Utjecaj dodatka kakao ljuske na svojstva kukuruznih ekstrudata

Vrdoljak, Anđela

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:109:726320

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

REPOZITORIJ PTFOS PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Anđela Vrdoljak

UTJECAJ DODATKA KAKAO LJUSKE NA SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, listopad, 2015

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 konditorskih i srodnih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na IX. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2014./2015. održanoj 26. lipnja 2015.
Mentor: prof. dr. sc. *Drago Šubarić*
Pomoć pri izradi: dr. sc. *Antun Jozinović*

UTJECAJ DODATKA KAKAO LJUSKE NA SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA

Anđela Vrdoljak, 244/DI

Sažetak:
Ekstruzija je jedan od najznačajnijih procesa u prehrambenoj industriji gdje se vrlo često kao osnovna sirovina koristi kukuruzna krupica. Zbog poboljšanja fizikalno-kemijskih svojstava i nutritivne vrijednosti proizvoda, u kukuruznu krupicu se mogu dodavati brašna različitih žitarica, osušeno voće i povrće i dr.
Cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj ekstruzije i dodatka kakao ljuske (s udjelom 5%, 10% i 15%) na svojstva ekstrudata na bazi kukuruzne krupice. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna i reološka svojstva u odnosu na neekstrudirane uzorke.
Utvrđeno je da dodatkom kakao ljuske dolazi do smanjenja ekspanzijskog omjera i povećanja nasipne mase, kao i povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti ekstrudata. Ekstruzija je uzrokovala posvjetljenje kod kukuruzne krupice.Dodatkom kakao ljuske došlo je do potamnjivanja uzoraka. Indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi povećali su se nakon ekstruzije. Dodatkom kakao ljuske i postupkom ekstruzije došlo je do smanjenja viskoznosti vrha te su ekstrudirani uzorci bili manje skloni retrogradaciji, a neekstrudirani su pokazali bolju stabilnost tijekom miješanja na visokoj temperaturi.

Ključne riječi: ekstruzija, kukuruzna krupica, kakao ljuska

Rad sadrži: 37stranica
15 slika
4 tablica
0 priloga
35literaturne reference

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	izv. prof. dr. sc. *Jurislav Babić*	predsjednik
2.	prof. dr. sc. *Drago Šubarić*	član-mentor
3.	izv. prof. dr. sc. *Marko Jukić*	član
4.	izv. prof. dr. sc. *Borislav Miličević*	zamjena člana

Datum obrane: 21. listopada 2015.

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 confectionery and related products
Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. IX.held on June26th, 2015.
Mentor: *Drago Šubarić*, PhD, full prof.
Technical assistance: *Antun Jozinović*, PhD

INFLUENCE OF COCOA SHELL ADDITION ON PROPERTIES OF CORN EXTRUDATES

Anđela Vrdoljak, 244/DI

Summary:
Extrusion is one of the most significant processes in food industry, where corn grits 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 the study was to investigatethe properties of corn grits extrudates with addition of cocoa shell (with a share of 5%, 10% and 15%). Physicalandrheologicalproperties ofthe obtainedextrudateswere investigatedinrelationtonon extrudedsamples.
Results showed a decrease inexpansionratioandan increaseof bulkdensity, increased extrudatehardnessanddecreased fracturability with addition of cocoa shell.Extrusion caused increase of lightness at samples with corn grits.With addition of cocoa shellsamples became darker. Water absorption and water solubility indexes were increased after extrusion process. The addition of cocoa shell and extrusion decreased peak viscosity and the extruded samples were less prone to retrogradation, but non-extruded samples showed better stability during mixing at high temperature.

Key words: extrusion, corn grits, cocoa shell

Thesis contains: 37 pages
15 figures
4 tables
0 supplements
35references

Original in: Croatian

Defense committee:

1.	*Jurislav Babić*, PhD, associate prof.	chair person
2.	*Drago Šubarić*, PhD, full prof.	supervisor
3.	*Marko Jukić*, PhD, associate prof.	member
4.	*Borislav Miličević*, PhD, associate prof.	stand-in

Defense date: October 21th, 2015.

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

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Dragi Šubariću i dr. sc. Antunu Jozinoviću na iskazanom povjerenju, vodstvu i pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada. Srdačno zahvaljujem Jeleni Panak, mag. ing. na susretljivosti i pomoći tijekom izrade eksperimenta.

Hvala svim prijateljima i kolegama bez kojih studij ne bi prošao tako zabavno.

Najveće hvala mojim roditeljima na razumijevanju i podršci tijekom studiranja.

Sadržaj

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 3

2.1. EKSTRUZIJA 4
2.2. POVIJEST EKSTRUZIJE 4
2.3. PROIZVODI EKSTRUZIJE 5
2.4. EKSTRUZIJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI 5
2.5. PODJELA EKSTRUDERA 7
2.5.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada 7
2.5.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 7
2.5.2.1.Klipni ekstruderi 7
2.5.2.2. Pužni (vijčani) ekstruderi 8
2.5.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 10
2.6. ZONE (SEKCIJE) EKSTRUDERA 10
2.7. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA 12
2.7.1. Kukuruz (*Zea mays*) 13
2.7.2. Kakaovac (*Theobroma cacao*) 14

3. EKSPERIMENTALNI DIO 17

3.1. ZADATAK 18
3.2. MATERIJAL I METODE 18
3.2.1. Materijali 18
3.2.2. Metode 18
3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s dodatkom kakao ljuske 18
3.2.2.2. Određivanje 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 i indeksa topljivosti u vodi (WAI i WSI) 20
3.2.2.7. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom 21

4. REZULTATI 23

5. RASPRAVA 29

6. ZAKLJUČCI 33

7. LITERATURA 35

1. UVOD

Ekstruzija je značajan proces u biotehnološkoj proizvodnji i prehrambenoj industriji kako zbog kratkog vremena proizvodnje i znatne uštede na energiji, tako i nižom konačnom cijenom gotovog proizvoda. Najprije se u 18. stoljeću počela koristiti pri proizvodnji bešavnih cijevi, a tek krajem 19. stoljeća u prehrambenoj industriji. Danas se ekstruzija u proizvodnji hrane koristi za proizvodnju različitih proizvoda kao što su tjestenina, "snack" proizvodi, konditorski proizvodi, itd.

Tijekom ekstruzije odvijaju se mnogi procesi (gibanje materijala, miješanje, zagrijavanje, želatinizacija i dr.), pri čemu dolazi do različitih kemijskih i fizikalnih promjena na materijalu. U odnosu na tradicionalne procese, tijekom procesa ekstruzije znatno je manja degradacija namirnica, visoka je učinkovitost (veliki kapacitet, malo nusproizvoda) i niska je cijena. Suvremeni ekstruderi imaju mogućnost promjene različitih parametara, kao što su: tlak, temperatura, brzina smicanja, konfiguracija puža i dr.

Žitarice kao što su kukuruz, zob, pšenica i riža, pored krumpira predstavljaju najznačajnije i najzastupljenije sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Svim navedenim sirovinama je zajedničko da u svom sastavu imaju velike količine škroba koji tijekom procesa ekstruzije značajno mijenja svojstva i tako utječu na kakvoću gotovog proizvoda
Cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj dodatka kako ljuske na svojstva kukuruznih ekstrudata.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Ekstruzija je mehanički i termički proces u kojem se materijal s pomoću klipa (stapa) ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, uz istovremeno miješenje i/ili zagrijavanje/hlađenje, kroz suženi otvor kako bi se proizvod oblikovao i/ili ekspandirao uz sušenje (Rossen i Miller, 1973).

Ekstruzija uključuje jedan ili više procesa, a to su:

- aglomeracija – povezivanje manjih čestica u veće;
- uklanjanje plinova – namirnice koje sadrže mjehuriće zraka mogu se ukloniti primjenom ekstruzije;
- dehidratacija – uklanjanje vlage, može se postići gubitak vlage 4 – 5 %;
- ekspanzija – stupanj ekspanzije postiže se kontrolom procesnih parametara i konfiguracijom ekstrudera;
- želatinizacija – ekstruzija poboljšava želatinizaciju škrobnih namirnica;
- usitnjavanje – tijekom prolaska kroz ekstruder može doći do usitnjavanja čestica;
- homogenizacija i miješanje;
- pasterizacija i sterilizacija – primjenom različitih uvjeta (temperatura) ekstruzije;
- denaturacija proteina – do denaturacije dolazi zbog primijenjene temperature;
- oblikovanje – različiti ekstrudati ovisno o primijenjenoj sapnici;
- promjena teksture namirnica – zbog primijenjenih uvjeta dolazi do različitih fizikalnih i kemijskih promjena;
- kuhanje – termičko tretiranje (Riaz, 2000).

