Svojstva ekstrudiranih snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom posija

Roth, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:266567

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

Ana Roth

SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE S DODATKOM POSIJA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, svibanj, 2014.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za prehrambene tehnologije
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na IX. sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 20. lipnja 2013.
Mentor: izv. prof. dr. sc. *Jurislav Babić*
Pomoć pri izradi:

SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE S DODATKOM POSIJA

Ana Roth, 130/DI

Sažetak: Ekstruzija, definirana kao HTST postupak, jedan je od važnih procesa u proizvodnji hrane, koji se koristi za proizvodnju i modifikaciju, ili poboljšanje kvalitete različitih proizvoda.
Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi utjecaj dodatka pšeničnih posija u kukuruznu krupicu (omjer krupica:posije=80:20) na svojstva ekstrudata. Pšenične posije su jako dostupan nusproizvod niske cijene, a sadrže veliku količinu prehrambenih vlakana. Pripremljeni uzorci sa 15% vlage ekstrudirani su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu pri temperaturnom profilu 135/170/170 °C, uz upotrebu puža konfiguracije 4:1 i sapnice promjera 4 mm. Dobiveni ekstrudati osušeni su na zraku te su im određeni ekspanzijski omjer, nasipna masa, tekstura, viskoznost i sadržaj vlakana.
Dobiveni rezultati su pokazali da se dodatkom pšeničnih posija u kukuruznu krupicu smanjio ekspanzijski omjer (EO) i lomljivost ekstrudata, dok se nasipna masa i tvrdoća ekstrudata povećala. Proces ekstruzije je uzrokovao povećanje indeksa aposrpcije vode i indeksa topljivosti u vodi te smanjenje viskoznosti vrha, viskoznosti na 92 °C i viskoznosti na 50 °C. Dodatkom pšeničnih posija u kukuruznu krupicu povećao se sadržaj prehrambenih vlakana, a ekstruzija nije imala značajan utjecaj na sadržaj vlakana. Dobiveni ekstrudati bi se mogli koristiti kao finalni proizvod (*snack*) ili kao modificirano brašno u pekarskoj industriji

Ključne riječi: *kukuruzna krupica, pšenične posije, ekstruzija*

Rad sadrži: 40 stranica
18 slika
5 tablica
0 priloga
46 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

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

Datum obrane: 15. svibnja 2014.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of 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 Council of the Faculty of Food Technology at its session no. IX. held on June 20th, 2013.
Mentor: *Jurislav Babić*, PhD, associate prof.
Technical assistance:

PROPERTIES OF CORN GRITS EXTRUDATES WITH ADDITION OF WHEAT BRAN

Ana Roth, 130/DI

Summary: Extrusion, classified as a high temperature/short time process (HTST), is an important food processing technique used worldwide for the production and modification or improvement of quality of various products. The aim of this study was to determine the effect of wheat bran addition to corn grits (ratio grits:bran = 80:20) on properties of extrudates. Wheat bran are readily available and low cost by-product, and contain a large amount of dietary fibers. 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. Obtained extrudates were air-dried, and expansion ratio, bulk density, texture, viscosity and fibre content were determined.
The obtained results showed that addition of wheat bran to corn grits resulted in decrease of expansion ratio (ER) and fracturability, whereas bulk density (BD) and hardness of extrudates increased. Extrusion process resulted in increase of water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI), but in decrease of peak, hot and cold viscosity. Addition of wheat bran to corn grits resulted in increase of fibre content, and extrusion cooking didn't significantly influence fibre content. The obtained extrudates can be used as final products or as modified flours in bakery industry.

Key words: *corn grits, wheat bran, extrusion cooking*

Thesis contains: 40 pages
18 figures
5 tables
0 supplements
46 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 15th, 2014.

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

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Jurislavu Babiću,
prof. dr. sc. Dragi Šubariću, doc. dr. sc. Đurđici Ačkar,
te mag. ing. tech. aliment. Antunu Jozinoviću koji je bio najveća pomoć
u izradi i pisanju ovog diplomskog rada.
Zahvaljujem se majci i ocu koji su mi financijski omogućili školovanje, mojoj
Luciji i Mariji, koje su mi bile najveća podrška tijekom ovih naših zajedničkih
godina studiranja, mom bratiću Tomislavu i svim prijateljima iz Duhosa za svaku molitvu.
A najviše od svega zahvaljujem dragom Bogu, Gospodinu našemu koji me blagoslovio
svim ovim divnim ljudima i bio kraj mene u svakom trenutku mog života i školovanja.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. TEORIJSKI DIO 3
2.1. Ekstruzija 4
2.1.1. Povijest ekstruzije 4
2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji 5
2.2. Podjela ekstrudera 7
2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada 7
2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 7
2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 9
2.3. Princip rada ekstrudera 10
2.4. Sirovine za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda 12
2.4.1. Kukuruz (*Zea mays)* 12
2.4.2. Pšenica *(Triticum spp.)* 13
3. EKSPERIMENTALNI DIO 16
3.1. Zadatak 17
3.2. Materijal i metode 17
3.2.1. Materijali 17
3.2.2. Metode 17
3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s pšeničnim posijama 17
3.2.2.2. Određivanje dijametra ekstrudata (d_e) i ekspanzijskog omjera (EO) 18
3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata 18
3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata 18
3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom 19
3.2.2.6. Određivanje stupnja oštećenosti škroba (AACC 76-31.01) 19
3.2.2.7. Određivanje indeksa apsorpcije i indeksa topljivosti u vodi (WAI I WSI) 20
4. REZULTATI 23
5. RASPRAVA 30
6. ZAKLJUČCI 35
7. LITERATURA 37

1. UVOD

Ekstruzija je značajan proces kako u biotehnološkoj proizvodnji tako i u prehrambenoj industriji zbog svog kratkog vremena i lakoće proizvodnje te zbog uštede u energiji.

Ekstruzijsko kuhanje je proces u kojem se neka sirovina podvrgava operaciji miješanja, tlačenja, grijanja i smicanja kroz sapnicu određenog oblika, te se većinom pomoću ekspanzije suši gotov proizvod, ekstrudat. Za ekstruziju se uglavnom koriste sirovine bogate proteinima i škrobom, kod kojih pod djelovanjem visoke temperature, smicanja i visokog tlaka dolazi do promjene njihove strukture i probavljivosti. Ovim postupkom proizvodi se veliki broj proizvoda (snack proizvodi, tjestenina, hrana za kućne ljubimce, različiti filmovi i cijevi). Koristi se za modificiranje sirovina različitih svojstava, najčešće brašna za keksarstvo i pekarsku industriju te modificiranje škroba.

Danas se sve više potrošača brine o svojoj prehrani te brojne prehrambene industrije, pa tako i industrija proizvodnje ekstrudiranih proizvoda, razvijaju mogućnosti obogaćivanja prehrambenih proizvoda i poboljšanja njihovih nutritivnih i organoleptičkih svojstava.

Kako bi ekstrudirani proizvodi dobili istaknutije mjesto na tržištu nastoji im se povećati nutritivna vrijednost, a smanjiti kalorijska i to tako da se zamijeni jedan dio kukuruznog ili pšeničnog brašna, kao osnovnih sirovina s brašnom drugih žitarica i obogaćivanjem vlaknima.

U ovom radu cilj je bio ispitati mogućnost primjene pšeničnih posija u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda od kukuruzne krupice vlaknima.

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.).
Proces ekstruzije uključuje:

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

Ovim procesima dolazi do različitih kemijskih i fizikalnih promjena na materijalu. Ekstruzija se može primijeniti za proizvodnju/preradu različitih sirovina, polu- i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda kao što su: tjestenina, snack proizvodi, konditorski proizvodi, cerealije, hrana za kućne ljubimce, mesne prerađevine i proizvodi od plastike.
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.).

2.1.1. Povijest ekstruzije

Proces ekstrudiranja prvi puta se spominje 1797. godine u Engleskoj, kada ga je Joseph Bramah primijenio za proizvodnju sapuna, pasta i mase za crijep, upotrebom ručne preše.
Postupak ekstrudiranja za proizvodnju bešavnih cijevi u metalurgiji je skoro sam početak šire primjene ekstruzije, a krajem 19. stoljeća postupak je našao svoju primjenu i u prehrambenoj industriji, i to u tehnologiji mesnih proizvoda za nadijevanje kobasica.
Šira primjena ekstruzije u prehrambenoj industriji povezana je s proizvodnjom tjestenine, zatim instant proizvoda na bazi žitarica i tzv. snack proizvoda. Suvremeni dizajn ovih uređaja povećao je stupanj njihove zastupljenosti u proizvodnji hrane za ljude i životinje. Danas se koriste za kuhanje, oblikovanje, miješanje i teksturiranje uz visok stupanj kvalitete i produktivnosti te s nižim troškovima proizvodnje (Brnčić i sur., 2008.).

