Svojstva ekstrudata na bazi kukuruzne krupice s dodatkom izluženih repinih rezanaca

Slišković, Sanja

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:109:294636

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

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

Sanja Slišković

SVOJSTVA EKSTRUDATA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE S DODATKOM IZLUŽENIH REPINIH REZANACA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, svibanj, 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. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18. lipnja 2014.
Mentor: izv. prof. dr. sc. *Jurislav Babić*
Pomoć pri izradi: dr. sc. *Antun Jozinović*

SVOJSTVA EKSTRUDATA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE S DODATKOM IZLUŽENIH REPINIH REZANACA

Sanja Slišković, 202/DI

Sažetak:
Ekstruzija je danas postala nezaobilazan proces u prehrambenoj industriji gdje se vrlo često kao osnovna sirovina koristi kukuruzna krupica. Da bi se poboljšala fizikalno-kemijska svojstva i nutritivna vrijednost ekstrudata u kukuruznu krupicu dodaju se različiti dodaci.
Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka izluženih repinih rezanaca na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice (omjeri krupica : rezanci = 95:5; 90:10 i 85:15). Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu pri temperaturnom profilu 135/170/170 °C uz upotrebu puža konfiguracije 4:1 i sapnice promjera 4 mm. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva te probavljivost u odnosu na neekstrudirane uzorke.
Dobiveni rezultati pokazuju kako je dodatkom repinih rezanaca došlo do smanjenja ekspanzijskog omjera i lomljivosti ekstrudata, a povećanja nasipne mase i tvrdoće ekstrudata. Ekstrudati s repinim rezancima bili su tamniji u odnosu na kontrolni uzorak kukuruzne krupice. Proces ekstruzije je uzrokovao povećanje indeksa apsorpcije vode i indeksa topljivosti u vodi te smanjenje viskoznosti vrha, viskoznosti na 92 °C i viskoznosti na 50 °C. Udio masti ekstruzijom se smanjio, a sadržaj pepela lagano porastao. Dio ekstrudata mogao bi se koristiti kao finalni proizvod (*snack*), a preostali kao modificirana brašna u pekarskoj industriji.

Ključne riječi: ekstruzija, kukuruzna krupica, izluženi repini rezanci

Rad sadrži: 45 stranica
21 slika
3 tablice
0 priloga
44 literaturne reference

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

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

Datum obrane: 29. svibnja 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: Tehnology of confectionery and related 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: *Jurislav Babić,* PhD, associate prof.
Technical assistance: *Antun Jozinović,* PhD

PROPERTIES OF CORN GRITS EXTRUDATES WITH ADDITION OF SUGAR BEET PULP

Sanja Slišković, 202/DI

Summary:
Extrusion has become an essential process 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, different type of supplements are added to corn grits. The aim of this study was to determine the effect of suger beet pulp addition to corn grits (ratio grits : suger beet pulp = 95:5; 90:10 and 85:15) on properties of extrudates. Prepared samples with 15% of moisture content were extruded in the laboratory single screw extruder at temperature profile 135/170/170 °C, using screw with compression ratio 4:1 and die with 4 mm diameter. The physical, thermophysical and rheological properties of extrudates were compared to non-extruded samples. The obtained results showed that addition of sugar beet pulp to corn grits resulted in decrease of expansion ratio (ER) and fracturability, whereas bulk density (BD) and hardness of extrudates increased. Extrudates with sugar beet pulp were darker in relation to control sample of corn grits. Extrusion process resulted in increase of water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI), but in decrease of peak, hot and cold viscosities. Fat content decreased by extrusion, but ash content slightly increased. Part of the extrudates could be used as a final product (*snack*), and the remaining as modified flours in bakery industry.

Key words: extrusion cooking, corn grits, sugar beet pulp

Thesis contains: 45 pages
21 figures
3 tables
0 supplements
44 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: May 29th, 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 prije svega svojim roditeljima koji su mi bili i jesu velika podrška kroz cijeli moj studij. Hvala im na beskrajnom povjerenju, ljubavi i brizi. Također, veliko HVALA i bratu Josipu koji je također uvijek bio tu za mene. Mnogim drugim prijateljima, rodbini, tetkama, kumama, profesorima… koji su na bilo koji način bili uz mene i olakšali mi kroz ovaj studij. Svim dragim prijateljima studentima bez kojih studentski život ne bi bio zanimljiv kao što je. Želim se zahvaliti i Draganu koji je također uvijek bio uz mene. Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Jurislavu Babiću i dr. sc. Antunu Jozinoviću na velikoj pomoći tijekom izrade ovoga rada.

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 6
2.5. PODJELA EKSTRUDERA 7
2.5.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada 7
2.5.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 8
2.5.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 8
2.5.4. Osnovna podjela ekstrudera s obzirom na tehničku izvedbu: 8
2.6. ZONE (SEKCIJE) EKSTRUDERA 11
2.7. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA 13
2.7.1. Kukuruz (*Zea mays*) 13
2.7.2. Šećerna repa (*Beta vulgaris*) 15
3. EKSPERIMENTALNI DIO 17
3.1. ZADATAK 18
3.2. MATERIJAL I METODE 18
3.2.1. Materijali 18
3.2.2. Metode 18
4. REZULTATI 26
5. RASPRAVA 33
6. ZAKLJUČCI 39
7. LITERATURA 41

1. UVOD

Ekstruzija je danas postala nezaobilazan proces u prehrambenoj industriji. Proces je u kojemu se neka sirovina podvrgava raznim tehnološkim operacijama, kao što su miješanje, tlačenje, grijanje, te prolaskom kroz posebno oblikovanu sapnicu proizvod se oblikuje i pomoću ekspanzije suši.

U prehrambenoj industriji ekstruzija se koristi u proizvodnji flipsa, snack proizvoda, različitih vrsta tjestenine, ali i u proizvodnji „ready-to-eat“ proizvoda od žitarica (npr. pahuljice za doručak), kao i u svrhu modifikacije škroba i različitih vrsta brašna koja se koriste u pekarskoj industriji i keksarstvu. Procesom ekstruzije proteini i škrob pod utjecajem tlaka, smicanja i visoke temperature postaju lakše probavljivi te kao takvi prihvatljiviji za potrošača. Osim toga, procesom ekstruzije ne dolazi do značajnih degradacija unutar namirnice, čime se čuva prehrambena vrijednost proizvoda i smanjuje gubitak korisnih sastojaka hrane. Uređaji za ekstruziju su vrlo praktični jer ne zahtijevaju velika kapitalna ulaganja, a većina opreme nudi više aplikacija za proizvodnju i jednostavna je za upotrebu.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj ekstruzije na proizvode dobivene miješanjem kukuruzne krupice i izluženih repinih rezanaca u različitim omjerima. Svrha zamjene kukuruzne krupice s izluženim repinim rezancima je poboljšanje nutritivne vrijednosti ekstrudata, ali ujedno i smanjenje velike količine nusproizvoda nastalih u industriji proizvodnje šećera.

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.).

Procesi tijekom ekstruzije uključuju:

- *Denaturacija proteina*: Temperatura,
- *Termičko tretiranje*: Kuhanje,
- *Promjena teksture namirnice,*
- *Usitnjavanje*: Tijekom prolaska kroz ekstruder može doći do usitnjenja čestica,
- *Homogenizacija i miješanje,*
- *Uklanjanje plinova*: Namirnice mogu u svojoj strukturi sadržavati mjehuriće plinova (najčešće zraka) koji se mogu ukloniti primjenom ekstrudera,
- *Aglomeracija*: Povezivanje (udruživanje) manjih čestica u veće nakupine,
- *Dehidratacija*: Uklanjanje vlage,
- *Ekspandiranje*: Stupanj ekspanzije se kontrolira procesnim parametrima i konfiguracijom ekstrudera,
- *Želatinizacija*: Namirnice koje sadrže škrob,
- *Pasterizacija i sterilizacija*: Ovisno o uvjetima tijekom ekstruzije (temperatura) (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

Proces ekstruzije prvi put se spominje 1797. godine u Engleskoj, kada ga je Joseph Bramah primijenio za proizvodnju sapuna, pasti i mase za crijep, upotrebom ručne pištolj-preše. Jednostavan i jeftin industrijski ekstruder izvorno je razvijen u SAD-u šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, a primjenjivan je na farmama za kuhanje sojinog zrna i stočne hrane dobivene od cerealija. Samo desetljeće kasnije dizajnirani su jeftini ekstruderi za upotrebu u

prehrambenoj industriji čija je cijena bila dovoljno pristupačna da bi se koristili i u slabije razvijenim zemljama.

Prvi dvopužni ekstruderi proizvedeni su u Europi prije više od trideset pet godina, ali im u SAD-u nije pridavana velika pažnja sve do ranih osamdesetih godina prošlog stoljeća (Riaz, 2000).

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.).

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

- brza izmjena topline s HTST obilježjima (i prednostima);
- veliki kapacitet s obzirom na ulaganja i prostor;
- veliki energetski 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 (Riaz, 2000.).

2.4. EKSTRUZIJA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Prva primjena ekstrudera u proizvodnji ekspandiranih proizvoda bila je sredinom 1940-tih na proizvodu kojemu je baza bila mljeveni kukuruz. Najvjerojatnije je to bio neki oblik okruglog ili spiralnog flipsa, koji je bio prekriven sirom ili posoljen.

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

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

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.).

Ekstruzijsko kuhanje najčešće se primjenjuje u preradi škrobom ili proteinima bogatih proizvoda. Iako je ta primjena danas pretežno ograničena na proizvode s niskom vlažnošću, novija su istraživanja usmjerena i na proizvode s većim sadržajem vode (40 – 80%) (Cheftel, 1990.).