Ekstruzija predstavlja izrazito učinkovit proces, primjenjiv u biotehnološkoj proizvodnji i prehrambenoj industriji, za kojeg je karakteristično kratko vrijeme proizvodnje i znatne uštede u energiji, a time i niža konačna cijena gotovog proizvoda (Babić, 2011).

2.2. POVIJEST EKSTRUZIJE

Značajni datumi u razvoju ekstruzije su:

1797. - Joseph Bramah, Engleska primjena klipnog ekstrudera za proizvodnju sapuna, pasta i mase za crijep;

1869. - primjena ekstrudera sa dva uzajamno zahvaćena puža u proizvodnji kobasica;

1935. - primjena hladne ekstruzije u proizvodnji tjestenine, pekarstvu i konditorskoj industriji;

1940. - prvi puta proizvedeni ekspandirani snack proizvodi (na bazi kukuruzne krupice);

1950. - proizvodnja suhe ekspandirane hrane za kućne ljubimce;

1980. - primjenom HTST ekstruzije 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 cerealija (žitarica) i tzv. snack proizvoda (Lovrić, 2003).

2.3. PROIZVODI EKSTRUZIJE

Ekstruzija se može primijeniti za proizvodnju i preradu različitih sirovina, polugotovih i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda kao što su:

- tjestenina;
- mesne prerađevine;
- konditorski proizvodi;
- snack proizvodi;
- cerealije;
- hrana za kućne ljubimce;
- proizvodi od plastike;
- proizvodnja kablova;…(Jozinović, 2011).

2.4. EKSTRUZIJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

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

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

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

(eng. *high temperature/short time*) bioreaktorima, koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode.

Osnovne značajke suvremenih ekstrudera, 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: 100 - 200 s za dužinu kućišta od 0,2 – 3 m;
- visoki tlak: 100 – 200 bara, ovisno o karakteristikama puža;
- velika brzina smicanja: ≥ 100 s^{-1}, 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} (Cheftel, 1990).

Glavne prednosti ekstruzije u odnosu na tradicionalne postupke su sljedeće:

- veliki kapacitet s obzirom na ulaganja i prostor;
- prilagodljivost, odnosno proizvodnja širokog spektra prehrambenih i drugih proizvoda;
- visoko iskorištenje energije zbog relativno niske vlažnosti materijala;
- jednostavna promjena procesnih parametara i oblika uređaja;
- mali gubitci energije;
- precizna kontrola trajanja i temperaturnog režima procesa, što se odražava u dobroj ujednačenosti proizvoda;
- niski operativni troškovi u usporedbi sa drugim procesima termičke obrade i oblikovanja;
- jednostavna i brza kontrola kvalitete;
- brza izmjena topline s HTST obilježjima;
- gotovo nema nastanka nusproizvoda;
- visoka produktivnost i automatizacija (Riaz, 2000).

Ekstruzija se danas primjenjuje za: aglomeraciju manjih čestica u veće, ekspandiranje, dehidrataciju, pasterizaciju i sterilizaciju, želatinizaciju, denaturaciju proteina, usitnjavanje, homogenizaciju i termičko tretiranje. Modeliranje procesa ekstruzije zahtijeva poznavanje

reoloških svojstava pretežno ne-Newtonskih sustava, neizotermne uvjete, odnosno složene uvjete prijelaza topline i ireverzibilne procese (Lovrić, 2003).

2.5. PODJELA EKSTRUDERA

Ekstruderi se u prehrambenoj industriji mogu razvrstati na osnovi nekoliko kriterija:

1. Termodinamički uvjeti rada;
2. Način stvaranja tlaka u uređaju;
3. Veličina smicanja (Lovrić, 2003).

2.5.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

S obzirom na termodinamičke uvjete rada razlikuju se:

a) Autogeni (adijabatski) ekstruderi –ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. Kod njih se toplina razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala u uređaju te se u pravilu ne dovodi niti se odvodi toplina, a potrebna je niska vlažnost sirovina (8 – 14 %);

b) Izotermni ekstruderi – ekstruderi u kojima se određena konstantna temperatura održava hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplinu;

c) Politropski ekstruderi – ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta te se većinom, u prehrambenoj industriji, koristi upravo ovaj tip ekstrudera (Lovrić, 2003).

2.5.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

S obzirom na način stvaranja tlaka razlikuju se:

a) Ekstruderi viskozno-vlačnog toka (indirektnog tipa) – ekstruderi u kojima se materijal tijekom gibanja ponaša kao ne-newtonovski fluid, što bitno utječe na promjenu svojstava ishodišnog materijala i definiranje svojstava gotovog proizvoda, a ovaj tip ekstrudera najviše se primjenjuje u konditorskoj industriji;

b) Ekstruderi pozitivnog tlaka (direktnog tipa) – stvaraju pozitivan tlak, a mogu biti:

- klipni ekstruderi,
- pužni (vijčani) ekstruderi.

2.5.2.1.Klipni ekstruderi

Klipni ekstruder je najjednostavniji tip ekstrudera koji se sastoji od klipa i kućišta. Klip tlači materijal kroz kućište, pri čemu ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata su gotovo

nepromijenjena u odnosu na ishodišni materijal. Ovaj tip ekstrudera primjenjuje se za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženog kukuruznog čipsa (Babić, 2011).

2.5.2.2. Pužni (vijčani) ekstruderi

Kod pužnih ili vijčanih ekstrudera zbog viskoznog gibanja materijala između puževa te između puževa i kućišta dolazi do smicanja, oslobađanja topline te se materijal značajno miješa. Što je niža vlažnost materijala, sila smicanja je veća pa se oslobađa veća količina topline. Ovi ekstruderi se upotrebljavaju u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal. Pužni ekstruderi se s obzirom na konstrukcijsku izvedbu mogu podijeliti u dvije osnovne grupe:

- jednopužni ekstruderi,
- dvopužni ekstruderi (Lovrić, 2003).

Osnovna razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta kroz uređaj. U jednopužnom ekstruderu transport materijala proizlazi iz razlika sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Jednopužni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova. U dvopužnom ekstruderu s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. Kod ovih ekstrudera trenje je od manjeg značenja, iako geometrija pužnice ima određeni utjecaj (Lovrić, 2003).

Jednopužni ekstruderi

S obzirom na izvedbu puža i kućišta (**Slika 1**), postoji nekoliko tipova jednopužnih ekstrudera:

a) konstantan promjer kućišta, povećanje promjera puža,

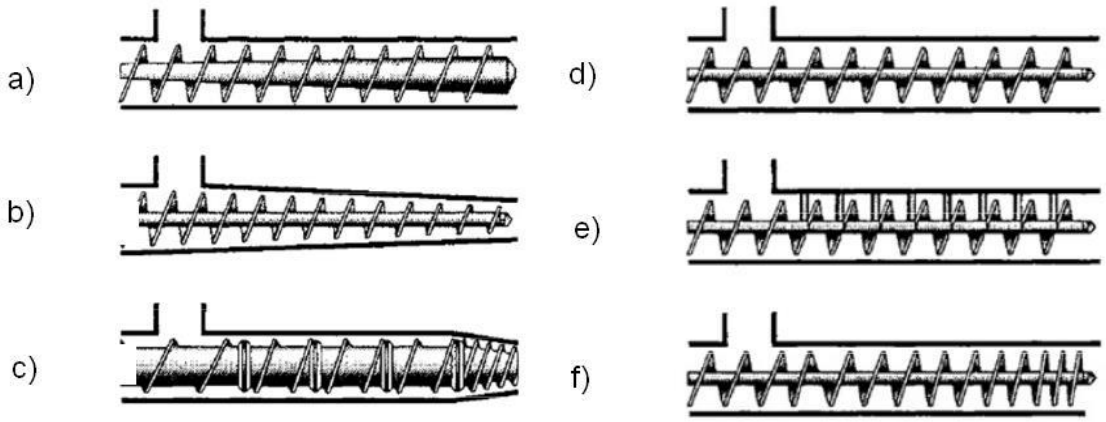
b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža,

c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža,

d) konstantan promjer kućišta i geometrija puža,

e) konstantan promjer kućišta s graničnicima te konstantna geometrija puža,

f) konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Rokey, 2000).



Slika 1 Konfiguracije puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera (Rokey, 2000)

Jednopužni ekstruderi prikladni su za postizanje visokih tlakova, zavisno o dužini pužnice, dubini žljebova, konfiguraciji puža i prividnoj viskoznosti materijala, ali imaju svoja ograničenja jer ne mogu procesirati ljepljive i gumene sirove materijale, ili materijale koji tijekom procesiranja postaju ljepljivi uslijed zagrijavanja (Rokey, 2000).