2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji

Prilikom razvoja početnih funkcija miješanja i oblikovanja proizvoda te uvođenjem novih jediničnih operacija i procesa, poput kuhanja i teksturiranja, i njihovim povezivanjem u jedinstveni kontinuirani proces stvorio se suvremeni uređaj za ekstruziju (ekstruder). Ekstruderi se mogu smatrati HTST (eng. *high temperature/short time*) uređajima, koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode. Osnovne značajke suvremenih ekstrudera 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.).

Prema tehnološkoj izvedbi, u proizvodnji prehrambenih proizvoda razlikuju se tri osnovna postupka ekstruzije:

1. Hladno ekstrudiranje

- temperature: 40 - 70 °C;
- tlak: 60 - 90 x 10^5 Pa;
- nema zagrijavanja cilindra i sapnice;
- hlađenje samo radi odvođenja topline stvorene trenjem.

2. Želatinizacija

- temperature: 70 - 120 °C;
- tlak: 70 - 130 x 10^5 Pa;
- zagrijavanje ili hlađenje cilindra radi režima rada u zonama.

3. Toplo ekstrudiranje

- temperature: 130 - 180 °C;
- tlak: 120 - 250 x 10^5 Pa;
- cilindri i sapnice se griju ili hlade, radi održavanja režima rada (Pozderović, 2009.).

Ekstruzijsko kuhanje najčešće se primjenjuje u preradi škrobom ili proteinima bogatih sirovina. 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.).

Proizvodi ekstruzije

Najpoznatiji proizvodi dobiveni ekstruzijskim kuhanjem su:

- ekstrudirani snack proizvodi, RTE *(„ready-to-eat“*) pahuljice od žitarica i različite vrste žitarica za doručak, različitih oblika, boje i okusa;
- snack peleti – poluproizvodi, prethodno kuhana tjestenina;
- dječja hrana, prethodno kuhano brašno, instant koncentrati, funkcionalni dodaci;
- biljni proteini (uglavnom soje) koji se koriste u proizvodnji mesnih analoga;
- krušne mrvice, emulzije i tjestenine;
- bomboni, različite vrste slatkiša, žvakaće gume i dr. (Moscicki, 2011.).

Glavne prednosti ekstruzije u odnosu na tradicionalne procese 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.).

Ekstruderi se mogu koristiti u proizvodnji različitih vrsta klasičnih prehrambenih proizvoda ili za dobivanje velike palete potpuno novih prehrambenih proizvoda. Mnoge tvornice umjesto tradicionalnih tehnologija koriste tehnologiju ekstrudiranja za proizvodnju cerealne dječje hrane, konditorskih proizvoda, mesnih prerađevina i sl. Unatoč tome što tehnologija ekstrudiranja ima puno prednosti u odnosu na konvencionalne tehnologije, dugo je vremena trebalo da ekstruzija u potpunosti preuzme primarnu ulogu u proizvodnji hrane, posebice kada se radi o primjeni dvopužnih multifunkcionalnih ekstrudera (Babić, 2011.).

2.2. PODJELA EKSTRUDERA

Ekstruderi za prehrambene proizvode mogu se podijeliti prema nekoliko kriterija kao što su:

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

2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

a) Adijabatski ekstruderi

Adijabatski ekstruderi rade pri približno adijabatskim uvjetima, stvaraju vlastitu toplinu konverzijom mehaničkog rada prilikom gibanja materijala u uređaju. Tijekom procesa materijal se giba kroz uređaj te zbog visokog tlaka dolazi do smicanja i trenja pri čemu se mehanički rad pretvara u toplinu. U pravilu, kod ovih ekstrudera ne dovodi se niti odvodi toplina.

b) Izotermni ekstruderi

U izotermnim ekstruderima se tijekom procesa održava određena konstantna temperatura hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničkog rada u toplinu.

c) Politropski ekstruderi

Politropski ekstruderi rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta rada. Svi ekstruderi u prehrambenoj industriji su politropski ekstruderi, pri čemu se neki više približavaju adijabatskim, a neki izotermnim uvjetima rada.

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

a) Ekstruderi pozitivnog tlaka, tvz. direktnog tipa

Ekstruderi direktnog tipa stvaraju pozitivni tlak, a mogu biti:

- Klipni ekstruderi;
- Pužni ekstruderi sa jednim ili sa dva puža.

Klipni ekstruderi

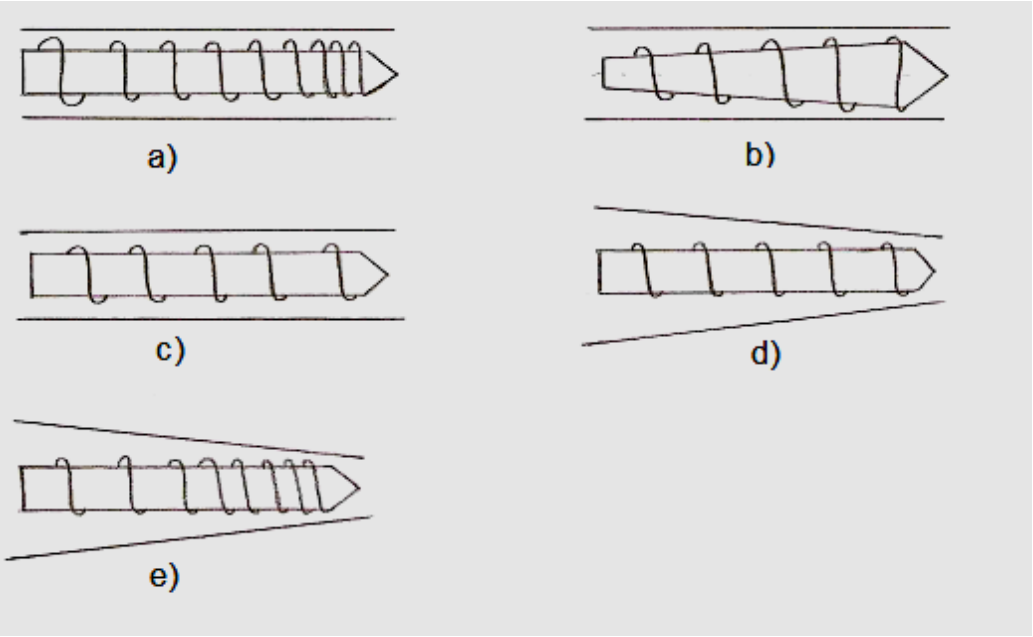
Klipni ekstruder je najjednostavniji ekstruder koji se sastoji od klipa i cilindra. Klip tlači materijal kroz cilindar pri čemu ne dolazi do smicanja pa su svojstva ekstrudata skoro neizmijenjena u donosu na ulazni materijal. Ovaj jednostavni ekstruder primjenjuje se za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženih kukuruznih čipsova.

Pužni (vijčani) ekstruderi

Pužni ekstruderi imaju jedan ili dva paralelna puža ili vijka. Kod ekstrudera sa dva puža puževi su postavljeni paralelno i oni mogu biti različite konstrukcije. Mogu biti isprepleteni potpuno ili djelomično i razdvojeni. Ekstruderi sa jednim pužem mogu biti sa smanjenjem koraka puža i sa smanjenjem promjera puža ili kućišta ili oba.

Na **Slici 1** prikazana je podjela jednopužnih ekstrudera koji prema izvedbi puža i kućišta mogu biti:

- **a)** kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju;
- **b)** kod kojih se promjer puža povećava prema kraju;
- **c)** sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta;
- **d)** kod kojih se kućište konusno sužava;
- **e)** kod kojih se korak smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava.



Slika 1 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 (Pozderović, 2009.).

Jednopužni ekstruderi su pogodni za postizanje visokog tlaka, ovisno o dužini pužnice, dubini žljebova, konstrukciji vijka i viskoznosti materijala.

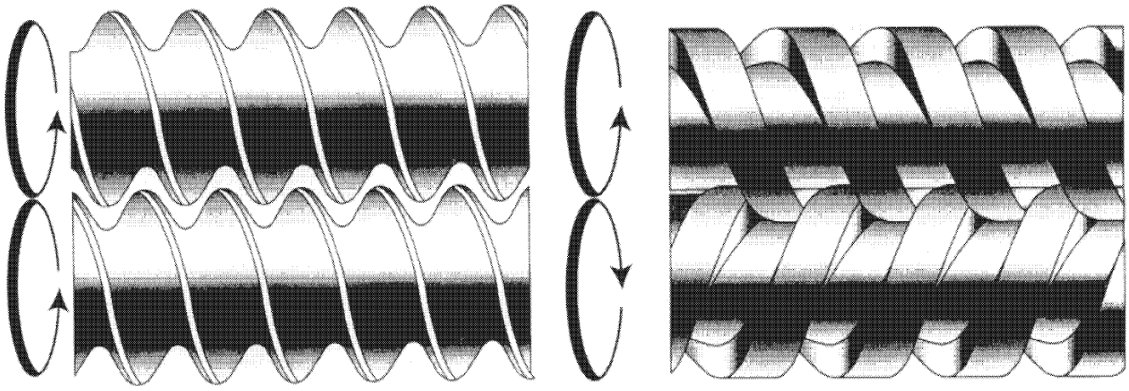
Razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta unutar uređaja. Kod jednopužnih ekstrudera transport materijala vrši se zbog razlike sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Kod dvopužnih ekstrudera s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. U tom

slučaju je trenje od manjeg značenja. Kod pužnih ili vijčanih ekstrudera zbog viskoznog gibanja materijala između puževa te između puževa i kućišta dolazi do smicanja (smika) i oslobađanja topline. Osim toga materijal se značajno miješa. Što je niža vlažnost materijala, sila smicanja je veća pa se oslobađa veća količina topline. Ovi ekstruderi se upotrebljavaju u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal kao što su kobasice, flips, čokolada, žvakaće gume (Pozderović, 2009.).