Tijekom ekstruzije dolazi do različitih promjena sastojaka hrane. Kontrola ugljikohidrata tijekom ekstruzije vrlo je važna da bi se dobio proizvod željene nutritivne vrijednosti. Kod škroba dolazi do želatinizacije. Ta želatinizacija odvija se pri znatno manjoj količini vode nego kod drugih procesa. Cijepanje polimera škroba bitno je kontrolirati jer kod visoke temperature i tlaka nastaje veća degradacija molekula, a viši stupanj degradacije utječe na smanjenje ekspanzije proizvoda. Podešavanjem uvjeta rada ekstrudera može se postići željeni stupanj

cijepanja škroba (Gautam i Choudhoury, 1999.). Tijekom ekstruzije dolazi do denaturacije proteina. To je najvažnija promjena tijekom procesa, jer denaturacija proteina dovodi do poboljšanja probavljivosti proizvoda. Također visoka temperatura procesa i nizak postotak vlage dovode do razvoja Maillard-ovih reakcija. Razvojem Maillard-ovih reakcija, reakcija između aminokiselina i šećera dolazi do promjene boje (Konstance i sur., 1998.). Kod masti dolazi do oksidacije, a namirnice koje sadrže više od 5 - 6% masti uzrokuju proklizavanje materijala tijekom ekstruzije, što dovodi do slabije ekspanzije gotovog proizvoda (Osman i sur., 2000.). Oksidacija masti je najveći uzrok gubitka nutritivne vrijednosti proizvoda i gubitka senzorskih karakteristika. Pretpostavlja se da do oksidacije masti ne dolazi tijekom ekstruzije, nego prilikom skladištenja (Artz i sur., 1992.).

2.5. PODJELA EKSTRUDERA

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

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

2.5.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

Adijabatski ekstruderi – Ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. U ovim uređajima toplina se razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala kroz uređaj, a kod njih se u pravilu niti odvodi niti dovodi toplina.

Izotermni ekstruderi – U ovim uređajima se održava određena (konstantna) temperatura odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplinu.

Politropski ekstruderi – Ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta. Većina ekstrudera u prehrambenoj industriji su politropski ekstruderi.

2.5.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

Ekstruderi pozitivnog tlaka – direktnog tipa

Ovi ekstruderi rade pomoću klipa ili jednog ili dva puža, pri čemu tijekom rada u jednom slučaju ne dolazi do smika, dok je u drugom slučaju materijal zbog viskoznog gibanja izložen smiku.

Ekstruderi viskozno-vlačnog toka – indirektnog tipa

Ovi ekstruderi su izvedeni tako da se u njima materijal tijekom gibanja ponaša kao ne-Newtonska tekućina. Ovakav rad ekstrudera bitno utječe na promjenu svojstava ishodišnog materijala i definiranje svojstava gotovog proizvoda. Osnovna primjena ovih ekstrudera je u konditorskoj industriji (Lovrić, 2003.).

2.5.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

Nisko-smični ekstruderi – Ovi ekstruderi se još nazivaju i ekstruderi hladnog oblikovanja. Kućište kod ovih ekstrudera je glatko, puževi su sa dubokim navojima, a brzina okretaja puža je mala. Oni se primjenjuju u oblikovanju tijesta, keksa, mesnih proizvoda i određenih konditorskih proizvoda.

Srednje-smični ekstruderi – Ovi ekstruderi imaju puževe za postizanje visokih tlakova, kućište sa žljebovima kako bi se poboljšalo miješanje, a toplina se dovodi izvana. Oni se koriste za proizvodnju proizvoda mekane konzistencije sa povišenim udjelom vlage.

Visoko-smični ekstruderi – Ovi ekstruderi se još nazivaju i Collet ekstruderi. Oni imaju kućište sa žljebovima i puževe sa plitkim navojima. Na izlazu iz ekstrudera dolazi do ekspanzije i sušenja proizvoda. Ovaj tip ekstrudera se koristi za proizvodnju ekspandiranih snack proizvoda (Babić, 2011.).

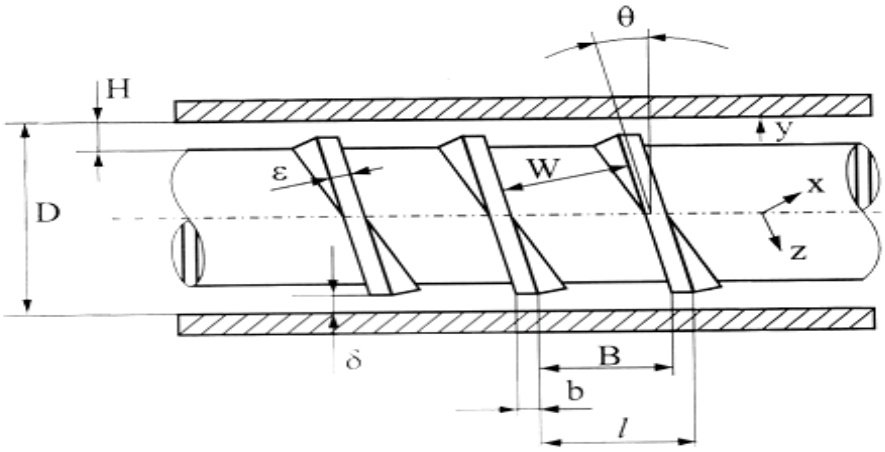
2.5.4. Osnovna podjela ekstrudera s obzirom na tehničku izvedbu:

a) Jednopužni;
b) Dvopužni.

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.).

Karakteristike ekstrudera ovise o geometrijskoj konfiguraciji ključnih elementa uređaja, kao što su geometrija puža i kućišta. Konfiguracija puža uključuje: kut rebara, debljina rebara, debljina osovine, razmak između pužnice i kućišta koji definira omjer kompresije, a on se obično kreće od 1:1 do 5:1.

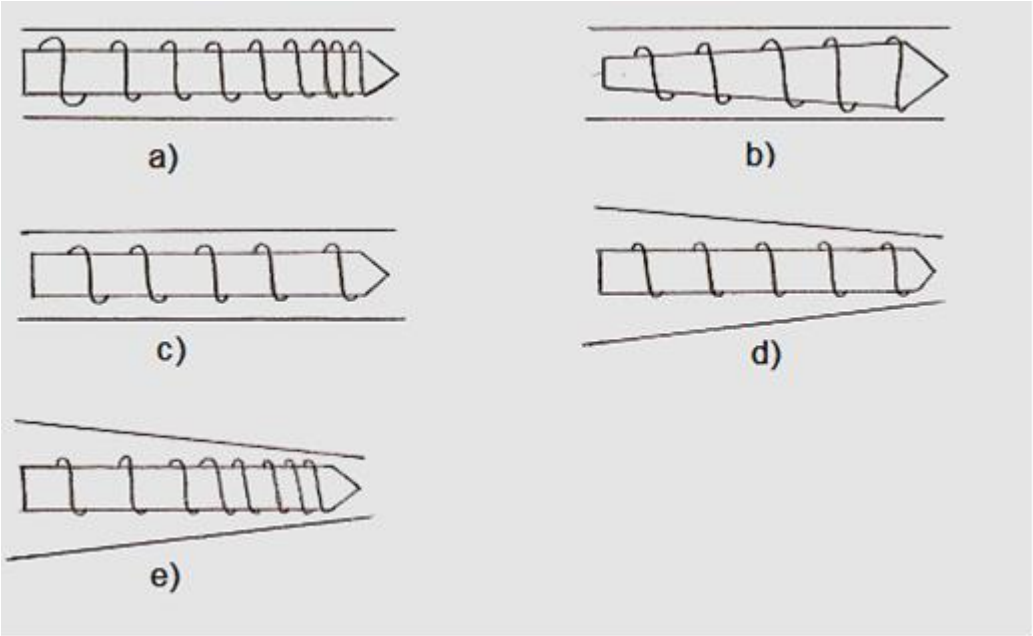


Slika 1 Parametri karakteristični za geometrijsku konfiguraciju pužnog ekstrudera

- 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.)

Jednopužni ekstruderi mogu biti sa smanjenjem koraka puža i sa smanjenjem promjera puža ili kućišta ili oba. Podjela jednopužnih ekstrudera prema izvedbi puža i kućišta je sljedeća:

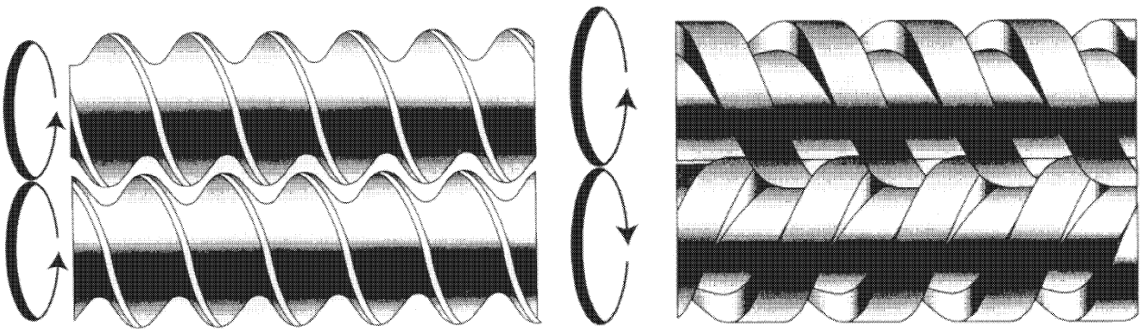
a. kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju;
b. kod kojih se korak puža povećava prema kraju;
c. sa navojem na unutrašnjoj površini kućišta;
d. kod kojih se kućište konusno sužava;
e. kod kojih se korak puža smanjuje, a kućište konusno sužava.



Slika 2 Tipovi puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera. A) korak puža smanjuje se prema kraju; b) promjer puža povećava se prema kraju; c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta; d) kućište se konusno sužava; e) korak se smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Babić, 2011.)

