci, koji pokazuju više „*setback*“ vrijednosti u odnosu na ekstrudirane uzorke, što se podudara sa zaključkom Varžić (2012.). Najmanje skloni retrogradaciji su ekstrudirani uzorci smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke, čije vrijednosti iznose $0 \pm 0,0$ BU.

Hagenima i sur. (2006.) te Gupta i sur. (2008.) su u svojim istraživanjima utvrdili da tijekom procesa ekstruzije dolazi do preželatinizacije škroba. Ekstruzija uzrokuje oštećenje granula škroba te stoga gelovi ekstrudiranih proizvoda imaju manju viskoznost u odnosu na neekstrudirane uzorke (Dokić i sur., 2009.).

6. ZAKLJUČCI

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

1. Dodatkom tropa jabuke u zamjes došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudata.
2. Nasipna masa ekstrudata smjesa kukuruzna krupica : trop jabuke povećala se s dodavanjem veće količine tropa jabuke u zamjes.
3. Tvrdoća ekstrudata povećavala se, a lomljivost se smanjila proporcionalno količini dodanog tropa jabuke, što je u skladu s rezultatima dobivenim za ekspanzijski omjer, tj. bolje ekspanzirani uzorci imali su manju tvrdoću i veću lomljivost.
4. Dodatkom tropa jabuke u kukuruznu krupicu i postupkom ekstruzije došlo je do potamnjenja uzoraka te smanjenja zasićenosti boje. Boja uzoraka bila u domeni crvene, odnosno žute boje.
5. Postupkom ekstruzije došlo je do značajnog povećanja indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI).
6. Ekstruzija nije imala značajan utjecaj na udio pepela u uzorcima, ali se njegov udio povećao dodavanjem veće količine tropa jabuke u zamjes.
7. Dodatkom tropa jabuke u kukuruznu krupicu sadržaj masti se smanjio, kao i procesom ekstruzije, pri čemu je to smanjenje značajnije kod bolje ekspanziranih uzoraka.
8. Ekstruzija je imala značajan utjecaj na reološka svojstva, pri čemu je došlo do smanjenja vrijednosti viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C kod svih uzoraka nakon provedenog procesa ekstruzije. Neekstrudirane smjese imaju bolju stabilnost tijekom miješanja na visokim temperaturama u odnosu na ekstrudirane, što se može zaključiti iz niskih vrijednosti *kidanja*. „*Setback*“ vrijednosti pokazuju da su ekstrudirani uzorci manje skloni retrogradaciji.

7. LITERATURA

- 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.
- Badrie N, Mellows WA: Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *Journal of Food Science*, 56:1334-1337, 1991.
- 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. U *Food Research International*, 2-51. Department of Chemical Engineering, Al-Hussein Bin Talal University, Maan, Jordan, 2013.
- Brnčić M, Bosiljkov T, Ukrainczyk M, Tripalo B, Rimac Brnčić S, Karlović D, Ježek D, Vikić Topić D: Influence of Whey Protein Addition and Feed Moisture Content on Chosen Physicochemical Properties of Directly Expanded Corn Extrudates. *Food Bioprocess Technol.*, 2009.
- 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.
- Brnčić M, Tripalo B, Brnčić Rimac S, Karlović S, Župan A, Herceg Z: Evaluation of textural properties for whey enriched direct extruded and puffed corn based products. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(3):204-214, 2009.
- Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. In *Extruders in Food Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Case SE, Hamann DD, Schwartz SJ: Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. *Cereal Chemistry*, 69:401-409, 1992.
- De Pilli T, Derossi A, Talja RA, Jouppila K, Severini C: Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12: 610–616, 2011.
- Dokić LJP, Bodroža-Solarov MI, Hadnađev MS, Nikolić IR: Properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. *Biblid*, 40: 17-24, 2009.
- 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.
- Gupta M, Bawa AS, Semwal AD: Effect of barley flour on development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chemistry*, 85(2):115-122, 2008.
- 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.
- Guy R: *Extrusion cooking*. Woodhead Publishing Limited, England, 2001.

- Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1):38-46, 2006.
- Ilo S, Berghofer E: Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 39:73-80, 1999.
- Ilo S, Liu Y, Berghofer E: Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 32:79-88, 1999.
- International Standard Organisation: *Animal feeding stuffs – Determination of crude ash. ISO 5984:2002*.
- International Standard Organisation: *Animal feeding stuffs – Determination of fat content. ISO 6492:1999*.
- Jozinović A: Utjecaj ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s heljdinim i kestenovim brašnom. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011.
- 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.
- Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb, 2003.
- Mercier C, Feillet P: Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 52:283-297, 1975.
- Moscicki L: *Extrusion-Cooking Techniques*. WILEY-VCH Verlag & Co. KgaA, Weinheim, Germany, 2011.
- Pozderović A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.
- Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. In *Extruders in Food Applications*, 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. *Elsevier Ltd*. 39: 1022-1025. Swiss Society of Food Science and Technology, France, 2006.
- Sacchetti G, Pinnavaia GG, Guidolin E, Dalla Rosa M: Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, 37(5):527-534, 2004.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş: The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47: 469–479, 2008.

- 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: Materijali s predavanja na kolegiju: „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“, Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2011.
- Tanasković I: Utjecaj dodatka zobi na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. *Diplomski rad*. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2014.
- Varžić A: Utjecaj vlažnosti kukuruzne krupice na svojstva ekstrudata. *Diplomski rad*. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2012.
- Vračević R: Utjecaj vlažnosti pšenične krupice na svojstva ekstrudata. *Diplomski rad*. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2012.
- Wang YY, Ryu GH: Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO₂ injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 1:1-7, 2013.
- Zhu LJ, Shukri R, Jhoe de Mesa-Stonestreet N, Alavi S, Dogan H, Shi YC: Mechanical and microstructural properties of soy protein – high amylose corn starch extrudates in relation to physicochemical changes of starch during extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100:232-238, 2010.