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

a) sa istosmjernim okretajem puževa;

b) sa suprotnim smjerom okretaja puževa.



(a) **(b)**

Slika 2 Dvopužni ekstruderi sa istosmjernim (a) i kretanjem puževa u suprotnom smjeru (b) (Pozderović, 2009.)

b) Ekstruderi indirektnog tipa – viskozno-vlačnog toka

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

2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

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

a) Nisko-smične ekstrudere;

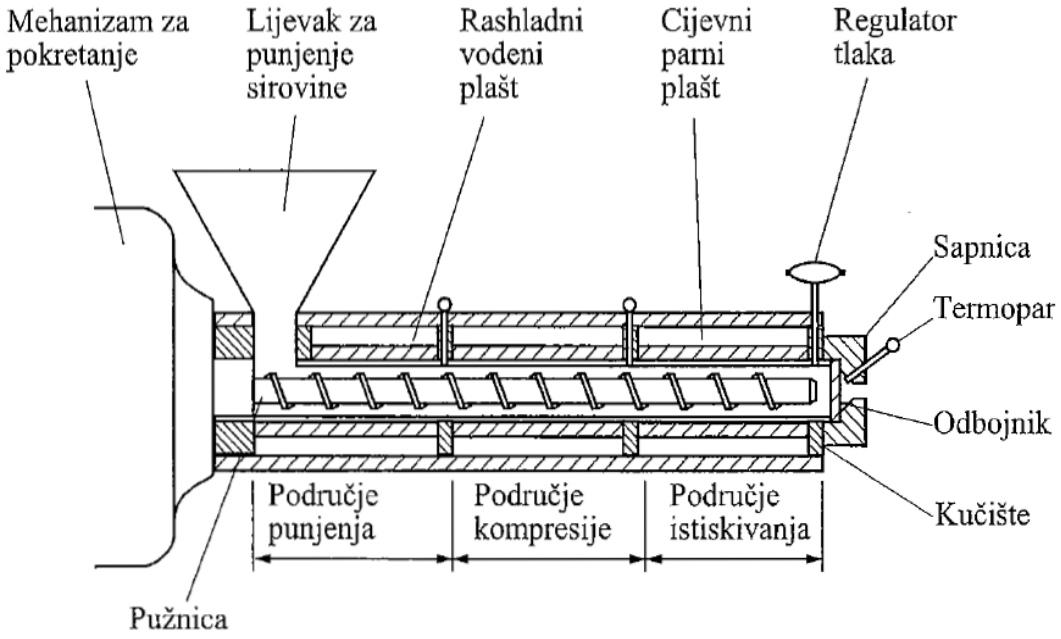
b) Srednje-smične ekstrudere;

c) Visoko-smične ekstrudere (Lovrić, 2003.)

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Na **Slici 3** prikazan je klasičan tip jednopužnog ekstrudera čiji se rad, kao i rad svakog ekstrudera, zasniva na postojanju tri zone (sekcije):

- Zona uvlačenja (napajanja);
- Zona kompresije (prijelaza);
- Zona istiskivanja.



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

Zona uvlačenja prihvaća materijal i transportira ga u zonu kompresije. Uređaj za doziranje predstavlja vrlo važan dio procesa ekstruzije koji osigurava konstantno i jednolično doziranje materijala, a sastoji se od puža koji transportira materijal, a sam puž dozirke ima mogućnost podešavanja broja okretaja što omogućava doziranje veće/manje količine sirovine.

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

U *zoni istiskivanja* se prihvaća stlačeni materijal, homogenizira se i potiskuje kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog sile smicanja i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz cilindar.

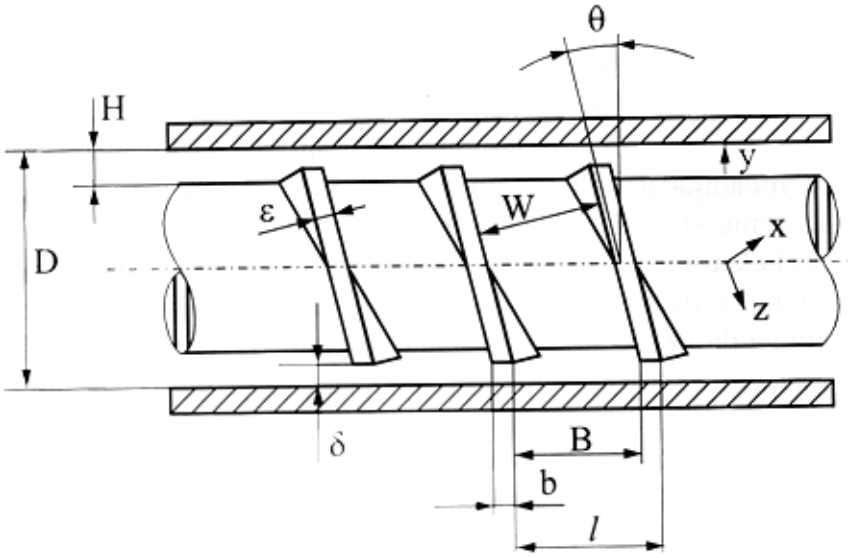
U ekstruderu tlak dostiže maksimum pri kraju puža pri čemu kod izlaska materijala iz sapnice tlak pada na atmosferski. Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

- viskoznosti materijala;
- obliku i promjeru sapnice;
- razlici tlaka.

Kada se u ekstruderu postižu visoka temperatura i visoki tlakovi, stlačeni materijal naglo ekspandira nakon izlaska iz sapnice u područje gdje vlada atmosferski tlak te dolazi do ekspanzijskog sušenja (Lovrić, 2003.).

Karakteristike ekstrudera

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.)

2.4. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

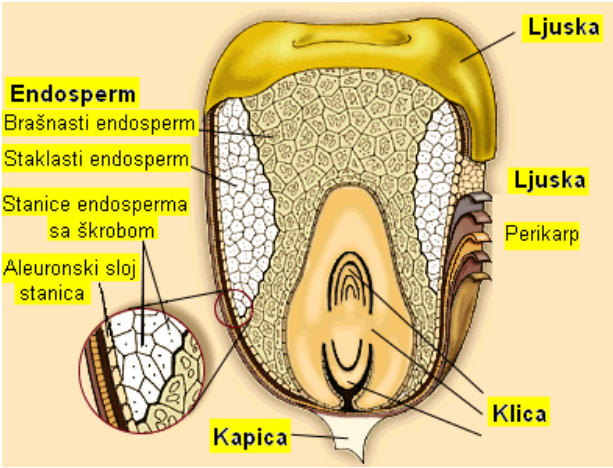
Osnovni sastojci ekstrudiranih proizvoda su škrob i/ili proteini, a najčešće primjenjivane sirovine za njihovu proizvodnju su: brašna žitarica i plodova bogatih škrobom (brašno kukuruza, pšenice, riže, raži, ječma, zobi, heljde, tapioke, kestena i dr.), biljni proteini (sojini, sjemenki suncokreta, pšenični gluten i dr.). Na sam odabir namirnica (sirovina) utječu: nutritivna vrijednost (primarni čimbenik), cijena (sekundarni) i dostupnost sirovine (Moscicki, 2011.).

U većini slučajeva tijekom ekstruzije procesiraju se tjestaste smjese, brašna žitarica ili proteinskih smjesa, pri čemu škrob želatinizira uz upijanje određene količine vode i dolazi do povišenja viskoznosti, a proteini poboljšavaju elastičnost i zadržavanje plinova (Pozderović, 2009.).

2.4.1. Kukuruz (*Zea mays)*

Kukuruz je jednogodišnja biljka podrijetlom iz Srednje Amerike. Po zasijanim površinama treća je po redu žitarica iza pšenice i riže. Plod mu je klip sa zrnjem koje je uglavnom žuto ili bijelo. Zrno kukuruza se sastoji od četiri osnovna dijela (**Slika 5**):

- ljuska;
- klica;
- brašnasti i staklasti endosperm;
- kapica.



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Endosperm čini najveći udio u zrnu (oko 82%) te time sadrži i najviše škroba, a sastoji se od dva dijela: brašnastog i staklastog (rožastog) endosperma. Najčešće je odnos brašnastog i staklastog endosperma 35 : 65, a može varirati, ovisno o sadržaju proteina i vrsti kukuruza. 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.