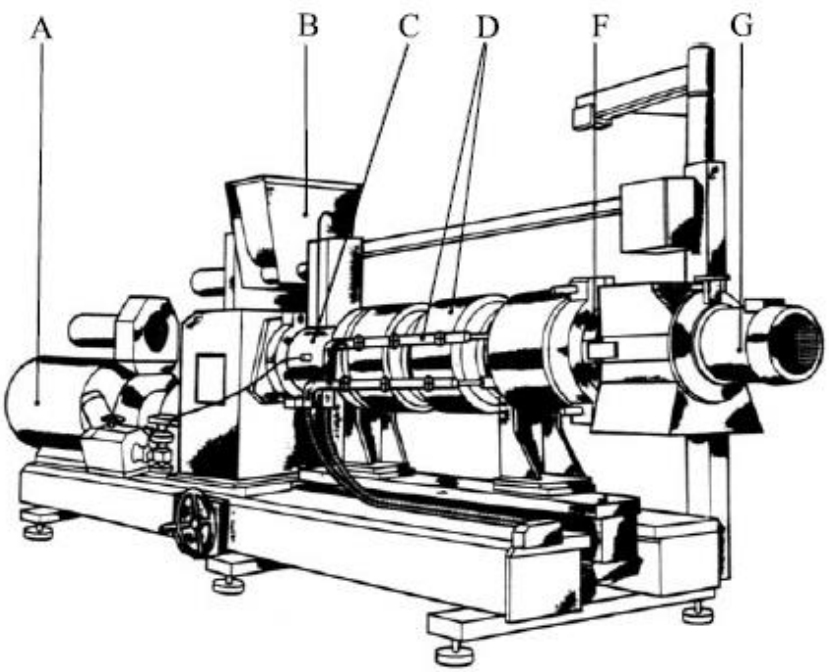
Osnovna podjela dvopužnih ekstrudera prema smjeru okretaja pužnice je sljedeća:

a. istosmjerni okretaji pužnice,
b. suprotni smjer okretaja pužnice.



a) istosmjerni okretaji pužnice b) suprotni smjer okretaja pužnice

Slika 3 Podjela dvopužnih ekstrudera (Babić, 2011.)



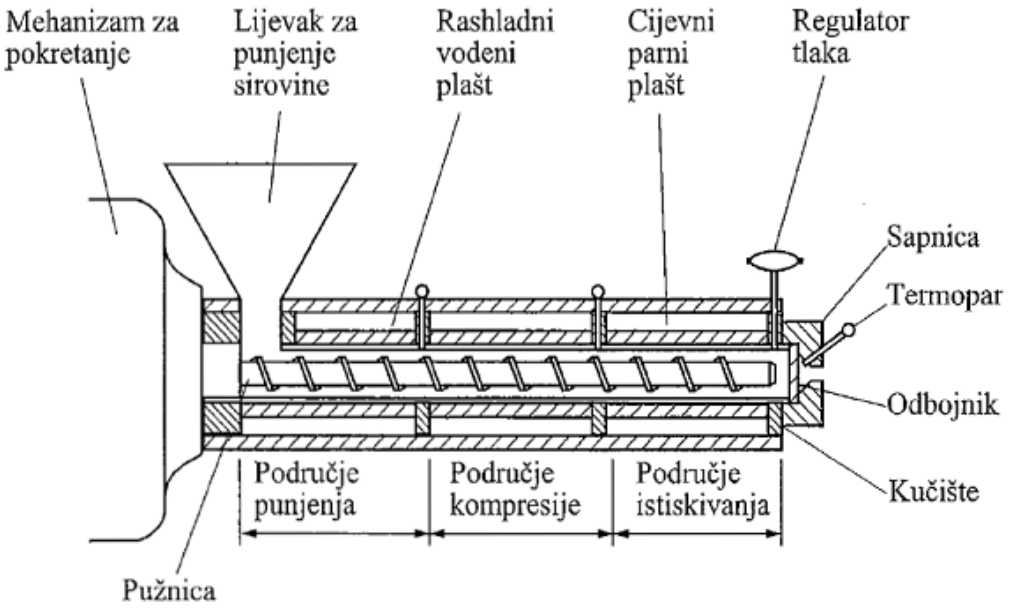
Slika 3 Dvopužni ekstruder za prehrambene proizvode; pogonski mehanizam, B. lijevak za doziranje, C. kućište, D. termostatski sustav, F. zona istiskivanja, G. sapnica (Lovrić 2003.)

Tokovi u dvopužnim ekstruderima su složeniji nego u jednopužnim ekstruderima. Kod dvopužnih ekstrudera pužnice se mogu okretati u istom ili u suprotnom smjeru; navoji pužnice se mogu ne zahvaćati, djelomično zahvaćati te potpuno zahvaćati, a geometrija pužnice može biti različita. Cilindar (kućište) ekstrudera se često ožljebljuje s unutarnje strane, kako bi se smanjilo proklizavanje po površini do kojega dolazi kada smično naprezanje postaje veće od adhezije materijala uz stjenke kućišta. Žljebovi pomažu lijepljenju materijala uz stjenku (Lovrić, 2003.).

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 4 Presjek jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003.)

Zona uvlačenja materijala – glavni cilj ove zone je prihvat materijala i njegov transport do zone kompresije. Uređaj za doziranje osigurava konstantno i jednolično doziranje materijala. Obično se sastoji od puža koji transportira materijal, a sam puž dozirke ima mogućnost podešavanja broja okretaja, što omogućava doziranje veće/manje količine sirovine.

Zona komprimiranja materijala – ovu zonu karakterizira kompresija materijala, pri čemu dolazi do pretvorbe mehaničke u toplinsku energiju, što dovodi do porasta temperature i plastificiranja materijala, koji je u početku bio praškast ili u vidu granula. Povećanjem temperature materijala u ovoj zoni dolazi do kuhanja, želatinizacije te sterilizacije samoga materijala.

Istisna zona – u ovoj zoni dolazi do prihvata stlačenoga materijala, homogenizacije te potiskivanja materijala kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Do homogenizacije dolazi djelovanjem sile smicanja i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz cilindar. Tlak svoj maksimum dostiže na kraju puža, a nakon izlaska materijala kroz sapnicu tlak pada na atmosferski. Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

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

2.7. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

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 utječe na kakvoću gotovog proizvoda (Faller i sur., 2000.). Tijekom ekstrudiranja, pod utjecajem topline i vode, razbijaju se dugi lanci škroba, tako da škrob postaje ljepljiviji i probavljiviji. Tijekom ekstrudiranja proteini se denaturiraju, 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.).

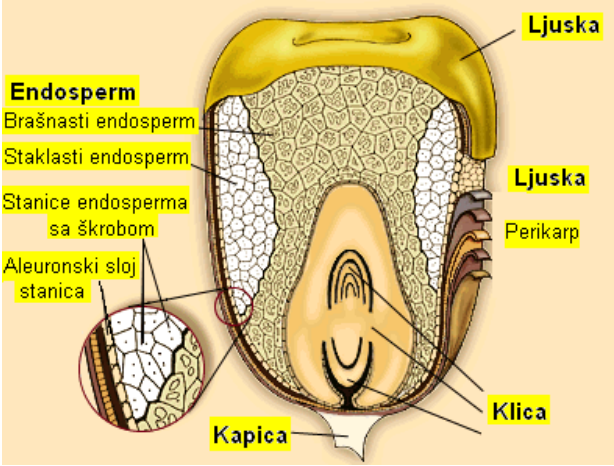
2.7.1. Kukuruz (*Zea mays*)

Kukuruz je jednogodišnja biljka. Podrijetlom je iz Centralne Amerike, a nakon otkrića američkog kontinenta prenesen je i proširen u Europu i druge kontinente. Kukuruz se uzgaja u cijelom svijetu, područje uzgoja vrlo mu je veliko, što mu omogućuje različita duljina vegetacije, raznolika mogućnost upotrebe i sposobnost kukuruza da uspijeva i na lošijim tlima i u lošijim klimatskim uvjetima (Gagro, 1997.).

Kolika je važnost kukuruza u svjetskim razmjerima vidi se po ukupnoj površini na kojoj se proizvodi. Svi dijelovi biljke kukuruza (osim korijena koji ostaje u tlu i obogaćuje tlo organskim tvarima) mogu se koristiti, dijelom u prehrani ljudi i industriji, a cijele stabljike s listom i klipom za silažu ili prehranu životinja u zelenom stanju. U prehrani ljudi zrno kukuruza koristi se za pripravljanje kruha, a kakvoća mu se popravlja dodatkom pšeničnog brašna, zatim za pripremu palente, kokica, jede se pečen i kuhan, kao poslastica a od kukuruza se proizvode i različite industrijske prerađevine za prehranu ljudi, u kemijskoj i farmaceutskoj industriji, za proizvodnju alkohola, ulja itd. Plod kukuruza je zrno.

Zrna kukuruza rastu na klipu, i sastoji se od četiri osnovna dijela:

- ljuska ploda (pericarp),
- sjemena ljuska (perisperm),
- endosperm,
- klica (Gagro, 1997.).



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Zrno kukuruza sadrži 70 – 75% ugljikohidrata, oko 10% bjelančevina, oko 5% ulja, oko 15% mineralnih tvari, oko 2,5% celuloze. Bjelančevine kukuruza biološki su manje vrijedne, jer im nedostaju potrebne esencijalne aminokiseline (Gagro, 1997.).

Kao i u ostalih žitarica, između sjemene ljuske i endosperma nalazi se tanak aleuronski sloj sastavljen iz jednog sloja stanica. Boja aleuronskog sloja može biti različita, sadrži dosta bjelančevina, vitamina i ulja te zrnca aleurona. Endosperm zauzima najveći dio zrna, a u sastavu njegovih stanica poglavito je škrob. U osnovi endosperma, na prednjoj strani donjeg dijela zrna, nalazi se klica. Endosperm čini oko 80% zrna, ljuska oko 7% i klica 7 – 10%. Budući da u klici ima puno ulja, moguće je selekcijom povećati postotni udio klice i postotak ulja u klici, time bi se više povećavao i sadržaj bjelančevina, a bjelančevine klice imaju veću biološki vrijednost od bjelančevina endosperma (Gagro, 1997.). Kukuruz obiluje prehrambenim vlaknima koja snižavaju povišene razine kolesterola, folnom kiselinom što čuva krvožilni sustav, vitaminom B1, važnim za dobar rad mozga te ugljikohidratima koji nam brzo daju raspoloživu energiju (Ugarčić-Hardi, 2001.).