Dvopužni ekstruderi

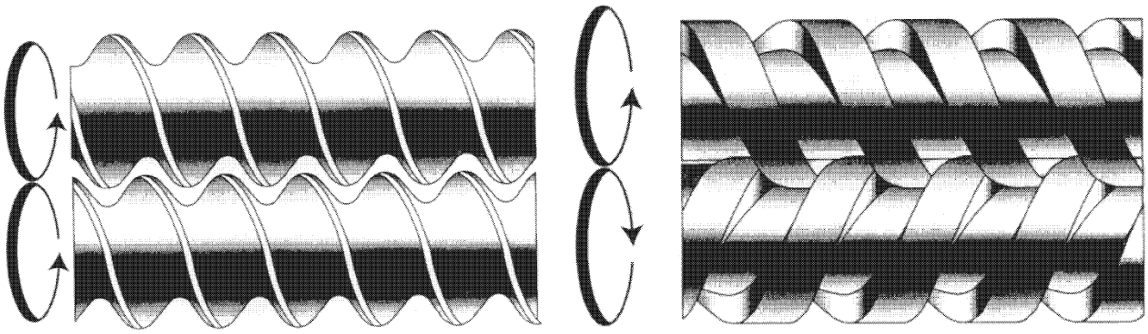
U odnosu na jednopužne, dvopužni ekstruderi imaju niz prednosti:

- jednostavnije je održavanje,
- manje je izraženo pulsiranje materijala na izlazu,
- moguće je procesiranje vrlo viskoznih, ljepljivih i vlažnih materijala koji sadrže relativno visoku količinu ulja,
- s obzirom na veličinu čestica, moguće je procesirati širok raspon materijala,
- vrlo lagano čišćenje i održavanje zbog svojstva samočišćenja (Riaz, 2000).

Osnovni nedostatci dvopužnih ekstrudera su znatno veća cijena (60 - 100 % u odnosu na jednopužne ekstrudere), složenija instalacija i puštanje u rad te veća potrošnja energije (Guy, 2001; Brennan i Grandison, 2012).

Dvopužni ekstruderi se s obzirom na smjer kretanja pužnice (**Slika 2**) dijele u dvije kategorije:

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



Slika 2 Podjela dvopužnih ekstrudera. a) istosmjerni okretaji pužnice, b) suprotni smjer okretaja pužnice (Babić, 2011)

2.5.3.Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

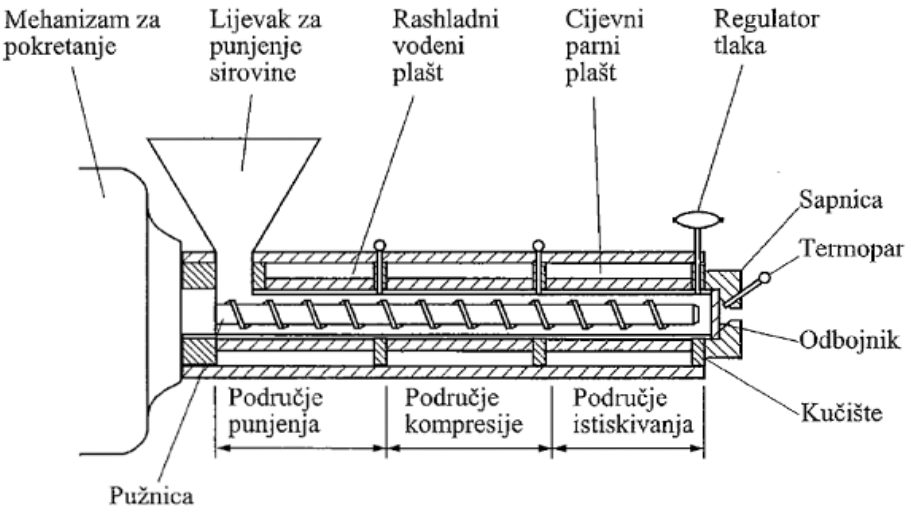
Prema intenzitetu, odnosno veličini smicanja kojem je materijal izložen tijekom ekstruzije ekstruderi se dijele na:

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

2.6. ZONE (SEKCIJE) EKSTRUDERA

Proces ekstruzije odvija se kroz tri zone (sekcije):

1. zonu uvlačenja materijala,
2. zonu komprimiranja materijala,
3. istisnu zonu (Lovrić, 2003).



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

Zona uvlačenja- zadaća zone uvlačenja je prihvat materijala i transposrt u zonu kompresije. Uređaj za doziranje osigurava konstantno i jednolično doziranje materijala, a sastoji se od puža koji transportira materijal.Puž dozirke ima mogućnost podešavanja broja okretaja što omogućava doziranje veće/manje količine sirovine.

Zona kompresije - karakteristika ove zone je kompresija materijala, pri čemu dolazi do pretvorbe mehaničke u toplinsku energiju a zatim i do porasta temperature i plastificiranja materijala, koji je u početku bio praškast ili u vidu granula. Upravo zbog zagrijavanja, u zoni kompresije, dolazi do kuhanja, geliranja i sterilizacije materijala.

Zona istiskivanja - najvažniji dio ekstrudera. Zadaća je da prima materijal, homoogenizira ga, potiskuje ga kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog sile smicanja i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz kućište.

Na kraju ekstrudera nalazi se sapnica koja je izrađena tako da oblikuje ili ekspanzijom suši proizvod (ekstrudat), a oblik sapnice određuje veličinu i oblik ekstrudiranog proizvoda. Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

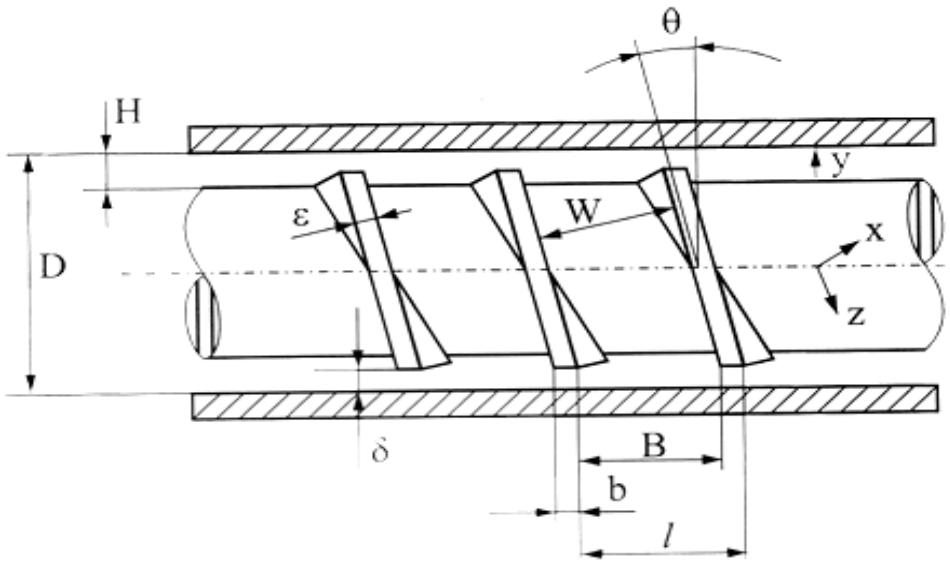
- viskoznosti materijala,
- obliku i promjeru sapnice,
- razlici tlaka (Lovrić, 2003).

Ukoliko u ekstruderu vladaju visoka temperatura i visoki tlakovi, nakon izlaska iz sapnice na atmosferski tlak stlačeni materijal naglo ekspandira. Pri tome voda naglo izlazi, odnosno isparava iz materijala, zbog čega dolazi do povećanja volumena materijala i dehidratacije materijala, odnosno ekspanzijskog sušenja (flips i slični proizvodi) (Pozderović, 2009).

Karakteristike ekstrudera

Karakteristike ekstrudera u velikoj mjeri ovise o geometrijskoj konfiguraciji ključnih elemenata uređaja, kao što su geometrija puža i kućišta (cilindra).

Na **Slici 4** prikazani su neki osnovni geometrijski parametri koji definiraju značajke rada pužnog ekstrudera: kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W). Sve to definira tzv. omjer kompresije koji se obično kreće u rasponu od 1:1 do 5:1.



Slika 4 Parametri karakteristični za geometrijsku konfiguraciju pužnog ekstrudera -kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W) (Lovrić, 2003)

2.7. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Od sirovina koje se koriste u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda najpopularnije su brašno žitarica (dobiveno iz pšenice, kukuruza, riže), krumpirov škrob i sušena krumpirova krupica ili pahuljice. Ostali proizvodi žitarica koji potječu od raži, ječma, zobi i heljde koriste se u svrhu poboljšanja nutritivne vrijednosti, okusa ili funkcionalnih svojstava ekstrudata (Moscicki, 2011).

Tijekom ekstrudiranja, pod utjecajem topline i vode, razbijaju se dugi lanci škroba, tako da škrob postaje ljepljiviji i probavljiviji. Proteini se denaturiraju tijekom ekstruzije, što se očituje

znatnim smanjenjem njihove topljivosti, pri čemu poboljšavaju elastičnost i sposobnost zadržavanja plinova (Pozderović, 2009).