Tablica 1 prikazuje prosječan kemijski sastav zrna kukuruza. 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%. 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.

Među šećerima u zrnu najveći udio čini saharoza (0,9 – 1,9%), zatim glukoza (0,2 – 0,5%) te fruktoza (0,1 – 0,4%) (Eckhoff, 2009.).

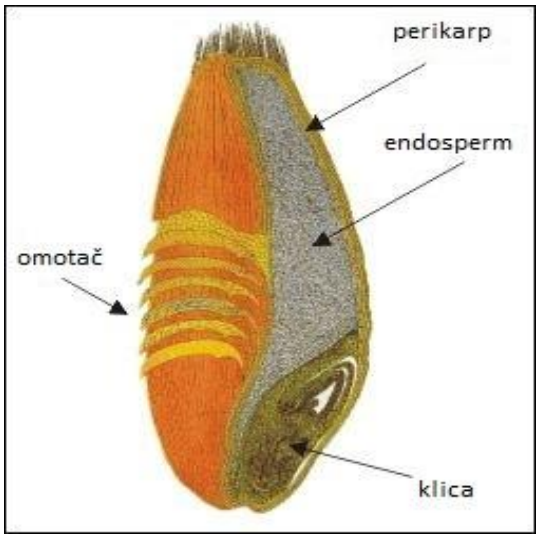
Tablica 1 Prosječni kemijski sastav zrna kukuruza (Eckhoff, 2009.)

	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

2.4.2. Pšenica *(Triticum spp.)*

Pšenica je biljka koja se uzgaja širom svijeta. Globalno, ona je najvažnija zrnata biljka koja se koristi za ljudsku prehranu i druga je na ljestvici ukupne proizvodnje prinosa žitarica odmah iza kukuruza. Pšenična zrna su glavni prehrambeni proizvod koji se rabi za izradu brašna za kruh, kolače, tjesteninu itd; i za fermentaciju za izradu piva, alkohola i biogoriva. Ljuska odvojena pri mljevenju zrna i proizvodnji brašna zove se posije (mekinje). Najveći dio zrna je onaj od kojeg se dobivaju brašno i krupica, a to je endosperm. Endosperm kod većine žitarica, pa tako i kod pšenice zauzima oko 90% zrna. Vanjski dio endosperma je prekriven aleuronskim slojem i on se uglavnom, zajedno s vanjskom ovojnicom, prerađuje u pšenične posije u procesu mljevenja (Ugarčić–Hardi, 2011b.)

Prosječan kemijski sastav pšenice je: 12,2% proteina, 1,9% masti, 71,9% škroba, 1,9% vlakana i 1,2% mineralnih tvari (Ugarčić-Hardi, 2011b.).



Slika 6 Zrno pšenice (Triticum spp.) (Ugarčić-Hardi, 2011a.)

Pšenične posije (mekinje) i njihova važnost

Strukturu pšeničnog zrna čine omotač (vanjski dio), endosperm (unutarnji dio) i klica. Dakle, mljevenjem u mlinu omotač daje posije, a endosperm brašno. Pšenične posije ili mekinje se dobivaju iz vanjske ljuske zrna pšenice. Bioaktivni spojevi kao što su lignini, fenolne kiseline, fitosteroli, minerali i vitamini uglavnom su koncentrirani u klici i vanjskim slojevima zrna (Heiniö i sur., 2008.).

Od vlakana, sadrži topljiva, djelomično topljiva i netopljiva vlakna. U vodi netopljiva vlakna uključuju: celulozu i lignin; djelomično topljiva: ksilan i glikan; te topljiva: arabinoksilan i β-glukan (Petrović, 2008.).

Visoki sadržaj vlakana i pripadajućih bioaktivnih spojeva ukazuju na to da pšenica ima potencijal za smanjenje rizika povezanih sa zapadnim bolestima, poput dijabetesa tipa II i kardiovaskularnih bolesti. Pšenica je jedna od najučinkovitije iskorištenih žitarica u novim vrstama funkcionalnih proizvoda od žitarica za ljudsku prehranu (Heiniö i sur., 2003.).

Robin i sur. (2012.) su istraživali svojstva ekstrudiranih proizvoda od rafiniranog brašna s dodatkom pšeničnih posija korištenjem komplementarnih *on-line* i *off-line* reoloških metoda. Mjeren je *Bagely-ev tlak* koji odražava ekstenzijska svojstva topljenja. On se povećao i to značajno, dodatkom veće koncentracije pšeničnih posija na “srednjoj razini”, vjerojatno zbog smanjene pokretljivosti molekula škroba. Daljnjim povećanjem koncentracije pšeničnih posija, *Bagley-ev tlak* se znatno smanjio, što je uzrokovano puknućem na izlazu, zbog slabe adhezijske sile između čestica škroba i posija. Ova promjena u tlaku pokazuje da se mogu smanjiti elastična svojstva topljenja dodatkom pšeničnih posija. Također su primijetili da se

dodatkom pšeničnih posija smanjuje ekspanzijski omjer. Istraživanje je provedeno na pšeničnom brašnu koje je dopunjeno mekinjama različitog udjela vlakana, različitim udjelom vode, te je ekstrudirana pri različitim temperaturama. Uočeno je da se povećanjem koncentracije mekinja smanjio presjek i volumna ekspanzija (ekspanzijski omjer), a povećala se uzdužna ekspanzija. Dobivali su se ekstrudirani proizvodi s finijom staničnom strukturom. To smanjenje volumetrijskog širenja povezano je s povećanim smicanjem i to samo kod najviše koncentracije mekinja. Temperatura staklastog prijelaza smanjena je do 15 °C dodatkom mekinja. To može izazvati smanjenje viskoznosti škroba i neutralizirati povećanje matrice viskoznosti što je povezano sa svojstvima mekinja.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa kukuruznih krupica s pšeničnim posijama (omjeri: krupica *Specijal* : posije = 80:20 i krupica *Resli* : posije = 80:20). 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, internog naziva *Specijal* (krupnija granulacija) i *Resli* (sitnija granulacija), iz mlina Đakovo, tvrtka Žito d.o.o. Osijek (proizvedene 2012. godine);
- Pšenične posije, kupljene u OPG “Jazbec”, Ivanovac (proizvedene 2012. godine).

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s pšeničnim posijama

Pripremljenim smjesama kukuruznih krupica i pšeničnih posija (omjeri 80:20) najprije je podešena vlažnost na 15% te su ostavljene u plastičnim vrećicama preko noći u hladnjak na 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 dijametra ekstrudata (d_e) i ekspanzijskog omjera (EO)

Ekspandiranim suhim ekstrudatima izmjeren je dijametar pomoću pomičnog mjerila (u milimetrima). Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi pet puta te se izračuna srednja vrijednost. Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog sa dijametrom sapnice ekstrudera (4 mm) te se računa prema formuli **(1)** (Brnčić i sur., 2008.):

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

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)**:

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

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.



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

3.2.2.6. Određivanje stupnja oštećenosti škroba (AACC 76-31.01)

Stupanj oštećenosti škroba se definira kao postotak škroba (u odnosu na masu uzorka) koji je podložan enzimskoj hidrolizi. Princip metode se zasniva na hidrataciji i hidrolizi oštećenih škrobnih granula uzorka pomoću fungalne α-amilaze pri 40 °C kroz 10 minuta. Produkti hidrolize su maltooligosaharidi i α-granični dekstrini. Ovi uvjeti omogućavaju gotovo potpunu hidrolizu oštećenih škrobnih granula i minimalnu razgradnju neoštećenih granula. Enzimska

hidroliza se prekida nakon točno 10 minuta dodatkom razrijeđene sulfatne kiseline. Uzorak se centrifugira, a alikvot supernatanta (sadrži maltooligosaharide i α- granične dekstrine) se tretira pročišćenom amiloglukozidazom. Nastaje glukoza koja s glukoza oksidaza/peroksidaza reagensom (GOPOD) stvara obojenje čiji se intenzitet određuje spektrofotometrijski. Stupanj oštećenosti škroba se računa prema formuli (**3**):

Oštećeni škrob = ΔE × F × 60 × 1/1000 × 100/W × 162/180 = ΔE × F/W × 5,4 [%] (**3**)

gdje je:
- ΔE - apsorbancija umanjena za slijepu probu,
- F = 150 µg glukoze/apsorbancija za 150 µg glukoze,
- 60 - korekcija volumena (0,1 ml uzeto iz 6,0 ml),
- 1/1000 - pretvaranje µg u mg,
- 100/W - faktor za izražavanje oštećenosti škroba kao postotak od uzorka brašna (W – masa uzorka u mg),
- 162/180 - prilagodba slobodne glukoze prema bezvodnoj glukozi kakva se pojavljuje u škrobu.

3.2.2.7. 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 jednici mase suhe tvari početnog uzorka.