Tablica 1 Dijelovi zrna kukuruza i kemijski sastav pojedinih dijelova (Ugarčić-Hardi, 2001.)

Maseni udio u suhoj tvari (%)					
Dio zrna	Proteini	Masti	Ugljikohidrati	Celuloza	Pepeo
Cijelo zrno (100%)	10,80	4,60	79,40	2,00	1,70
Endosperm (84%)	12,20	1,50	85,00	0,60	0,70
Klica (10%)	21,70	29,60	34,70	2,90	11,10
Omotač (6%)	6,6	1,6	74,6	16,4	1,3

2.7.2. Šećerna repa (*Beta vulgaris*)

Šećerna repa potječe od divljih vrsta repe. U davnim vremenima korijen i lišće repe korišteni su za prehranu ljudi i domaćih životinja. Potječe iz južne i srednje Azije, Sredozemlja i zapadnoeuropskih područja (Gagro, 1998.). Šećerna repa u prvoj godini vegetacije razvija zadebljali vretenast korijen s lisnom rozetom, a u osnovi listova, na glavi korijena nalaze se pupovi iz kojih se iduće godine razvija stabljika s listovima, cvjetovi i plodovi. Dobivanje šećera iz šećerne repe novijeg je datuma. Tek 1747. godine otkriveno je da korijen repe sadrži isti šećer kao i šećerna trska (saharozu). Danas se uglavnom šećerna repa koristi za proizvodnju šećera (40% šećera od ukupne svjetske proizvodnje dobiva se iz šećerne repe)(Gagro, 1998.).



Slika 6 Šećerna repa (*Beta vulgaris*) (Gagro, 1998.)

U preradi šećerne repe ostaju vrlo vrijedni sporedni proizvodi, glave i lišće, repini rezanci, melasa i saturacijski mulj. Glave i lišće vrlo su vrijedni jer sadrže bjelančevine, ugljikohidrate, mineralne tvari, vitamine i druge hranjive tvari pa su odlična hrana za stoku.

Repini rezanci također sadrže dosta vrijednih sastojaka. Mogu se koristiti svježi ili osušeni. Melasa sadrži oko 50% šećera i dosta drugih korisnih sastojaka, pa je to vrijedna sirovina za proizvodnju različitih prehrambenih i industrijskih proizvoda (Gagro, 1998.).

2.7.2.1. Izluženi repini rezanci

Najznačajniji nusproizvod pri preradi šećerne repe predstavljaju izluženi repini rezanci. Sadrže 20-25% celuloze, 25-36% hemiceluloze, 20-25% pektina, 10-15% proteina i 1-2% lignina računato na suhu tvar (Zheng i sur., 2013.). Zbog svog sastava izluženi repini rezanci predstavljaju dobar dodatak za prehranu životinja. Međutim, zbog visokih troškova dehidracije i niskog sadržaja proteina potrebno je istražiti i druge načine upotrebe, da bi se izbjegli veliki troškovi sušenja rezanaca (Rouilly i sur., 2006.). Sirova pulpa može se koristiti kao podloga za uzgoj, kao izvor poliola za proizvodnju uretana i poliuretana, za proizvodnju papira, kao izvor vlakana u sastavu biorazgradivih materijala (Rouilly i sur., 2006.). Pretvaranje repinih rezanaca u etanolno gorivo kroz biološke procese, uključujući hidrolizu i fermentaciju, također je jedan od načina korištenja rezanaca bez prethodnog sušenja (Zheng i sur., 2012.).

Zbog visokog sadržaja pektina, izluženi repini rezanci predstavljaju dobar izvor pektina za komercijalnu proizvodnju (Yapo i sur., 2007.). Pektin dobiven iz rezanaca ima lošija želirajuća svojstva u odnosu na pektin dobiven iz jabuke i limuna. Zbog visokog stupnja metilacije i niske molekularne mase, ne koristi se često u prehrambenoj industriji (Mata i sur., 2009.).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s izluženim repinim rezancima (omjeri krupica : brašno = 95:5, 90:10, i 85:15). Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u Ekstruderu Do-Coder, Brabender, GmbH, Duisburg, Njemačka pri temperaturnom profilu **135/170/170** °C.

Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva te sadržaj vlakana u odnosu na neekstrudirane uzorke.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

- Kukuruzna krupica iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek (proizvedena 2014. godine),
- Osušeni izluženi repini rezanci iz Tvornice šećera Osijek d.o.o. (proizvedeni 2013. godine).

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s izluženim repinim rezancima

Pripremljenim smjesama kukuruznih krupica s izluženim repinim rezancima (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.

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

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.

Uređaj nam daje vrijednosti za sljedeće parametre:

- L* (Luminosity) – 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° (web 2).



Slika 8 Kromametar Konica Minolta CR-300 (Gelemanović, 2013)

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

WAI i WSI su određeni 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 30 min stajati uz povremeno miješanje (svakih 5 min).

Nakon toga se uzorci centrifugiraju na 3000 rpm 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.

WAI je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici mase suhe tvari početnog uzorka.

WAI [gg^{-1}] = masa gela [g] / masa suhe tvari u početnom uzorku [g] **(3)**

WSI [%] = (masa suhe tvari u supernatantu [g] / masa suhe tvari u početnom uzorku [g]) x 100 **(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 sa 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 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 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].

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 11**). Najprije se u odmašćeni tuljak za ekstrakciju odvaže 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 **(5)**:

$$w_M = \frac{m_M}{m_0} \times 100 \ [\%] \qquad \textbf{(5)}$$

gdje je: w_M – količina masti [%],

m_M – masa ekstrahirane masti [g],

m_0 – masa uzorka [g].



Slika 10 Aparatura za ekstrakciju masti po Soxhletu

3.2.2.9. Određivanje količine pepela (ISO 5984)

Metoda se zasniva na spaljivanju ispitivanog uzorka u mufolnoj peći na temperaturi 550 °C ± 20 °C dok ne sagori sva organska tvar i vaganju ostatka. Prije vaganja lončiće treba žariti na temperaturi 550 °C 30 minuta, ohladiti u eksikatoru na sobnoj temperaturi i vagati na analitičkoj vagi. U lončiće 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 12**). Zatim se lončići s uzorkom prebace u prethodno zagrijanu mufolnu peć na 550 °C i žare u trajanju oko 180 minuta (**Slika 13**). Lončići se potom izvade i hlade na termorezistentnoj ploči 1 minutu, a potom prebace u eksikator. Ohlađeni lončići se važu na analitičkoj vagi.



Slika 11 Predspaljivanje na grijaćoj ploči



Slika 12 Žarenje u mufolnoj peći

Količina pepela računa se prema jednakosti **(6)**:

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

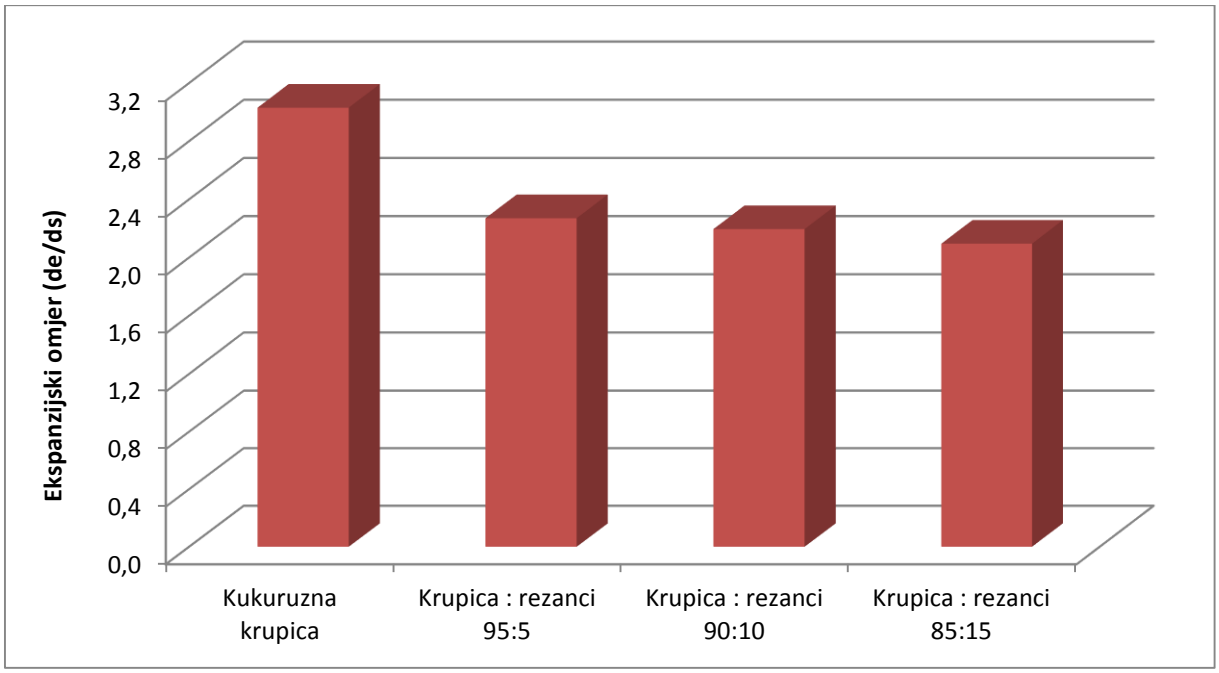
gdje je: w – količina pepela u suhoj tvari [%],