Osnovni kriterij za odabir sirovina za ekstruziju je sljedeći:

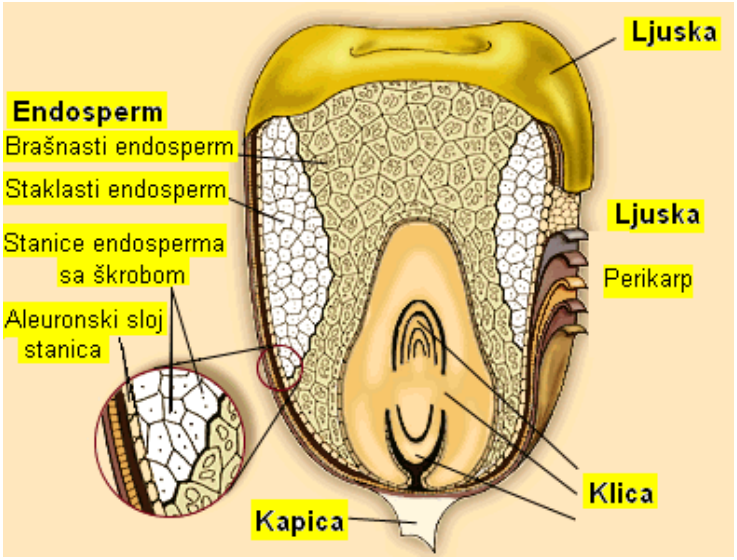
- Nutritivna vrijednost – primarni čimbenik,
- Cijena – sekundarni čimbenik,
- Dostupnost sirovine (Jozinović, 2011).

2.7.1. KUKURUZ (*Zea mays*)

Kukuruz je jednogodišnja biljka botaničkog naziva *Zea mays*. Na osnovi povijesnih istraživanja, smatra se da je kukuruz bio poznat 5000 god. pr.n.e. Američki Indijanci su tradicionalno uzgajali kukuruz, koji je kasnije prenesen u ostatak svijeta, a danas se praktički uzgaja na svim kontinentima. Prinosi kukuruza mogu znatno varirati, jer ovise o mnogo čimbenika (sorta, klima, voda, agrotehničke mjere) (Babić, 2011).

Zrna kukuruza rastu na klipu 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:

- ljuska,
- klica,
- brašnasti endosperm,
- staklasti endosperm (Babić, 2011).



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 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. 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. 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. 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 zrna. 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 (Babić, 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 Prosječni kemijski sastav zrna kukuruza (Eckhoff, 2009)

	Škrob [%]	Bjelančevine [%]	Ulje [%]	Šećer [%]	Pepeo [%]
Cijelo zrno	72	10,3	4,8	2,0	1,4
Endosperm	86,5	9,4	0,8	0,6	0,3
Klica	8,2	18,8	28 – 48	10,8	10,1
Omotač	7,3	3,7	1,0	0,3	0,8

2.7.2.Kakaovac (*Theobroma cacao*)

Stablo kakaovca naraste i do dvadesetak metara visine, a doživi i do 150 godina. Plodove daje nakon pet godina, a najveća rodnost je poslije desete godine. Masa ploda kreće se od 200 g do preko 1 kg, a boja i oblik ploda ovise o vrsti. Svaki plod sadrži 30-45 kakao zrna (Babić, 2011).

Osnovne vrste kakao zrna su:

- Kriolo,
- Forestero,
- Trinitario.

Kriolo je najplemenitije i nastarije zrno. U upotrebi je bilo najzastupljenije u 18. i 19. stoljeću dok je industrija čokolade još bila u začetku. Danas se rijetko koristi u većim količinama zbog visoke cijene održavanja njegove karakteristične arome.

Forestero zrna spadaju u najrasprostranjeniju vrstu na svijetu. Gaji se na plantažama u amazonskom pojasu Brazila, te u većem dijelu zapadne Afrike. Forestero zrna osim na kultiviranim, mogu biti ubrana i na poludivljim i divljim stablima odnosno plodovima.

Trinitario zrna se smatraju hibridnom vrstom tj. mješavinom osobina Kriolo i Forastero populacije. Kultivacija ove vrste je započeta u Trinidadu, nakon čega se proširila na Ekvador, Venecuelu, te zapadnu Afriku i Indoneziju.

Tržište kakaa razlikuje dvije kategorije zrna:

- fina ili aromatična zrna,
- obična (konzumna) zrna.

Fina zrna potiču striktno od Kriolo vrste, dok obična potiču od Forastero ili Trinitario vrste. Udio finih zrna u ukupnoj svjetskoj potrošnji je oko 5 % što indicira da cjelokupno tržište počiva na potrošnji običnog (bulk) zrna (Marić i Ovčina, 2013).

Tablica 2 Kemijski sastav kakao zrna (Babić, 2011)

	Endosperm (%)	Ljuska (%)
Kakao maslac	48-61	2 – 6
Proteini	11 – 24	13 – 6
Taninske tvari	6	-
Teobromin	0,8 – 1,4	0,2 – 1,3
Kofein	0,1 – 0,7	0,05 – 0,3
Voda	2 – 5	4 – 11
Škrob	6 – 9	3
Celuloza	9	27
Šećeri	1	-
Pektini	-	8
Minealne tvari	2,6 -4	5,5 – 12,4
Kiseline	2,6	-

Tijekom prerade kakao zrna (*Theobroma cacao* L.), uklanja se ljuska na koju otpada najmanje 10 % mase kakaovog ploda (Owusu - Domfeh, 1972).

Kakao ljuska predstavlja potencijalni ekološki problem kada se samo skladišti u blizini pogona za preradu jer, osim što uzrokuje neugodan miris zbog razgradnje, može biti i značajan izvor bakterija koje uzrokuju bolesti kao štoje primjerice crna trulež (Barazarte i sur., 2008; Donkoh i sur., 1991; Figueira i sur., 1993; Kalvatchev i sur., 1988).



Slika 6 Sastav suhe tvari kakao ljuske (Jurić i Nutrizio, 2014)

U zemljama koje proizvode kakao zrno, procesiranje takvog otpada može pružiti ekonomsku prednost i smanjiti opseg ekoloških problema. Alternativna metoda procesiranja kakao ljuske mogla bi biti izdvajanje pektina ljuske koji se koristi kao sredstvo za geliranje i stabiliziranje različitih prehrambenih, ali i kozmetičkih te farmaceutskih proizvoda (Rolin, 1993; Voragen i sur.,1995).

Otkriveno je da kakao ljuska sadrži brojne polifenolne spojeve, ali nije detaljno istraženo koji su to spojevi (Vriesmann i sur., 2011).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka kakao ljuske na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu 19/20 DN, Brabender, GmbH, Duisburg, Njemačka. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna i reološka svojstva.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

- Kukuruzna krupica darovana iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek (proizvedena 2015. godine);
- Kakao ljuska darovana iz tvornice Kandit d.o.o. i samljevena na laboratorijskom mlinu IKA MF-10, uz primjenu sita s otvorima 2 mm.

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s kakao ljuskom

Pripremljenim smjesama kukuruzne krupice s kakao ljuskom (omjeri 95:5, 90:10 i 85:15) najprije je podešena vlažnost na 15% te su ostavljene u plastičnim vrećicama preko noći u hladnjak na 4 °C. Zatim su ekstrudirane na ekstruderu Do-Coder, Brabender, GmbH, Duisburg, Njemačka pri režimu:

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

Dobiveni ekstrudati osušeni su preko noći na zraku te su provedene fizikalne i reološke analize.

3.2.2.2. Određivanje 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 sa dijametrom sapnice ekstrudera (4 mm) te se računa prema **formuli(1)** (Brnčić i sur.,2008):

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

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)**:

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

gdje 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, uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće i lomljivosti štapića pomoću noža. Ekstrudati su za potrebe ovog mjerenja rezani na štapiće dužine 10 cm koji su podvrgavani sljedećem testu:

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



Slika 7 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 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



Slika 8 Kromametar Konica Minolta CR-300 (Tanasković, 2014)

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

Određivanje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI) provedeno je 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 se doda 30 mL destilirane

vode, ispirući stjenke kivete, te se uzorci ostave stajati 30 min uz povremeno miješanje (svakih 5 min). Nakon toga se uzorci centrifugiraju na 3000 okretaja min^{-1} tijekom 15 min. Supernatant se dekantira u prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje i suši pri 105 °C do konstantne mase.

WSI predstavlja masu suhe tvari u supernatantu izraženu kao postotak suhe tvari u početnom uzorku i računa se prema **formuli(3)**.