WAI [gg^{-1}] = masa gela / masa suhe tvari u početnom uzorku (**4**)

WSI [%] = (masa suhe tvari u supernatantu / masa suhe tvari u početnom uzorku) x 100 (**5**)

3.2.2.8. 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 ºC, brzina zagrijavanja 7,5 ºC/min;
2. Izotermno na 92 ºC, 5 minuta;
3. Hlađenje od 92 do 50 ºC, brzina hlađenja 7,5 ºC/min;
4. Izotermno na 50 ºC, 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].

3.2.2.9. Određivanje udjela sirovih vlakana (ISO 6865)

Metoda se zasniva na otapanju drugih organskih tvari kuhanjem u kiselini i lužini i spaljivanju uzorka, nakon čega preostaju samo vlakna.

Uzorak se najprije samelje i homogenizira te se izvaže oko 1 g uzorka u čahure za određivanje sirovih vlakana. Najprije se vrši tretiranje kuhanjem sa razrijeđenom H_2SO_4 (**Slika 10**). Ostatak se odvoji filtracijom, ispere se vodom i potom tretira kuhanjem sa NaOH. Ostatak se ponovno odvoji filtracijom, ispere se vodom te suši na temperaturi od 130 °C u trajanju od dva sata. Ohlađene čahure sa ostatkom važu se i stavljaju u lončiće za spaljivanje te se provede spaljivanje u mufolnoj peći na temperaturi od 500 ± 25 °C u trajanju od oko 4 sata. Nakon spaljivanja lončići s ostatkom se hlade u eksikatoru i potom važu na analitičkoj vagi.

Količina sirovih vlakana računa se prema jednakosti **(9)**:

$$w_f = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \qquad \textbf{(9)}$$

gdje je: w_f – količina sirovih vlakana [gkg^{-1}],

m_1 – masa uzorka [g],

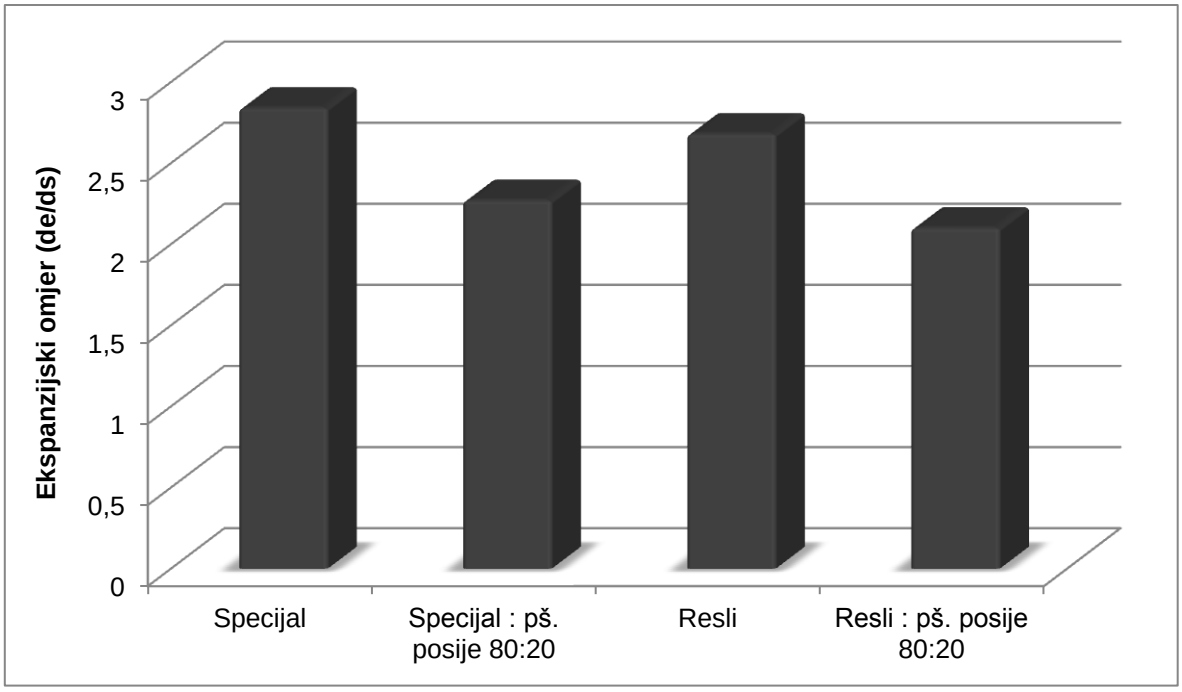
m_2 – masa lončića sa čahurom sa ostatkom nakon sušenja [g],

m_3 – masa lončića sa čahurom sa ostatkom nakon spaljivanja [g].

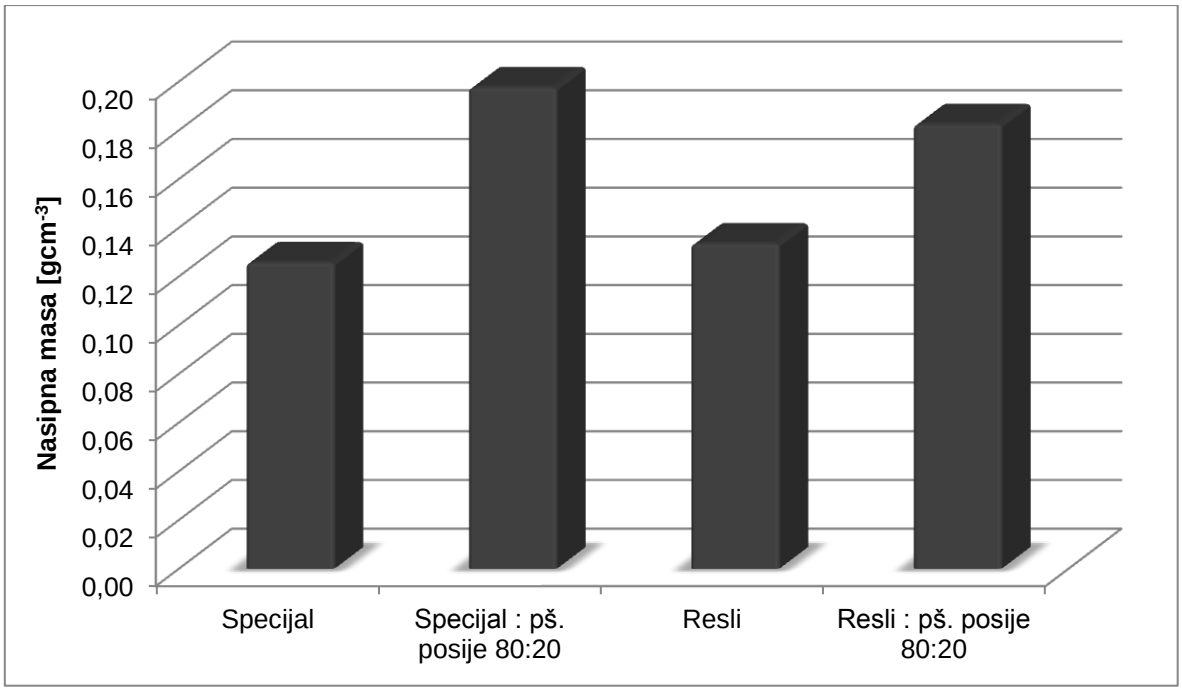


Slika 10 Kuhanje uzoraka u razrijeđenoj sumpornoj kiselini (Jozinović, 2011.)