m_0 - masa praznog lončića [g],

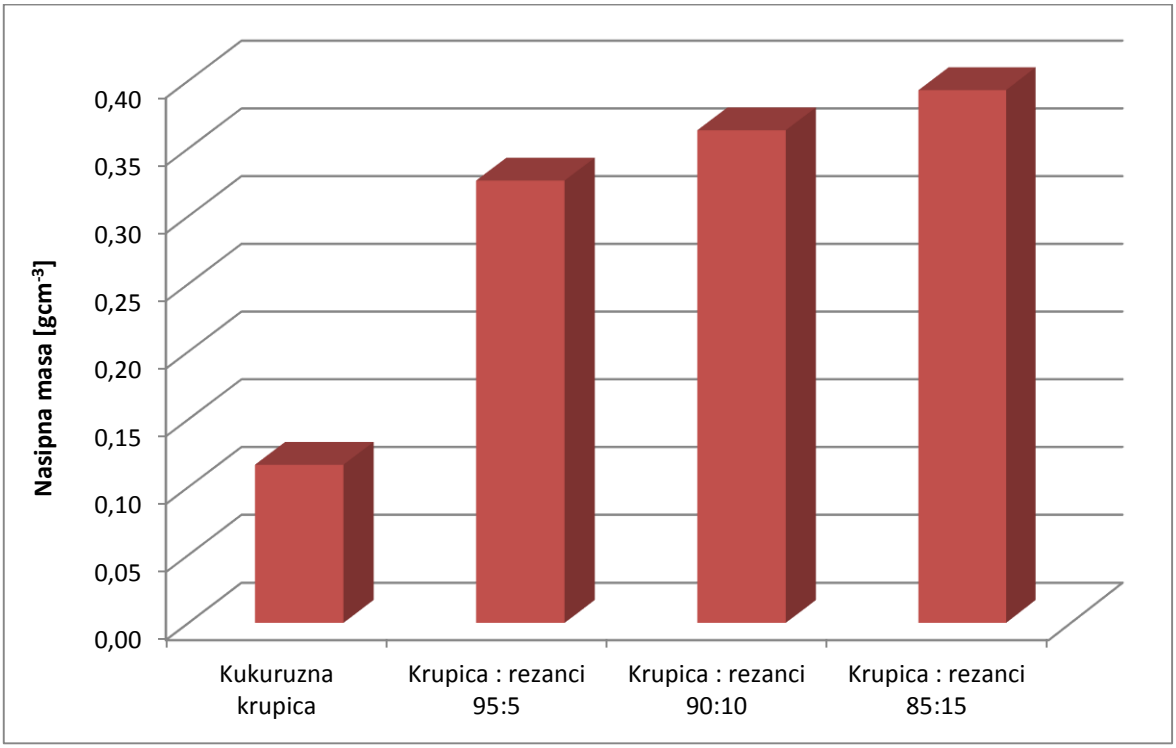
m_1 - masa lončića sa uzorkom [g],

m_2 - masa lončića i pepela [g].

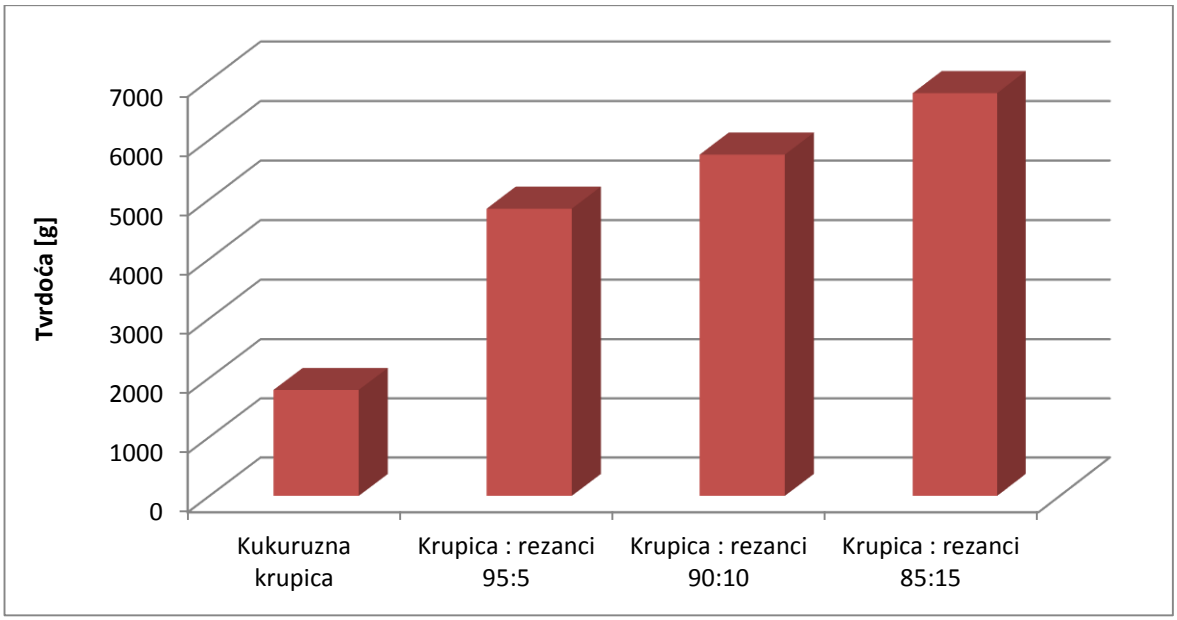
4. REZULTATI



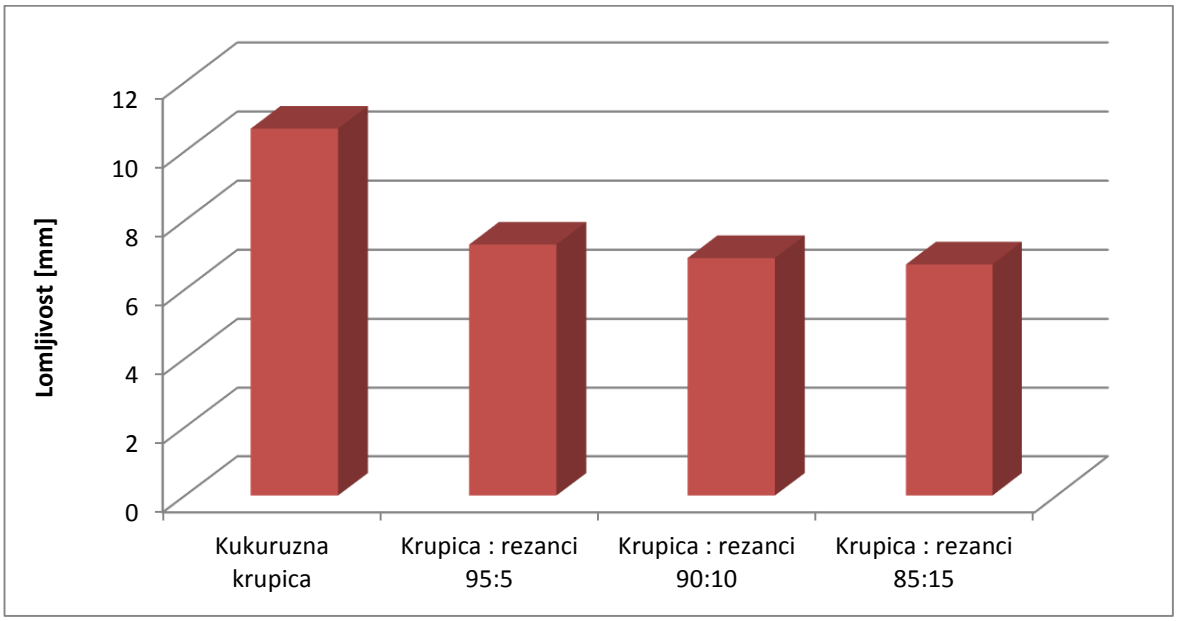
Slika 13 Promjena ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudiranih kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca



Slika 14 Promjena nasipne mase ekstrudiranih kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca



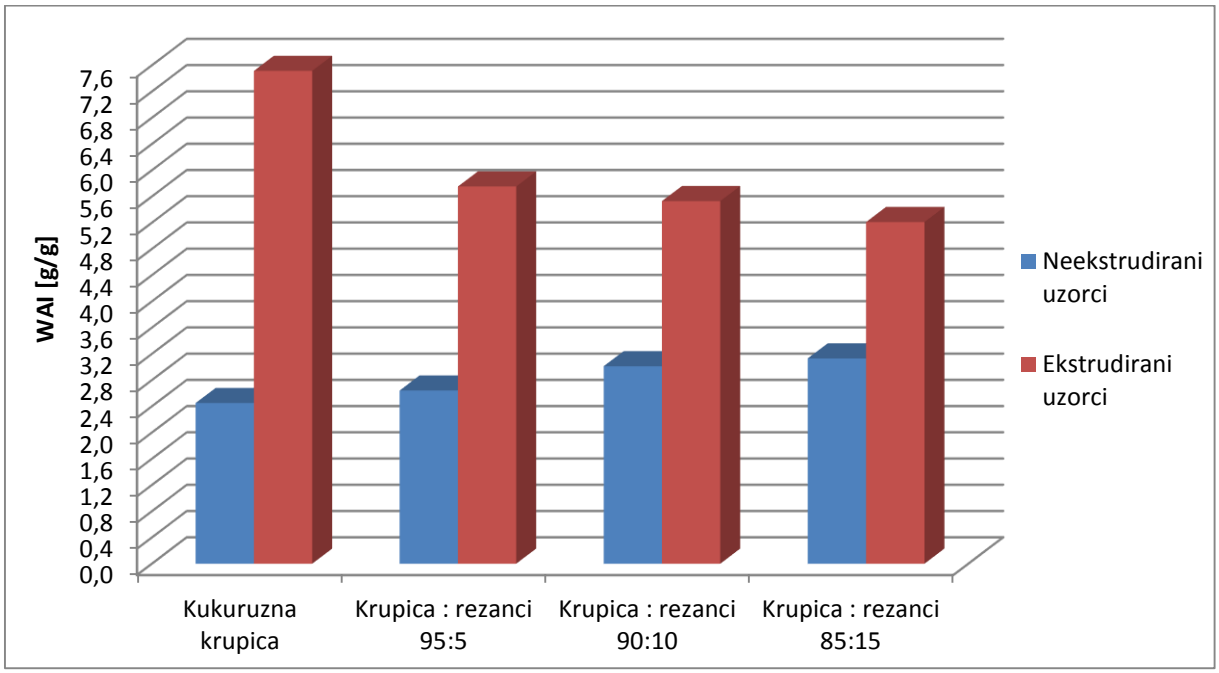
Slika 15 Promjena tvrdoće ekstrudiranih kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca



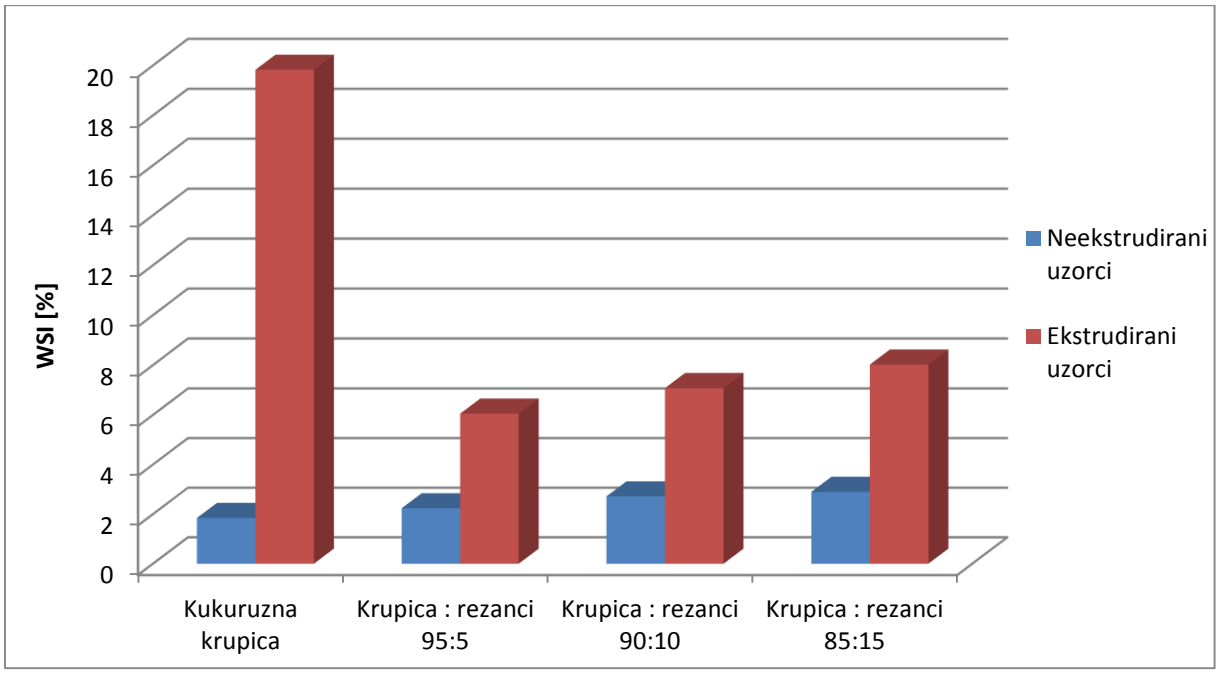
Slika 16 Promjena lomljivosti ekstrudiranih kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca

Tablica 2 Utjecaj procesa ekstruzije na boju kukuruzne krupice s različitim udjelom repinih rezanaca, 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 ^{d}	49,26 ± 0,06 ^{d}	49,27 ± 0,06 ^{d}	88,25 ± 0,03 ^{a}	
Krupica : rezanci 95:5	73,48 ± 0,04 ^{c}	-0,40 ± 0,01 ^{c}	41,49 ± 0,03 ^{c}	41,52 ± 0,05 ^{c}	90,55 ± 0,02 ^{b}	9,33
Krupica : rezanci 90:10	71,52 ± 0,03 ^{b}	-0,60 ± 0,02 ^{b}	34,10 ± 0,04 ^{b}	34,11 ± 0,04 ^{b}	91,52 ± 0,04 ^{c}	16,73
Krupica : rezanci 85:15	68,00 ± 0,03 ^{a}	-0,90 ± 0,02 ^{a}	31,74 ± 0,03 ^{a}	31,76 ± 0,03 ^{a}	91,62 ± 0,03 ^{d}	20,46
Uzorak	**Ekstrudirani uzorci**					
	L*	**a***	**b***	**C**	**h°**	**ΔE**
Kukuruzna krupica	81,14 ± 0,02 ^{d}	-2,95 ± 0,03 ^{b}	46,12 ± 0,02 ^{d}	46,22 ± 0,03 ^{d}	93,65 ± 0,03 ^{a}	6,12
Krupica : rezanci 95:5	77,33 ± 0,04 ^{c}	-3,63 ± 0,05 ^{a}	38,50 ± 0,05 ^{c}	38,67 ± 0,05 ^{c}	95,39 ± 0,06 ^{c}	11,94
Krupica : rezanci 90:10	74,03 ± 0,04 ^{b}	-2,65 ± 0,02 ^{d}	34,02 ± 0,03 ^{b}	34,21 ± 0,03 ^{b}	94,46 ± 0,04 ^{b}	16,35
Krupica : rezanci 85:15	72,53 ± 0,02 ^{a}	-2,87 ± 0,01 ^{c}	30,49 ± 0,02 ^{a}	30,62 ± 0,02 ^{a}	95,37 ± 0,02 ^{c}	20,11



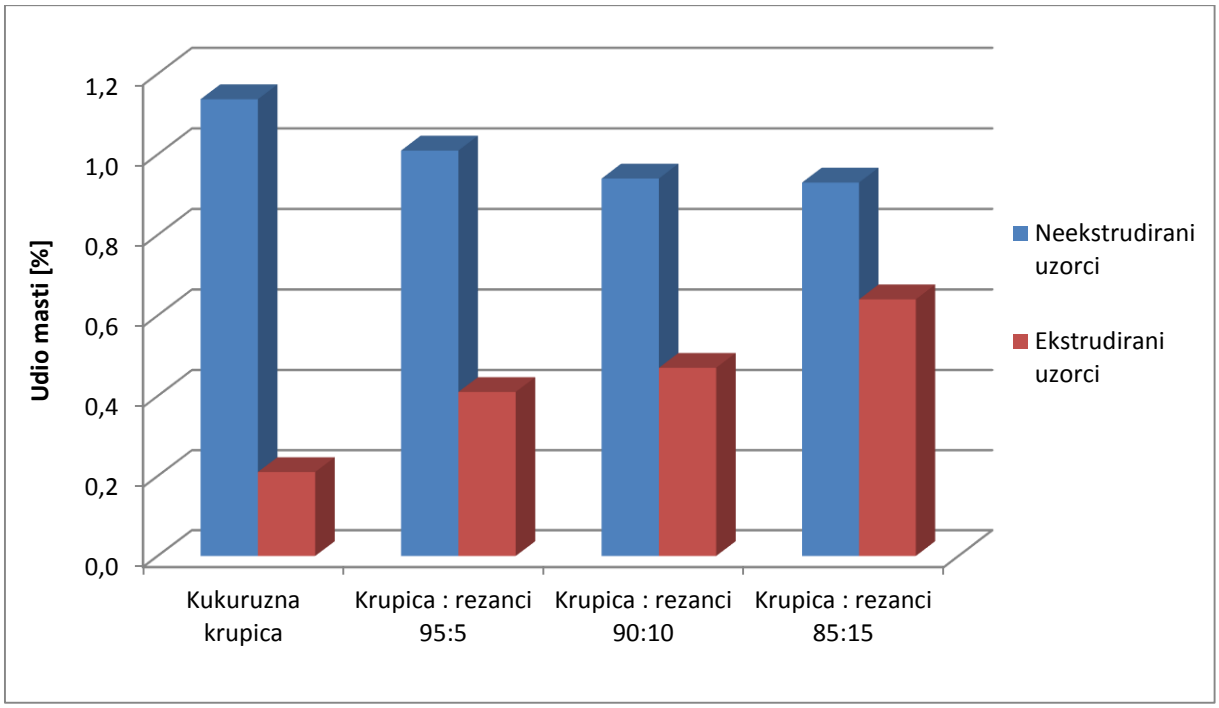
Slika 17 Utjecaj ekstruzije na indeks apsorpcije vode kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca



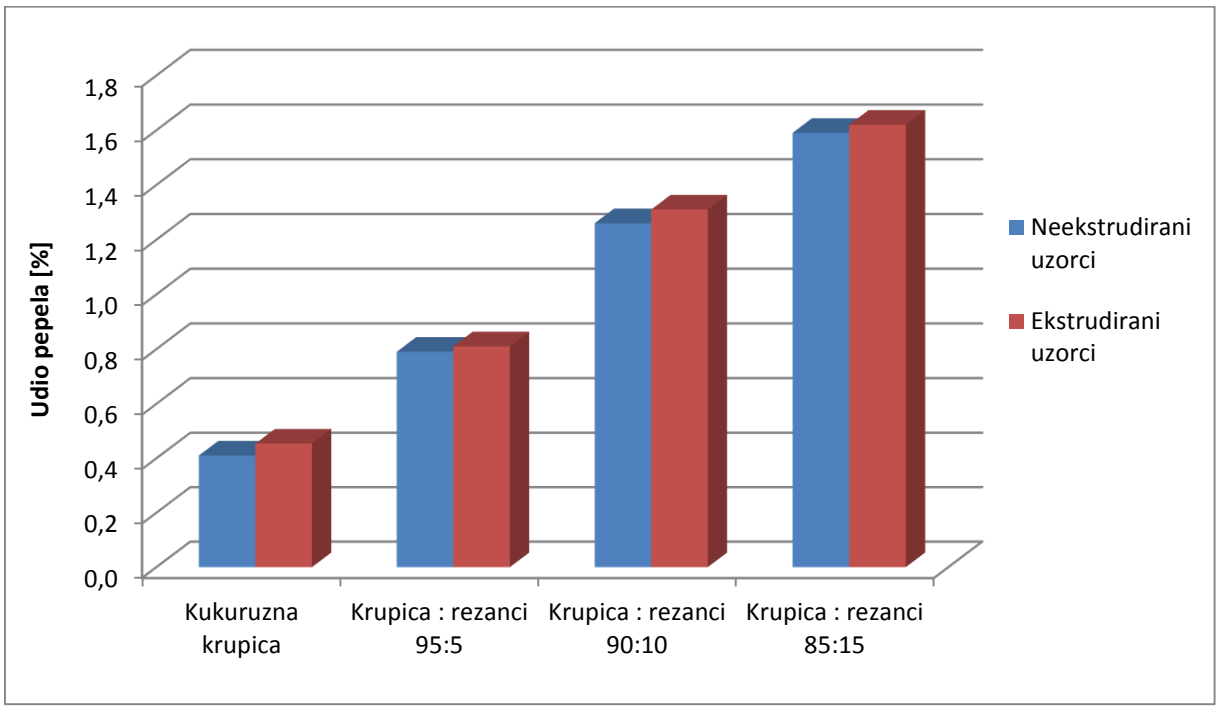
Slika 18 Utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca