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

$$WSI\ (\%) = \frac{masasuhetvariusupernatantu}{masasuhetvariupočetnomuzorku} \times 100 \quad \textbf{(3)}$$

$$WAI\ (gg^{-1}) = \frac{masagela}{masasuhetvariupočetnomuzorku} \quad \textbf{(4)}$$

3.2.2.7. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom



Slika 9 Brabenderov Mikro visko-analyzer (Jozinović, 2011)

Određivanje reoloških svojstava 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 se doda u destiliranu vodu (u posudu Brabenderovog Mikro visko-analyzera) kako bi se pripravilo 115 g vodene suspenzije s 14 % s. tv.

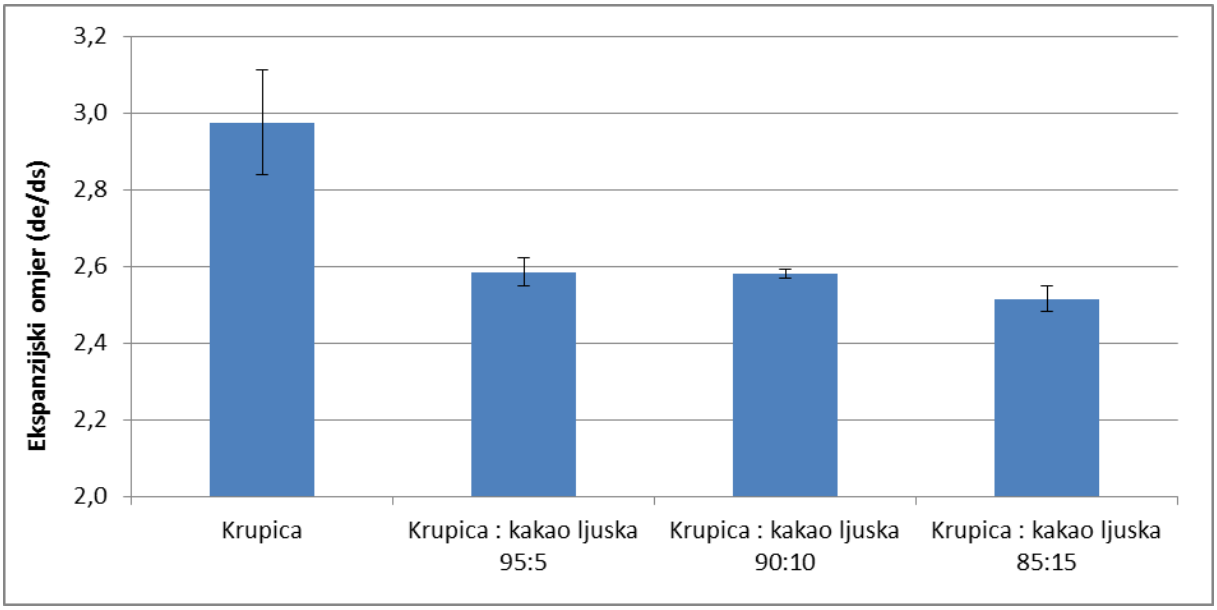
Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

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.

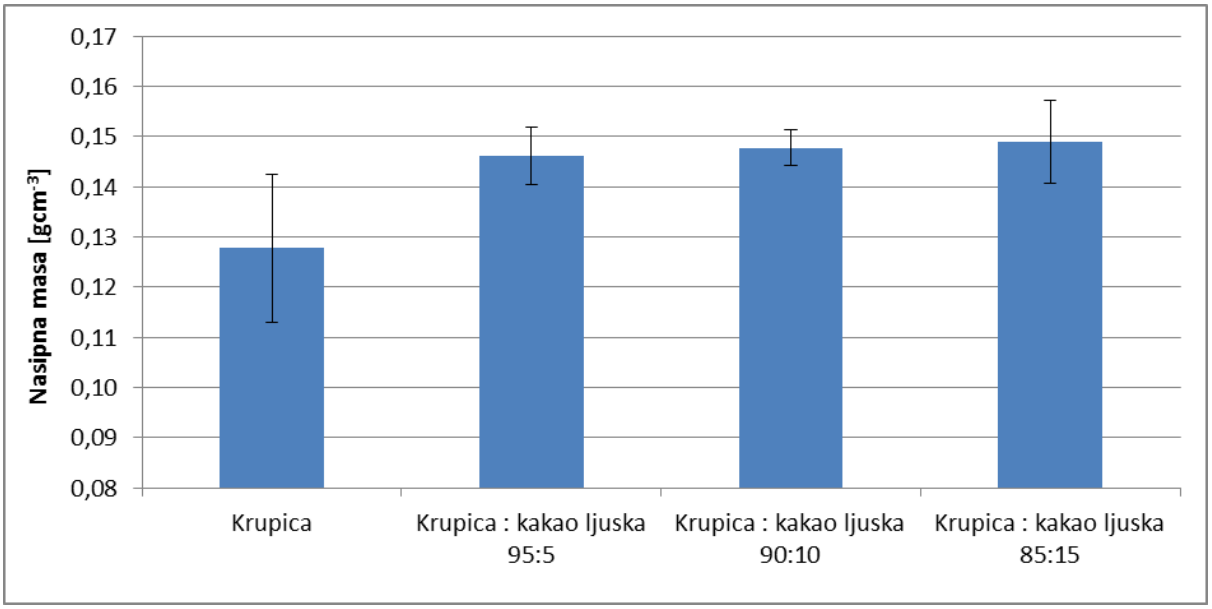
Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 min^{-1}, a mjerenjem se dobiju sljedeći parametri:

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 pri 92 °C [BU];
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja pri 50°C. Označava stabilnost pri 50 °C [BU];
7. Kidanje - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja pri 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU];
8. „Setback“ - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 5 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