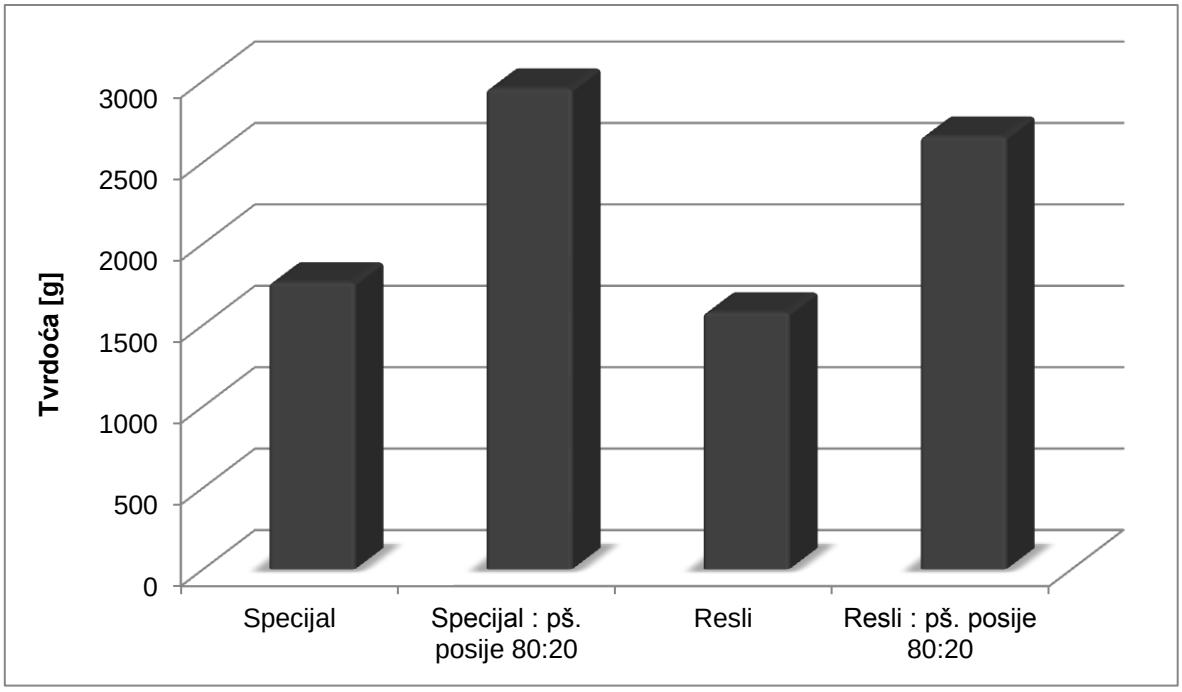
4. REZULTATI



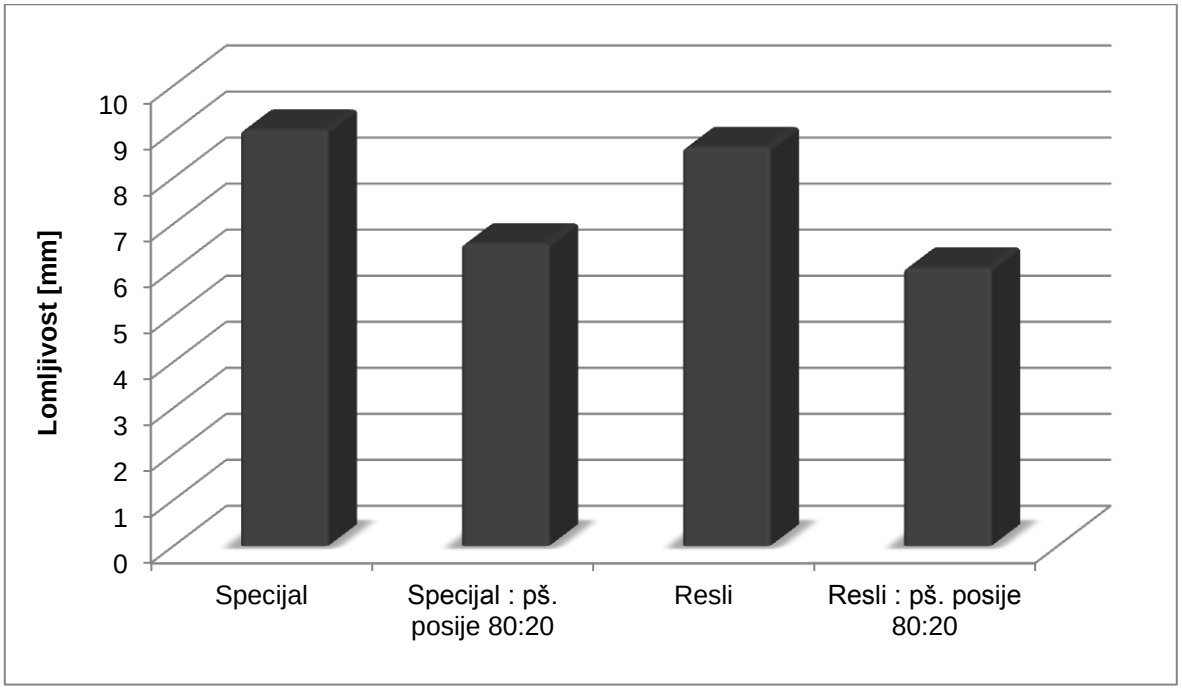
Slika 11 Promjena ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudata kukuruznih krupica *Resli* i *Specijal* sa i bez dodatka pšeničnih posija



Slika 12 Promjena nasipne mase ekstrudata kukuruzne krupice *Resli* i *Specijal* sa i bez dodatka pšeničnih posija



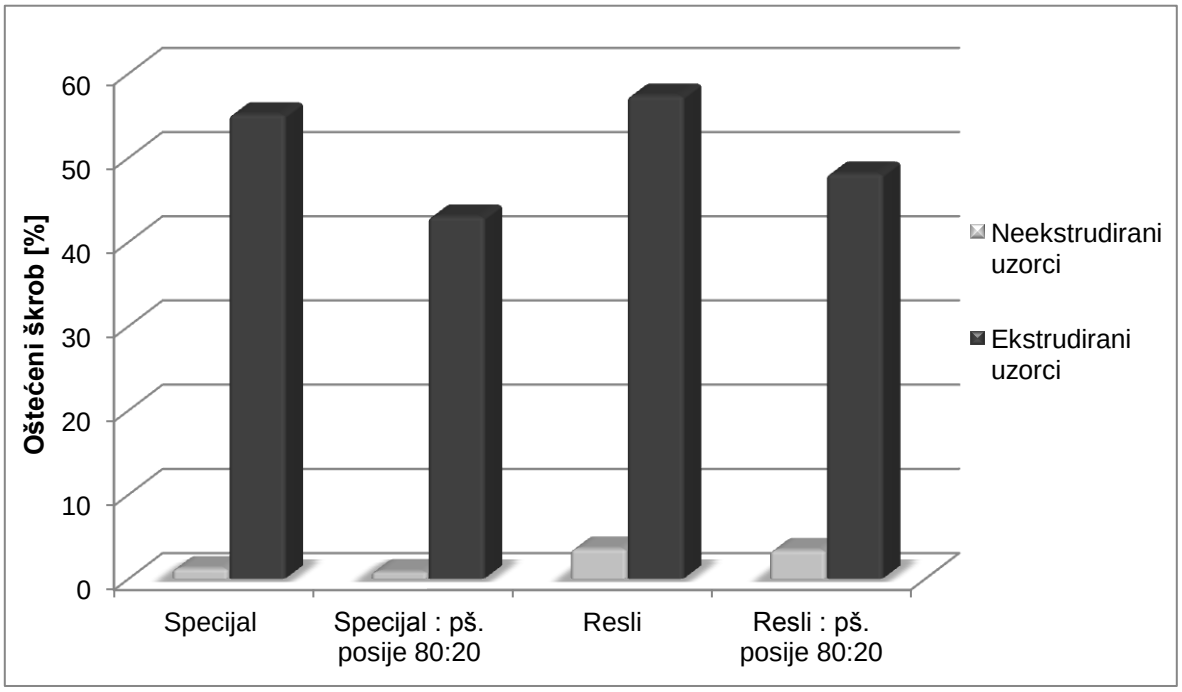
Slika 13 Promjena tvrdoće ekstrudata kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka pšeničnih posija



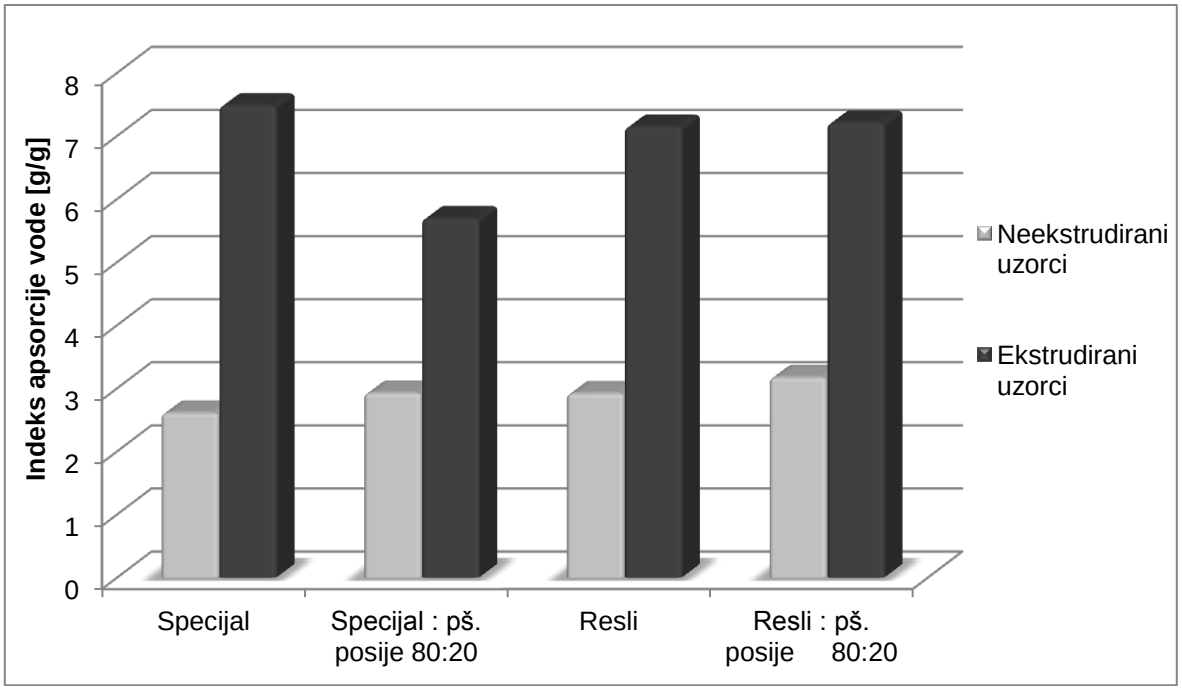
Slika 14 Promjena lomljivosti ekstrudata kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka pšeničnih posija