Tablica 3 Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca

	Kukuruzna krupica	Krupica : rezanci 95:5	Krupica : rezanci 90:10	Krupica : rezanci 85:15
		Neekstrudirani uzorci		
viskoznost vrha [BU]	566 ± 14,0 ^{b}	552 ± 6,0 ^{b}	548 ± 6,0 ^{b}	497,5 ± 5,5 ^{a}
viskoznost pri 92 °C [BU]	69 ± 3,0 ^{a}	68 ± 4,0 ^{a}	64,5 ± 0,5 ^{a}	63 ± 4,0 ^{a}
nakon miješanja na 92 °C [BU]	568,5 ± 12,5 ^{b}	552,5 ± 0,5 ^{b}	546,5 ± 2,5 ^{b}	482 ± 0,0 ^{a}
viskoznost pri 50 °C [BU]	1043,5 ± 15,5 ^{b}	953,5 ± 10,5 ^{a}	948 ± 1,0 ^{a}	929,5 ± 11,5 ^{a}
nakon miješanja na 50 °C [BU]	1027 ± 9,0 ^{c}	950 ± 10,0 ^{b}	943,5 ± 1,5 ^{b}	872,5 ± 21,5 ^{a}
kidanje [BU]	6 ± 0,0 ^{a}	0,5 ± 0,5 ^{a}	2,5 ± 2,5 ^{a}	1,5 ± 1,5 ^{a}
„setback“ [BU]	449 ± 4,0 ^{b}	380,5 ± 4,5 ^{a}	390,5 ± 9,5 ^{a}	434 ± 1,0 ^{b}
		Ekstrudirani uzorci		
viskoznost vrha [BU]	92 ± 5,0 ^{a}	372 ± 11,0 ^{b}	391,5 ± 0,5 $^{b, c}$	414,5 ± 6,5 ^{c}
viskoznost pri 92 °C [BU]	16,5 ± 7,5 ^{a}	285,5 ± 16,5 ^{b}	297,5 ± 0,5 ^{b}	301 ± 41,0 ^{b}
nakon miješanja na 92 °C [BU]	5 ± 5,0 ^{a}	341,5 ± 17,5 ^{b}	380,5 ± 2,5 ^{c}	389 ± 4,0 ^{c}
viskoznost pri 50 °C [BU]	114,5 ± 7,5 ^{a}	610 ± 2,0 ^{b}	642 ± 4,0 ^{c}	678 ± 2,0 ^{d}
nakon miješanja na 50 °C [BU]	123 ± 8,0 ^{a}	638 ± 3,0 ^{b}	663 ± 2,0 ^{c}	682,5 ± 4,5 ^{d}
kidanje [BU]	92 ± 5,0 ^{b}	36 ± 7,0 ^{a}	24 ± 1,0 ^{a}	20,5 ± 4,5 ^{a}
„setback“ [BU]	105,5 ± 2,5 ^{a}	252 ± 1,0 ^{b}	269 ± 5,0 ^{c}	275 ± 3,0 ^{c}



Slika 19 Utjecaj procesa ekstruzije na udio masti u kukuruznim krupicama s različitim udjelom repinih rezanaca



Slika 20 Utjecaj procesa ekstruzije na udio pepela kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca

5. RASPRAVA

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

Na **Slici 14** prikazan je utjecaj dodatka izluženih repinih rezanaca na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da uzorci s dodatkom repinih rezanaca imaju manji ekspanzijski omjer u odnosu na samu kukuruznu krupicu. Ekspanzijski omjer ekstrudata smanjuje se s povećanjem udjela izluženih repinih rezanaca u uzorku. Ovi rezultati u skladu su sa rezultatima rada o utjecaju dodatka proteina sirutke na kvalitetu kukuruznih ekstrudata (Brnčić i sur., 2008.), u kojemu su zaključili da dodatak proteina očvršćava stjenku proizvoda i smanjuje stupanj ekspanzije. U istraživanju o utjecaju dodatka brašna graška na stupanj ekspanzije (Anton i sur., 2009.) utvrđeno je da dodatkom brašna graška značajno opada stupanj ekspanzije, a kao razlog tome autori su naveli djelovanje vlakana na razaranje stanica i nemogućnost ekspanzije mjehurića zraka. Smanjenje ekspanzije rižinih i kukuruznih ekstrudata s dodatkom brašna leguminoza u svom su radu utvrdili Pastor-Cavada i sur. (2011.), što još jednom potvrđuje rezultate ovog istraživanja.

Na **Slici 15** prikazan je utjecaj dodatka izluženih repinih rezanaca na nasipnu masu ekstrudiranih smjesa. Iz dobivenih rezultata vidi se da je nasipna masa ekstrudiranih smjesa veća nego kod ekstrudirane kukuruzne krupice bez dodatka izluženih repinih rezanaca. 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.). Smanjenje ekspanzije i povećanje nasipne mase dodatkom pivskog tropa u svom su radu utvrdili i Stojceska i sur. (2008.). Ove rezultate potvrdili su i Brnčić i sur. (2009.) u svojem radu gdje su ispitivali svojstva teksture na ekspandiranim kukuruznim proizvodima sa i bez dodatka pšenice, gdje su zaključili da povećanjem ekspanzijskog omjera dolazi do smanjenja nasipne mase.

Pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, određena je tekstura ekstrudata pri čemu su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost. Na **Slici 16** možemo vidjeti rezultate za tvrdoću ekstrudiranih smjesa. Rezultati pokazuju da se dodatkom repinih rezanaca u kukuruznu krupicu tvrdoća ekstrudata povećava. Na **Slici 17** možemo vidjeti da se lomljivost ekstrudata s dodatkom repinih rezanaca smanjuje.

Najveći utjecaj na teksturu ekstrudata ima vlažnost smjesa, a to su u svojim radovima zaključili Brnčić i sur. (2006.) te Petrova i sur. (2010.). Osim vlažnosti, na teksturu ekstrudata utječu temperatura, karakteristike puža, brzina puža te brojne druge karakteristike ekstrudera (Lazou i Krokida, 2010.; Mendonca i sur., 1999.; Saeleaw i sur., 2012., Wu i sur., 2007.). Brnčić i sur. (2009.) u svojem radu su ispitivali svojstva teksture na ekspandiranim kukuruznim proizvodima sa i bez dodatka pšenice te su utvrdili da dodatkom pšenice dolazi do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti zbog promjena u teksturi, ali je obogaćivanje vrlo bitno zbog smanjenog udjela proteina u početnoj sirovini. Ove rezultate potvrđuju Jozinović i sur. (2012a.), koji su u svom radu zaključili da je dodatkom kestenovog i heljdinog brašna u kukuruznu krupicu došlo do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti kukuruznih ekstrudata.

Rezultati mjerenja utjecaja procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruz : izluženi repini rezanci, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima prikazani su u **Tablici 2**. Usporedbom ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka same kukuruzne krupice možemo vidjeti da je došlo do rasta vrijednosti parametra L* (sa 78,30 ± 0,02 na 81,14 ± 0,02), odnosno posvjetljenja ekstrudiranog uzoraka kukuruzne krupice. Usporedbom uzorka kukuruzne krupice s uzorcima smjese krupica : rezanci vrijednost parametra L* se smanjuje što znači da uzorci s dodatkom repinih rezanaca postaju tamniji. Što je udio repinih rezanaca veći to je i boja ekstrudiranih uzoraka tamnija (krupica : rezanci 95:5 → 77,33 ± 0,04 dok je krupica : rezanci 85 : 15 → 72,53 ± 0,02). Vrijednost parametra a* kod neekstrudirane kukuruzne krupice je pozitivna (1,47 ± 0,03), što znači da ulazi u domenu crvene boje, dok je kod ekstrudirane kukuruzne krupice (-2,95 ± 0,03), te kod uzoraka s dodatkom repinih rezanaca vrijednost parametra a* negativna, što ukazuje da ulaze u domenu zelene boje.

Parametar b* je kod svih uzoraka pozitivan što pokazuje da uzorci ulaze u domenu žute boje. Parametar je najveći kod neekstrudirane kukuruzne krupice (49,26 ± 0,06), a opada sa dodatkom repinih rezanaca kod neekstrudiranih (41,49 ± 0,03) kao i kod ekstrudiranih uzoraka (sa 46,12 ± 0,02 na 38,50 ± 0,05). Vrijednost parametra C je također kao i parametar b* najveći kod neekstrudirane kukuruzne krupice (49,27 ± 0,06), a opada s dodatkom repininih rezanaca (41,52 ± 0,05). 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. Utjecaj parametara ekstruzije i primjene različitih sirovina na boju ekstrudiranih proizvoda predmet je brojnih istraživanja, gdje se kao glavni

uzrok promjene boje navodi nastanak produkata Maillardovih reakcija (Ilo i sur., 1999.; Ilo i Berghofer, 1999.; Sacchetti i sur., 2004.; Wang i Ryu, 2013.). Badrie i sur. (1991.) uočili su da viši sadržaj vlage početnog materijala utječe na svjetlinu ekstrudata, a povišenje temperature na intenzitet boje.