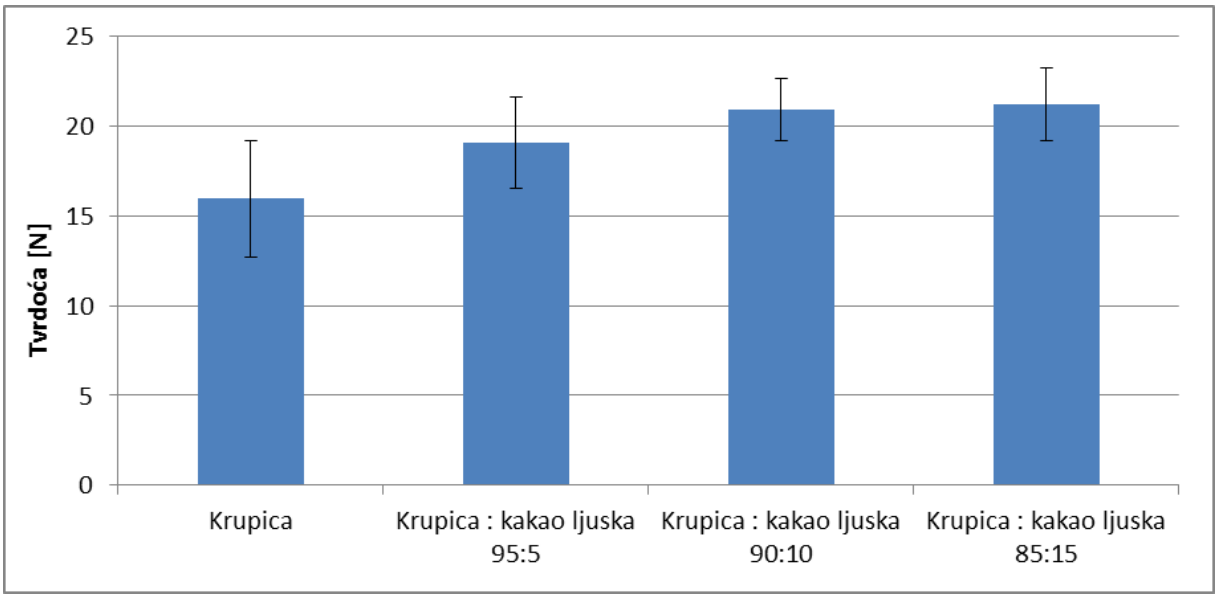
4. REZULTATI



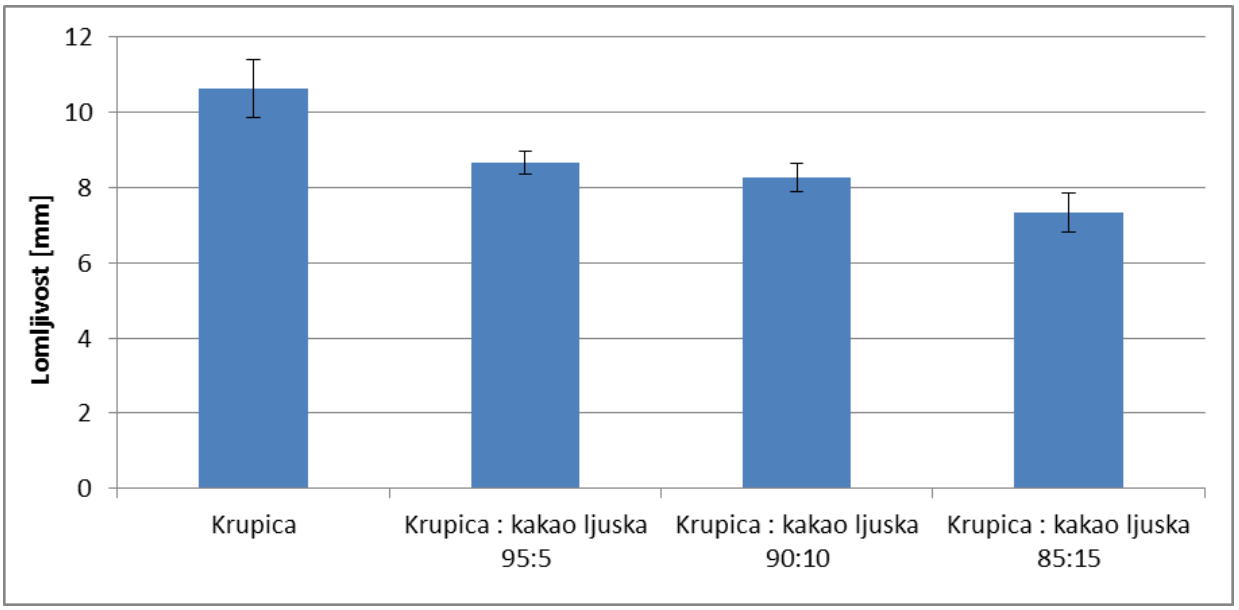
Slika 10 Promjena ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudirane kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske



Slika 11 Promjena nasipne mase ekstrudirane kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske



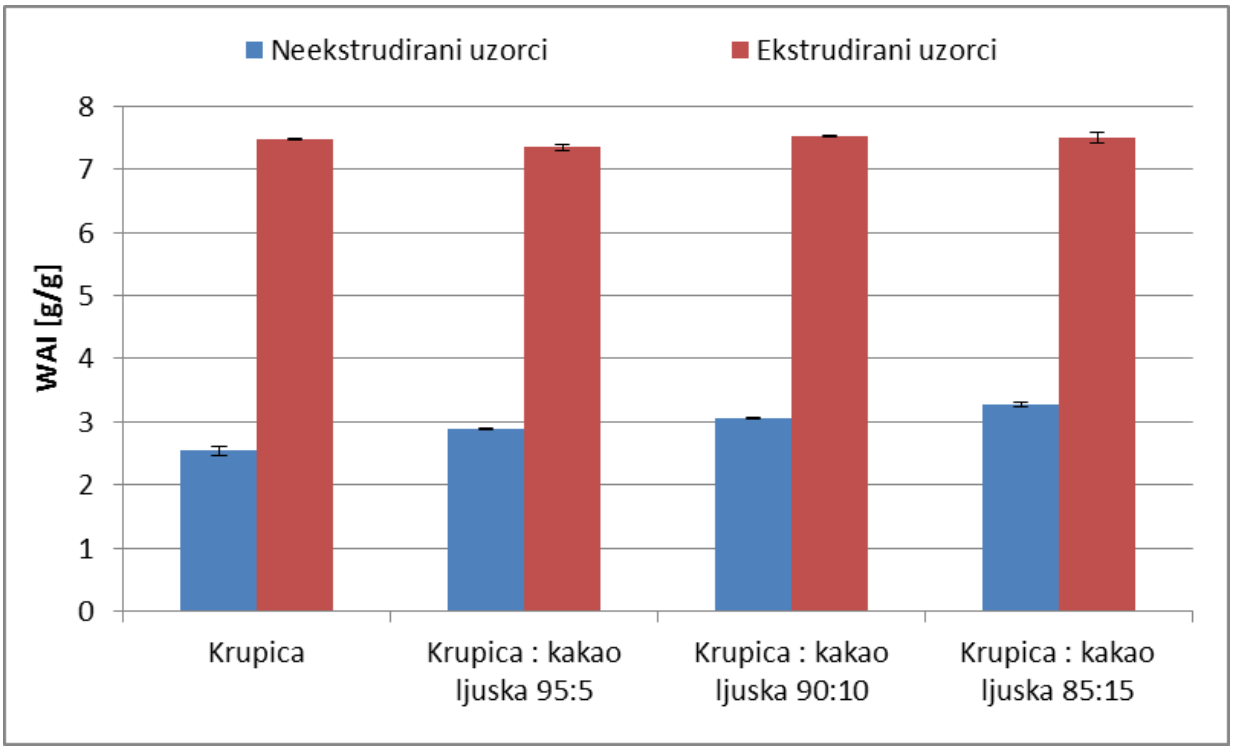
Slika 12 Promjena tvrdoće ekstrudirane kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske



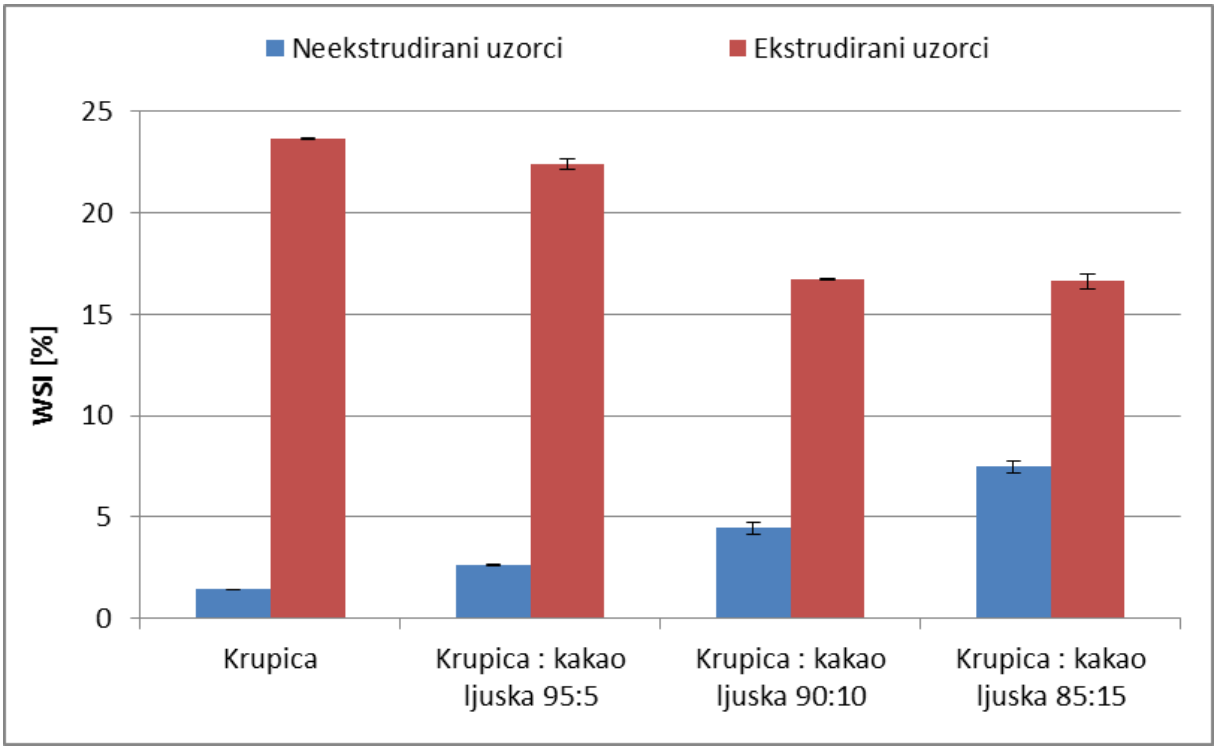
Slika 13 Promjena lomljivosti ekstrudirane kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske

Tablica 3 Utjecaj procesa ekstruzije na boju kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima

Uzorak	Neekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Krupica	77,48 ± 0,72 ^{d}	1,25 ± 0,04 ^{a}	46,89 ± 0,50 ^{d}	46,91 ± 0,51 ^{d}	88,47 ± 0,04 ^{d}	
Krupica : kakao ljuska 95:5	67,02 ± 0,07 ^{c}	2,26 ± 0,05 ^{b}	34,77 ± 0,04 ^{c}	34,84 ± 0,03 ^{c}	86,29 ± 0,08 ^{c}	16,04
Krupica : kakao ljuska 90:10	58,49 ± 0,02 ^{b}	3,90 ± 0,03 ^{c}	27,09 ± 0,05 ^{b}	27,37 ± 0,05 ^{b}	81,81 ± 0,08 ^{b}	27,56
Krupica : kakao ljuska 85:15	56,06 ± 0,04 ^{a}	4,86 ± 0,04 ^{d}	24,38 ± 0,03 ^{a}	24,86 ± 0,03 ^{a}	78,74 ± 0,08 ^{a}	31,28
Uzorak	**Ekstrudirani uzorci**					
	L*	**a***	**b***	**C**	**h°**	**ΔE**
Krupica	82,52 ± 0,02 ^{d}	-3,28 ± 0,05 ^{a}	44,21 ± 0,12 ^{d}	44,31 ± 0,17 ^{d}	93,46 ± 1,09 ^{d}	7,29
Krupica : kakao ljuska 95:5	66,25 ± 0,02 ^{c}	2,98 ± 0,05 ^{b}	26,96 ± 0,01 ^{c}	27,13 ± 0,01 ^{c}	83,69 ± 0,10 ^{c}	22,94
Krupica : kakao ljuska 90:10	62,06 ± 0,01 ^{b}	3,58 ± 0,02 ^{c}	22,69 ± 0,02 ^{b}	22,97 ± 0,02 ^{b}	81,03 ± 0,05 ^{b}	28,79
Krupica : kakao ljuska 85:15	55,72 ± 0,09 ^{a}	5,01 ± 0,04 ^{d}	21,31 ± 0,01 ^{a}	21,89 ± 0,02 ^{a}	76,75 ± 0,11 ^{a}	33,79



Slika 14 Utjecaj ekstruzije na indeks apsorpcije vode kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske



Slika 15 Utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi kukuruzne krupice s različitim udjelom kakao ljuske

Tablica 4 Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost kukuruzne krupica s različitim udjelom kakao ljuske

	Krupica	Krupica : kakao ljuska 95:5	Krupica : kakao ljuska 90:10	Krupica : kakao ljuska 85:15
Neekstrudirani uzorci				
viskoznost vrha [BU]	576,5 ± 9,19 [a]	574,5 ± 4,95 [a]	561,0 ± 11,31 [a]	559,5 ± 4,95 [a]
viskoznost pri 92 °C [BU]	104,0 ± 14,14 [a]	96,5 ± 9,19 [a]	85,5 ± 6,36 [a]	87,5 ± 9,19 [a]
nakon miješanja na 92 °C [BU]	580,5 ± 10,61 [b]	577,5 ± 6,36 [b]	557,0 ± 5,66 [a]	552,5± 0,71 [a]
viskoznost pri 50 °C [BU]	1106,5 ± 10,61 [b]	1100,5 ± 0,71 [b]	1010,5 ± 16,26 [a]	998,0 ± 16,97 [a]
nakon miješanja na 50 °C [BU]	1085,5 ± 28,99 [b]	1015,0 ± 16,97 [a]	968,5 ± 19,09 [a]	965,0 ± 18,38 [a]
kidanje [BU]	-4,0 ± 1,41 [a]	-3,0 ± 1,41 [a, b]	4,0 ± 5,66 [a, b]	7,0 ± 4,24 [b]
„setback“ [BU]	526,0 ± 0,00 [b]	523,0 ± 7,07 [b]	453,5 ± 10,61 [a]	445,5 ± 16,26 [a]
Ekstrudirani uzorci				
viskoznost vrha [BU]	138,0 ± 22,63 [b]	108,5 ± 4,95 [b]	181,5 ± 12,02 [c]	62,5 ± 6,36 [a]
viskoznost pri 92 °C [BU]	52,5 ± 20,51 [b]	0,0 ± 0,00 [a]	81,5 ± 4,95 [b]	0,0 ± 0,00 [a]
nakon miješanja na 92 °C [BU]	36,5 ± 19,09 [b]	0,0 ± 0,00 [a]	77,0 ± 0,00 [c]	0,0 ± 0,00 [a]
viskoznost pri 50 °C [BU]	150,0 ± 19,80 [c]	40,0 ± 11,31 [b]	186,0 ± 8,49 [d]	0,0 ± 0,00 [a]
nakon miješanja na 50 °C [BU]	151,0 ± 18,38 [c]	47,0 ± 16,97 [b]	178,5 ± 9,19 [c]	0,0 ± 0,00 [a]
kidanje [BU]	101,0 ± 4,24 [b]	108,5 ± 4,95 [b]	104,5 ± 12,02 [b]	62,5 ± 6,36 [a]
„setback“ [BU]	109,5 ± 0,71 [c]	40,0 ± 11,31 [b]	109,0 ± 8,49 [c]	0,0 ± 0,00 [a]

5. RASPRAVA

Zadatak ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s kakao ljuskom (omjeri krupica : kakao ljuska = 95:5, 90:10 i 85:15).

Na **Slici 10** prikazan je utjecaj dodatka kakao ljuske na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da uzorci s dodatkom kakao ljuske imaju manji ekspanzijski omjer u odnosu na samu kukuruznu krupicu. Ekspanzijski omjer ekstrudata smanjio se s povećanjem udjela kakao ljuske u uzorku.

Na **Slici 11** prikazan je utjecaj dodatka kakao ljuske na nasipnu masu ekstrudiranih smjesa. Iz dobivenih rezultata vidi se da je nasipna masa ekstrudiranih smjesa veća nego kod ekstrudirane kukuruzne krupice bez dodatka kakao ljuske. Ovi rezultati su u skladu s rezultatima mjerenja ekspanzije u kojemu su ekstrudati s manjom ekspanzijom imali višu nasipnu masu. Ekspanzija je posljedica želatinizacije, a povećanjem ekspanzijskog omjera dolazi do smanjenja nasipne mase (Case i sur., 1992; Mercier i sur., 1975; Hagenimana i sur., 2005).

Pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, određena je tekstura ekstrudata pri čemu su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost. Na **Slici 12** mogu se vidjeti rezultati za tvrdoću ekstrudiranih smjesa. Rezultati pokazuju da se dodatkom kakao ljuske u kukuruznu krupicu tvrdoća ekstrudata povećava. Na **Slici 13** može se vidjeti da se lomljivost ekstrudata s dodatkom kakao ljuske smanjuje.

Rezultati mjerenja utjecaja procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruz : kakao ljuska, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima prikazani su u **Tablici 3**.Usporedbom ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka same kukuruzne krupice može se vidjeti da je došlo do rasta vrijednosti parametra L* (sa 77,48 ± 0,72 na 82,52 ± 0,02), odnosno posvjetljenja ekstrudiranog uzoraka kukuruzne krupice. Usporedbom uzorka kukuruzne krupice s uzorcima smjese krupica : kako ljuska vrijednost parametra L* se smanjila, što znači da uzorci s dodatkom kako ljuske postaju tamniji. Što je udio kakao ljuske veći to je i boja ekstrudiranih uzoraka tamnija (krupica : kakao ljuska 95:5 → 66,25 ± 0,02 dok je krupica : kakao ljuska 85 : 15 → 55,72 ± 0,09). Vrijednost parametra a* kod neekstrudirane kukuruzne krupice i uzoraka s dodatkom kakao ljuskeje pozitivna što znači da ulazi u domenu crvene boje.Iznimka je bila kod ekstrudiranog uzorka krupice gdje je ovaj parametar imaonegativnu vrijednost.

Parametar b* je kod svih uzoraka pozitivan što pokazuje da uzorci ulaze u domenu žute boje. Parametar je najveći kod neekstrudirane kukuruzne krupice (46,89 ± 0,50), a opada s dodatkom kakao ljuske kod neekstrudiranih (34,77 ± 0,04) kao i kod ekstrudiranih uzoraka (sa 44,21 ± 0,12 na 26,96 ± 0,01). Vrijednost parametra C je kao i za parametar b* najveći kod neekstrudirane kukuruzne krupice (46,91 ± 0,51), a opada s dodatkom kakao ljuske

(34,84 ± 0,03). Iz rezultata za parametar h° može se zaključiti da oni potvrđuju rezultate parametara a* i b*, jer dobivene vrijednosti za h° pokazuju da je boja uzoraka bila u domeni žute boje, odnosno blago zelene i crvene.

Na **Slici 14** prikazani su rezultati za indeks apsorpcije vode (WAI) za neekstrudirane i ekstrudiranre uzorke. Dobiveni rezultati pokazuju da su vrijednosti bile znatno veće za ekstrudirane uzorke. Također se može vidjeti da dodatak kakao ljuske nije imao značajan utjecaj na 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.).

Što se tiče indeksa topljivosti u vodi, dobiveni rezultati na **Slici 15** pokazuju da je vrijednost ovog parametara veći za ekstrudirane u odnosu na neekstrudirane uzorke te da se topljivost u vodi povećala dodatkom kakao ljuske kod neekstrudiranih proizvoda, dok se nakon ekstruzije topljivost u vodi bila je manja što je udio kakao ljuske veći, odnosno bolje ekspandirani uzorci imali su veći indeks topljivosti u vodi.