Tablica 3 Utjecaj procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruzna krupica : pšenične posije, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima

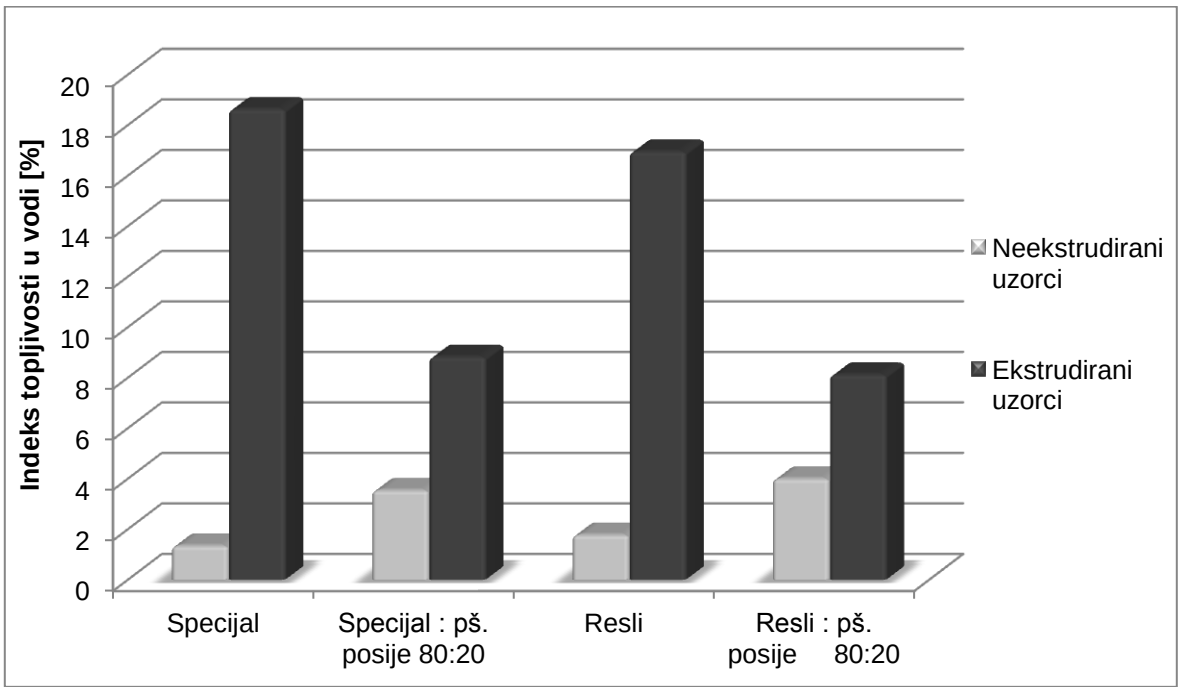
Uzorak	Neekstrudirani uzorci				
	L*	a*	b*	C	h°
Specijal	82,32 ± 0,04 [c]	0,25 ± 0,02 [c]	44,70 ± 0,17 [d]	44,70 ± 0,17 [d]	89,68 ± 0,02 [b]
Specijal : pš. posije 80:20	78,82 ± 0,04 [a]	2,68 ± 0,05 [d]	24,57 ± 0,04 [a]	24,72 ± 0,04 [a]	83,77 ± 0,09 [a]
Resli	87,37 ± 0,02 [d]	-2,15 ± 0,04 [a]	35,42 ± 0,03 [c]	35,48 ± 0,02 [c]	93,48 ± 0,07 [d]
Resli : pš. posije 80:20	79,92 ± 0,03 [b]	-0,34 ± 0,04 [b]	24,91 ± 0,10 [b]	24,91 ± 0,10 [b]	90,78 ± 0,08 [c]
Uzorak	**Ekstrudirani uzorci**				
	L*	**a***	**b***	**C**	**h°**
Specijal	85,51 ± 0,01 [d]	-4,02 ± 0,06 [a]	38,97 ± 0,06 [d]	39,18 ± 0,06 [d]	95,89 ± 0,08 [d]
Specijal : pš posije 80:20	74,72 ± 0,05 [a]	-0,01 ± 0,02 [c]	27,25 ± 0,04 [b]	27,25 ± 0,04 [b]	90,02 ± 0,05 [b]
Resli	84,86 ± 0,03 [c]	-2,63 ± 0,03 [b]	32,62 ± 0,02 [c]	32,73 ± 0,03 [c]	94,61 ± 0,06 [c]
Resli : pš. posije 80:20	76,17 ± 0,04 [b]	0,25 ± 0,04 [d]	23,31 ± 0,01 [a]	23,31 ± 0,01 [a]	89,37 ± 0,11 [a]



Slika 15 Utjecaj ekstruzije na stupanj oštećenosti škroba u kukuruznim krupicama *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka pšeničnih posija



Slika 16 Utjecaj ekstruzije na indeks apsorpcije vode kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka pšeničnih posija



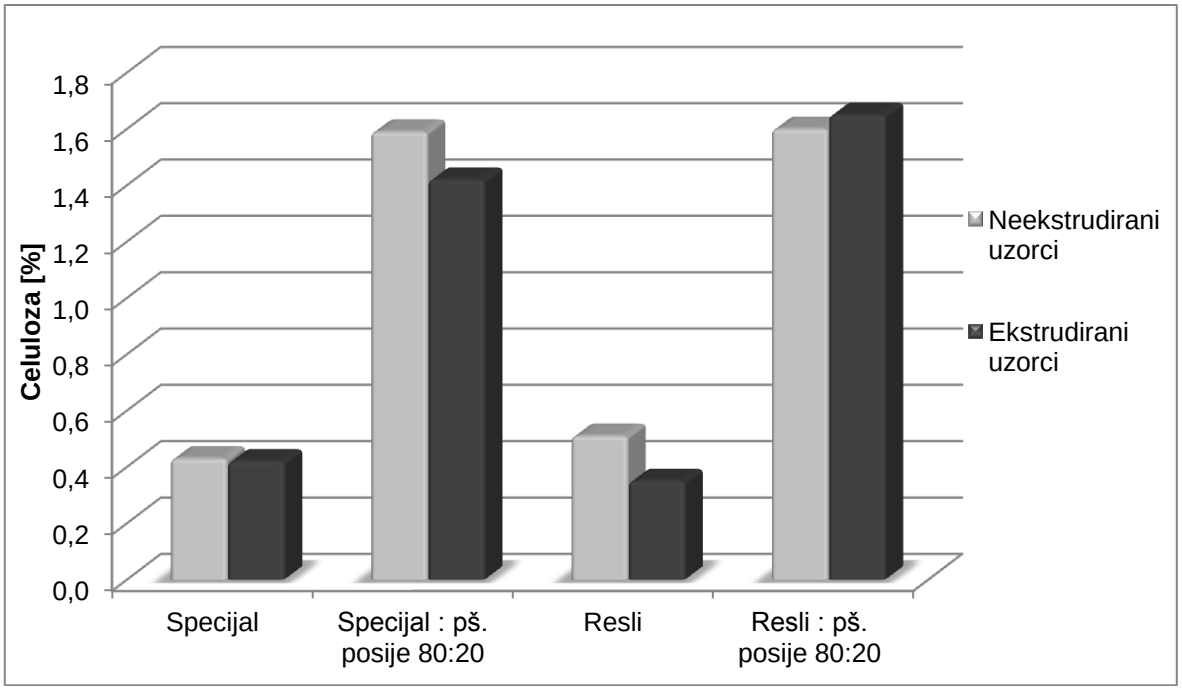
Slika 17 Utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka pšeničnih posija

Tablica 4 Utjecaj procesa ekstruzije i dodatka pšeničnih posija na viskoznost kukuruzne krupice *Specijal*

	Neekstrudirani uzorci		Ekstrudirani uzorci	
	Specijal	**Specijal : pš. posije 80:20**	**Specijal**	**Specijal : pš. posije 80:20**
viskoznost vrha [BU]	608,0 ± 27,0 ^{c}	326,5 ± 14,5 ^{b}	81,5 ± 16,5 ^{a}	30,5 ± 22,5 ^{a}
viskoznost pri 92 °C [BU]	27,5 ± 8,5 ^{a}	8,0 ± 8,0 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}	12,5 ± 12,5 ^{a}
nakon miješanja na 92 °C [BU]	607,5 ± 23,5 ^{c}	336,0 ± 42,0 ^{b}	0,0 ± 0,0 ^{a}	2,5 ± 2,5 ^{a}
viskoznost pri 50 °C [BU]	1009,0 ± 18,0 ^{c}	726,0 ± 51,0 ^{b}	85,5 ± 18,5 ^{a}	48,5 ± 20,5 ^{a}
nakon miješanja na 50 °C [BU]	985,0 ± 4,0 ^{c}	723,5 ± 44,5 ^{b}	92,5 ± 21,5 ^{a}	48,0 ± 21,0 ^{a}
kidanje [BU]	3,5 ± 3,5 ^{a}	0,5 ± 0,5 ^{a}	81,5 ± 16,5 ^{b}	28,0 ± 20,0 ^{a}
„setback“ [BU]	389,0 ± 14,0 ^{b}	387,5 ± 13,5 ^{b}	80,5 ± 18,5 ^{a}	44,5 ± 17,5 ^{a}