Slika 18 prikazuje indeks apsorpcije vode za neekstrudirane i ekstrudirane uzorke. Iz rezultata možemo vidjeti da je indeks apsorpcije vode značajno povećan kod svih ekstrudiranih uzoraka. Dodatak izluženih repinih rezanaca kod neekstrudiranih uzoraka povećava indeks apsorpcije vode, dok se kod ekstrudiranih uzoraka indeks apsorpcije vode smanjuje s dodatkom izluženih repinih rezanaca. 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.). Povećanje indeksa apsorpcije vode nakon provedenog postupka ekstruzije potvrdila su brojna istraživanja (Larrea i sur., 2005.; Jozinović i sur. 2012a.; 2012b.), što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom radu.

Slika 19 prikazuje vrijednost indeksa topljivosti u vodi za neekstrudirane i ekstrudirane uzorke. Iz ovih rezultata vidljivo je da se indeks topljivosti u vodi značajno povećao kod svih ekstrudiranih uzoraka kao što je slučaj i kod indeksa apsorpcije vode. Kod neekstrudiranih uzoraka indeks topljivosti u vodi raste s porastom udjela izluženih repinih rezanaca, dok kod ekstrudiranih uzoraka najveći indeks topljivosti ima sama kukuruzna krupica. Ekstrudirani uzorci s dodatkom izluženih repinih rezanaca imaju manji indeks topljivosti u vodi u odnosu na samu kukuruznu krupicu, ali se taj indeks također povećava s povećanjem udjela izluženih repinih rezanaca u smjesi krupica : rezanci. Povećanje indeksa topljivosti u vodi ekstrudiranih proizvoda rezultat je narušenosti strukture škroba i prisutnosti većeg sadržaja molekula manje molekulske mase (Collona i sur., 1989.). Yagci i Gogus (2008.) u svom su radu utvrdili povećanje indeksa topljivosti u vodi dodatkom djelomično odmašćenog lješnjakovog brašna u rižinu krupicu.

Tablica 3 prikazuje utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost kukuruznih krupica s različitim udjelom repinih rezanaca. Na osnovi dobivenih rezultata može se vidjeti da je ekstruzijom i kod kukuruzne krupice bez dodatka izluženih repinih rezanaca, kao i kod smjese kukuruzne krupice i rezanaca došlo do snižavanja vrijednosti viskoznosti vrha (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba). Dodatak izluženih repinih rezanaca u

kukuruznu krupicu i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih smjesa doveo je do snižavanja viskoznosti vrha.

Zagrijavanjem uzoraka do 92 °C i zadržavanjem na toj temperaturi u trajanju od 5 min došlo je do pada viskoznosti kod svih uzoraka. Vrijednosti kidanja (kidanje = viskoznost vrha - viskoznost pri 92 °C / 5 min) pokazuju stabilnost uzoraka tijekom miješanja na visokim temperaturama. Najbolju stabilnost je pokazala neekstrudirana smjesa kukuruzne krupice s udjelom repinih rezanaca 5%, koja ima i najniže vrijednosti kidanja (0,5 ± 0,5 BU). Nakon hlađenja na temperaturu 50 °C došlo je do značajnog povećanja viskoznosti kod svih uzoraka, kao rezultat retrogradacije škroba. Sklonost retrogradaciji može se očitati iz vrijednosti podataka za setback („setback“ = viskoznost pri 50 °C – viskoznost pri 92 °C / 5 min). Dobiveni rezultati pokazuju da su neekstrudirani uzorci znatno skloniji retrogradaciji, u odnosu na ekstrudirane uzorke, pa je tako najvišu vrijednost za setback pokazala neekstrudirana kukuruzna krupica (449 ± 4,0 BU), a najmanju ekstrudirana kukuruzna krupica (105,5 ± 2,5 BU).

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. (2010.) 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.

Udio masti u neekstrudiranim i ekstrudiranim uzorcima prikazani su na **Slici 20.** Iz rezultata možemo vidjeti da je udio masti puno veći kod neekstrudiranih uzoraka nego kod ekstrudiranih. Udio masti u neekstrudiranim uzorcima opada s dodatkom repinih rezanaca, a povećanjem udjela repinih rezanaca udio masti se dodatno smanjuje. Kod ekstrudiranih uzoraka se naprotiv s povećanjem udjela repinih rezanaca povećava i udio masti u uzorku. Najmanji udio masti ima uzorak ekstrudirane kukuruzne krupice. U pravilu udio masti se smanjuje nakon procesa ekstruzije. Dio lipida može se izgubiti na sapnici u obliku slobodnog ulja, ali samo kod visoko-masnih sirovina, kao što je to cjelovita soja. Camire (2000.) je za manji

udio lipida nakon ekstruzije dao drugo objašnjenje - stvaranje kompleksa s amilozom i proteinima. 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 udjelu vlage. U svom radu Jozinović (2011.) također dolazi do zaključka da se udio masti smanjio nakon procesa ekstruzije, što je u skladu i s navedenim rezultatima.

Na **Slici 21** prikazan je udio pepela u neekstrudiranim i ekstrudiranim uzorcima. Ekstrudirani repini rezanci imaju malo veći udio pepela u odnosu na neekstrudirane uzorke ali to povećanje nije značajno. Udio pepela se povećava s povećanjem udjela izluženih repinih rezanaca i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka s dodatkom repinih rezanaca. Iz ovih rezultata možemo zaključiti da ekstruzija nema značajniji utjecaj na udio pepela. Ovi rezultati u skladu su s literaturnim podacima u Camire (2000.) te rezultatima radova Jozinović (2011.) i Vračević (2012.).

6. ZAKLJUČCI

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

1. Dodatkom izluženih repinih rezanaca u kukuruznu krupicu došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudata i to proporcionalno udjelu repinih rezanaca.
2. Nasipna masa ekstrudata povećala se dodatkom izluženih repinih rezanaca, što je u skladu s rezultatima za ekspanzijski omjer – ekstrudati s manjom ekspanzijom imali su višu nasipnu masu.
3. Dodatkom izluženih repinih rezanaca značajno se povećala tvrdoća ekstrudata, a lomljivost ekstrudata se smanjila.
4. Procesom ekstruzije same kukuruzne krupice došlo je do posvjetljenja njezine boje. Nadalje, dodatkom izluženih repinih rezanaca u kukuruznu krupicu došlo je do potamnjivanja ekstrudata, to više što je veći udio repinih rezanaca 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. Dodatkom izluženih repinih rezanaca došlo je do povećanja indeksa apsorpcije vode kod neekstrudiranih uzoraka, dok je kod ekstrudiranih uzoraka indeks apsorpcije vode bio manji kod uzoraka s repinim rezancima. Indeks topljivosti u vodi kod neekstrudiranih uzoraka povećao se s dodatkom izluženih repinih rezanaca. Kod ekstrudiranih uzoraka indeks topljivosti se povećavao s povećanjem udjela izluženih repinih rezanaca, ali ipak značajno manji u odnosu na samu ekstrudiranu kukuruznu krupicu.
6. Postupkom ekstruzije i dodatkom izluženih repinih rezanaca došlo je do smanjenja viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C te viskoznosti pri 50 °C kod svih uzoraka te su ekstrudirani uzorci bili manje skloni retrogradaciji.
7. Postupak ekstruzije doveo je do smanjenja udjela masti u svim uzorcima. Kod neekstrudiranih uzoraka udio masti opada s dodatkom izluženih repinih rezanaca, dok je kod ekstrudiranih uzoraka udio masti bio veći kod ekstrudata s većim udjelom izluženih repinih rezanaca.
8. Ekstruzija nije imala značajnog utjecaja na udio pepela, ali je njegov sadržaj lagano porastao s dodatkom izluženih repinih rezanaca.

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.

Anton A, Gary Fulcher R, Arntfield S: Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris L*.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113:989-996, 2009.

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.

Babić J, Šubarić D, Ačkar Đ, Jozinović A, Milićević B, Pajin B, Aličić D: Primjena dodataka na bazi škroba u mesnoj industriji. *Meso*, 15:209-228, 2013.

Badrie N, Mellowes WA: Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *Journal of Food Science*, 56:1334-1337, 1991.

Brnčić M, Tripalo B, Ježek D, Semenski D, Drvar N, Ukrainczyk M: Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates. Sadhana, 31(5):527-536, 2006.

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.

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.

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

Collona P, Tayeb J, Mercier C: Extrusion coking of starch and starchy products. In *Extrusion cooking*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1989.

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.

Gargo M: Ratarstvo obiteljskog gospodarstva – Žitarice i zrnate mahunarke. *Hrvatsko agronomsko društvo*, Zagreb, 1997.

Gargo M: Ratarstvo obiteljskog gospodarstva – Industrijsko i krmno bilje. *Hrvatsko agronomsko društvo*, Zagreb, 1998.

Gelemanović M: Svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom raži. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.

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

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, Berghof E: Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie,* 32:79-88, 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, 2012a.

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

Larrea MA, Changb YK, Martinez-Bustos F: Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 38:213-220, 2005.

Lazou A, Krokida M: Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering,* 100:392-408, 2010a.

Lazou A, Krokida M: Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43:609-616, 2010b.

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.

Pastor-Cavada E, Drago SR, González RJ, Juan R, Pastor JE, Alaiz M, Vioque J: Effects of the addition of wild legumes (Lathyrus annuus and Lathyrus clymenum) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry*, 128:961-967, 2011.

Petrova T, Ruskova M, Tzonev P, Zsivanovits G, Penov N: Effect of Extrusion Variables on the Hardness of Lentil Semolina Extrudates. In *7th International Conference of the Balkan Physical Union*, 1203:1031-1036. AIP Conference Proceedings, 2010.

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.

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.

Saeleaw M, Dürrschmid K, Schleining G: The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110:532-540, 2012.

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.

Ugarčić–Hardi Ž: Poznavanje sirovina u prehrambenoj industriji. Biljni dio: Žitarice, mahunarke, uljarice (interna skripta). Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayer-a u Osijeku, 2001.

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*, 1-7, 2013.

Wu W, Huff HE, Hsieh F: Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. *Journal of Food Processing and Preservation*, 31:211–226, 2007.

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, 2010.

Yagci S, Gogus F: Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86: 122–132, 2008.

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.