U **Tablici 4** prikazan je utjecaj procesa ekstruzije i dodatka kakao ljuske na viskoznost smjesa na bazi kukuruzne krupice, a mjerena je Brabenderovim micro – visco – analyzer-om. Iz rezultata se može vidjeti da je ekstruzija dovela do značajnog smanjenja viskoznosti vrha (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba) kod svih uzoraka. Dodatak kakao ljuske uzrokovao je smanjenje viskoznosti vrha i kod ekstrudiranih i kod neekstrudiranih uzoraka. Zagrijavanjem do 92 °C došlo je do pada viskoznosti kod svih uzoraka. Kod neekstrudiranih uzoraka viskoznost je bila veća za smjese sa kakao ljuskom i povećavala se proporcionalno s porastom udjela kakao ljuske, dok je u slučaju ekstrudiranih uzoraka viskoznost bila manja kod smjesa sa kakao ljuskom, s tim da su vrijednosti viskoznosti smjesa opet bile veće za uzorke s većim udjelom kakao ljuske. Nakon 5 minuta zadržavanja uz miješanje na temperaturi 92 °C, u slučaju neekstrudiranih uzoraka viskoznost je opet porasla na približno početne vrijednosti, dok je kod ekstrudiranih došlo da daljnjeg pada. Niske vrijednosti kidanja (kidanje = viskoznost vrha – viskoznost na 92 °C / 5 minuta) kod neekstrudiranih uzoraka ukazuju na dobru stabilnost pri miješanju na visokim temperaturama. S druge strane, ekstrudirani uzorci pokazali su manju stabilnost prilikom miješanja na visokoj temperaturi. Nakon hlađenja na temperaturu od 50 °C došlo je do značajnog povećanja viskoznosti kod svih uzoraka kao rezultat retrogradacije škroba. Sklonost retrogradaciji se može očitati iz vrijednosti podataka za „setback“ („setback“ = viskoznost pri 50 °C – viskoznost pri 92 °C / 5 minuta). Na osnovu dobivenih rezultata se može vidjeti da su neekstrudirani uzorci znatno skloniji retrogradaciji od ekstrudiranih. U slučaju neekstrudiranih uzoraka, sklonost retrogradaciji se povećala s porastom udjela kakao

ljuske, dok su u slučaju ekstrudiranih uzoraka smjese s kakao ljuskom pokazale znatno manju sklonost retrogradaciji od same kukuruzne krupice.

Arámbula i sur. (1998) u svom su radu utvrdili da je stupanj želatinizacije škroba u ekstrudiranoj kukuruznoj krupici optimalan na temperaturi oko 80 °C. Tijekom procesa ekstruzije dolazi do djelomične želatinizacije škroba, no najznačajnija razlika između ekstruzije i drugih oblika procesiranja hrane je u tome što se tijekom ekstruzije želatinizacija škroba odvija pri niskom sadržaju vlage (12 – 22 %) (Camire, 2000). Ekstruzija uzrokuje oštećenje granula škroba te stoga gelovi ekstrudiranih proizvoda imaju manju viskoznost u odnosu na neekstrudirane uzorke (Dokić i sur., 2009). Wu i sur. (2014) u svom istraživanju o reološkim svojstvima ekstrudiranih proizvoda utvrdili su da kod neekstrudiranih uzoraka škrob želatinizira na temperaturi oko 67 °C, a da kod ekstrudiranih uzoraka želatinizacija nije zabilježena.

6. ZAKLJUČCI

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

1. Dodatkom kakao ljuske u kukuruznu krupicu došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudata i to proporcionalno udjelu kakao ljuske.

2. Nasipna masa ekstrudata povećala se dodatkom kakao ljuske, što je u skladu s rezultatima za ekspanzijski omjer – ekstrudati s manjom ekspanzijom imali su višu nasipnu masu.

3. Dodatkom kakao ljuske značajno se povećala tvrdoća ekstrudata, a lomljivost ekstrudata se smanjila.

4. Procesom ekstruzije same kukuruzne krupice došlo je do posvjetljenja njezine boje. Nadalje, dodatkom kakao ljuske u kukuruznu krupicu došlo je do potamnjivanja ekstrudata, to više što je veći udio kakao ljuske u zamjesu. Boja svih uzoraka nalazi se u domeni žute, odnosno djelomično zelene i crvene boje.

5. Nakon provedenog procesa ekstruzije, kod svih uzoraka povećali su se indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi.Osim toga, može se zaključiti da dodatak kakao ljuske nije imao značajan utjecaj na indeks apsorpcije vode, dok se indeks topljivosti u vodi kod neekstrudiranih uzoraka povećao se s dodatkom kakao ljuske.

6. Postupkom ekstruzije i dodatkom kakao ljuske došlo je do smanjenja viskoznosti vrha kod svih uzoraka. Neekstrudirani uzorci su pokazali znatno veću sklonost retrogradaciji od ekstrudiranih, ali su s druge strane ekstrudirani uzorci manje stabilni pri miješanju na visokim temperaturama.

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.

Arámbula GV, Yánez-Limón M, González-Hernández J, Mártinez JL, Figueroa JDC, Alvarado-Gil§ JJ, Vargas H, Sánchez-Sinencio F: Effects of Starch Gelatinisation on the Thermal, Dielectric and Rheological Properties of Extruded Corn Masa. Journal of Cereal Science, 27: 147–155, 1998.

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

Barazarte, H., Sangronis, E., Unai, E. La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. Arch. Latinoam. Nutr. 58, 64-70, 2008.

Brennan JG, Grandison A: Food Processing Handbook. Wiley-VCH, Weinheim, 2012.

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

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.

Cheftel JC: Extrusion cooking: Operation Principles, Research Trends and Food Applications. In Processing and Quality of Foods. Elsevier, London and New York, 1990.

Dokić LJP, Bodroža-Solarov MI, Hadnađev MS, Nikolić IR: Properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. Biblid, 40: 17-24, 2009.

Donkoh, A., Atuahene, C. C., Wilson, B. N., Adomako, D: Chemical composition of cocoa pod husk and its effect on growth and food efficiency in broiler chicks. Anim. Feed Sci. Tech. 35, 161-169, 1911.

Eckhoff SR: Corn and sorghum starches: Production (373 – 431). In Starch: Chemistry and technology. Edit by James BeMiller and Roy Wistler. Academic Press, Third edition, 2009.

Figueira, A., Janick, J., BeMiller, J. N.: New products from Theobroma cacao: seed pulp and pod gum. News Crops, 2, 1-5, 1993.

Guy R: Extrusion cooking: Technologies and applications. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2001.

Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modifided by extrusion cooking. Journal of Cereal Science, 24:1-9, 2005.

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

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

Jurić S, Nutrizio M: Potencijal sekundarnih biljnih sirovina kao izvora funkcionalnih sastojaka prehrambenih proizvoda. *Seminarski rad*.Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2014.

Kalvatchev, Z., Garzaro, D., Cedezo, F. G.(*Theobroma cacao* L.): un nuevo enfoque para nutrición y salud. Agroalimentaria, 6, 23-25, 1998.

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

Marić D, Ovčina M: Prerada kakao zrna.*Seminarski rad*. Tehnološki fakultet, Tuzla, 2013.

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: Applications, Theory and Sustainability. WILEY-VCH Verlag & Co. KgaA, Boschstr. 12, Weinheim, Germany, 2011.

Owusu-Domfeh, K.: The future of cocoa and its by-products in the feeding of livestock. GhanaJnl. Agric. Sci. 5, 57-64, 1972.

Pozderović A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.

Riaz NM: Extruders in Food Applications, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.

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

Rolin, C., Pectins. U: Industrial gums: Polysaccharides and their derivatives (Whistler, R. L., BeMiller, J. N., ured.), 3. izd., Academic Press, San Diego, str. 257-293, 1993.

Rossen JL, Miller RC: Food ekstruzion. Food technology 27:46-53, 1973.

Tanasković I: Utjecaj dodatka zobi na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. Diplomski rad. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2014.

Voragen, A. G. J., Pilnik, W., Thibault, J.-F., Axelos, M. A. V., Renard, M. G. C. Pectins. U: Food polysaccharides and their applications (Stephen, A. M., ured.), Marcel Dekker Inc., New York, str. 288 – 310, 1995.

Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., Petkowicz, C. L. O. Optimization of nitric acid-mediated extraction of pectin from cacao pod husks (Theobroma cacao L.) using response surface methodology. Carbohyd. Polym. 84, 1230 - 1236, 2011.

Wu M, Li D, Wang LJ, Özkan N, Mao ZH: Rheological properties of extruded dispersions of flaxseed-maize blend. Journal of Food Engineering, 98:480-491, 2014.

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 physiochemical changes of starch during extrusion. Journal of Food Engineering, 100:232-238, 2010.