Tablica 5 Utjecaj procesa ekstruzije i dodatka pšeničnih posija na viskoznost kukuruzne krupice *Resli*

	Neekstrudirani uzorci		Ekstrudirani uzorci	
	Resli	**Resli : pš. posije 80:20**	**Resli**	**Resli : pš. posije 80:20**
viskoznost vrha [BU]	903,5 ± 5,5 ^{d}	760,0 ± 1,0 ^{c}	64,0 ± 16,0 ^{b}	1,5 ± 1,5 ^{a}
viskoznost pri 92 °C [BU]	898,5 ± 0,5 ^{c}	703,0 ± 12,0 ^{b}	0,0 ± 0,0 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}
nakon miješanja na 92 °C [BU]	775,5 ± 2,5 ^{c}	678,0 ± 4,0 ^{b}	0,0 ± 0,0 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}
viskoznost pri 50 °C [BU]	1311,5 ± 1,5 ^{c}	1211,0 ± 10,0 ^{b}	19,5 ± 13,5 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}
nakon miješanja na 50 °C [BU]	1347,0 ± 17,0 ^{c}	1205,5 ± 5,5 ^{b}	23,5 ± 12,5 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}
Kidanje [BU]	126,0 ± 5,0 ^{c}	82,0 ± 4,0 ^{b}	64,0 ± 16,0 ^{b}	1,5 ± 1,5 ^{a}
„setback“[BU]	521,0 ± 1,0 ^{b}	526,0 ± 13,0 ^{b}	17,0 ± 13,0 ^{a}	0,0 ± 0,0 ^{a}



Slika 18 Utjecaj ekstruzije na udio vlakana u kukuruznoj krupici *Specijal* i *Resli* sa i bez dodataka pšeničnih posija

5. RASPRAVA

Zadatak ovoga rada bio je utvrditi utjecaj dodatka pšeničnih posija (20%) na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*.

Na **Slici 11** prikazana je promjena ekspanzijskog omjera (EO) ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* s i bez dodatka pšeničnih posija. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da je ekspanzija veća kod smjese *Specijal* : posije u odnosu na smjesu *Resli* : posije. Također, može se vidjeti da se dodatkom posije u obje krupice ekspanzijski omjer značajno smanjio. Anton i sur. (2009.) istraživanjem utjecaja dodatka brašna graška na stupanj ekspanzije utvrdili su da dodatkom brašna graška dolazi do značajnog pada ekspanzije, a kao razlog naveli su djelovanje vlakana na razaranje stanica i nemogućnost ekspanzije mjehurića zraka. Smanjenje ekspanzije rižinih i kukuruznih ekstrudata dodatkom brašna leguminoza u svom su radu utvrdili Pastor-Cavada i sur. (2011.), što je u skladu sa rezultatima ovoga istraživanja. Nadalje, Brnčić i sur. (2008.) u svom radu o utjecaju dodatka proteina sirutke na kvalitetu kukuruznih ekstrudata zaključili su da dodatak proteina očvršćava stjenku proizvoda i smanjuje stupanj ekspanzije.

Na **Slici 12** prikazana je promjena nasipne mase ekstrudiranih smjesa *Specijal* : posije i *Resli* : posije. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da je nasipna masa kod obje ekstrudirane kukuruzne krupice bez dodatka posija bila manja nego kod ekstrudiranih smjesa. Rezultati dobiveni mjerenjem nasipne mase u skladu su s rezultatima mjerenja ekspanzije – ekstrudati s nižim vrijednostima dijametra i ekspanzijskog omjera imali su višu nasipnu masu. U skladu s rezultatima ovoga istraživanja Stojceska i sur. (2008.) u svom su radu utvrdili smanjenje ekspanzije i povećanje nasipne mase ekstrudata dodatkom pivskog tropa. Dodatkom djelomično odmašćenog brašna lješnjaka došlo je do povećanja nasipne mase ekstrudata (Yagci i Gogus, 2008.). Lazou i Krokida (2010a.; 2010b.) u svojim istraživanjima su kao dodatak koristili brašno leće i naveli da je dodatkom brašna leće došlo do povećanja nasipne mase ekstrudata, što također potvrđuje rezultate ovoga istraživanja.

Pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, određena je tekstura ekstrudata pri čemu su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost. Promjena tvrdoće ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* s i bez dodatka posija prikazana je na **Slici 13**. Rezultati pokazuju da se dodatkom posija značajno povećava tvrdoća ekstrudiranih proizvoda. Iz rezultata dobivenih za lomljivost, za razliku od tvrdoće, na **Slici 14** može se vidjeti da se dodatkom posija smanjila lomljivost ekstrudiranih smjesa. Promjene u teksturi uzrokovane su gubitkom vlažnosti, formiranjem ili raspadom emulzija i gelova, hidrolizom polimernih ugljikohidrata i koagulacijom ili hidrolizom proteina (Akdogan i sur., 1997.). Istraživanja su pokazala da najveći utjecaj na teksturu ekstrudata ima vlažnost smjesa (Brnčić i sur., 2006.; Petrova i sur., 2010.), ali su i ostali parametri (temperatura, karakteristike puža, brzina puža i dr.) jako važni i predmet su brojnih istraživanja (Lazou i Krokida, 2010a.; Saeleaw. 2012., Wu

i sur., 2010.). Li i sur. (2005.) u svom radu o utjecaju sadržaja vlage i dodatka sojinog brašna u kukuruznu krupicu na teksturu ekstrudata zaključili su da se dodatkom sojinog brašna smanjuje tvrdoća ekstrudata, a povećanjem vlažnosti, tvrdoća se povećava.

U **Tablici 3** prikazani su rezultati mjerenja utjecaja procesa ekstruzije na boju smjesa *Specijal* : posije i *Resli* : posije, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da postoji značajna razlika između neekstrudiranih i ekstrudiranih smjesa. Usporedbom neekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal* s ekstrudiranom, za vrijednost parametra L*, koji se odnosi na svjetlinu, može se zaključiti da je došlo do rasta vrijednosti, odnosno posvjetljenja krupice. Za razliku od krupice *Specijal*, usporedbom neekstrudirane kukuruzne krupice *Resli* i neekstrudiranih smjesa *Specijal* : posije i *Resli* : posije s ekstrudiranim uzorcima, može se vidjeti da je došlo do pada vrijednosti parametra L*, što ukazuje na to da je došlo do potamnjivanja ovih uzoraka nakon provedene ekstruzije. U oba slučaja vrijednost parametra L* bila je manja kod smjesa kukuruzna krupica : posije, nego kod same kukuruzne krupice, što pokazuje da dodatak posija utječe na potamnjivanje smjesa. Vrijednosti parametra C, koji se koristi za opisivanje zasićenosti boje, smanjile su se dodatkom posija u obje kukuruzne krupice. Osim toga, iz rezultata se može uočiti da je ekstruzija uzrokovala povećanje parametra C kod smjese *Specijal* : posije, dok je kod ostalih uzoraka došlo do pada vrijednosti. Vrijednosti parametra a* za neekstrudiranu kukuruznu krupicu *Specijal* i smjesu *Specijal* : posije su pozitivne, što znači da su u domeni crvene boje, dok su vrijednosti preostalih uzoraka (neekstrudirana kukuruzna krupica *Resli*, smjesa *Resli* : posije te ekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal, Resli* te smjese *Specijal* : posije i *Resli* : posije) negativne, što ukazuje da ulaze u domenu zelene boje. Neekstrudirani uzorak krupice *Specijal* imao je najvišu vrijednost parametra b* (44,70 ± 0,17), a b* vrijednosti su se smanjile dodatkom posija kod obiju krupica. Ekstruzija je uzrokovala povećanje parametra b* kod smjese *Specijal* : posije (sa 24,57 ± 0,04 na 27,25 ± 0,04), dok je kod ostalih uzoraka vidljivo smanjenje vrijednosti parametra b*, tako je ekstrudirana smjesa *Resli* : posije = 80 : 20 imala najnižu vrijednost (23,31 ± 0,01). Svi uzorci su imali pozitivne vrijednosti, što znači da spadaju u domenu žute boje. Vrijednosti parametra h° pokazuju ton boje, a kreću se u rasponu od 0° (crvena), preko 90° (žuta), 180° (zelena), 270° (plava) natrag do 0°. Iz rezultata za parametar h° može se zaključiti da oni potvrđuju rezultate za parametre 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.)

Rezultati za sadržaj oštećenog škroba u neekstrudiranim i ekstrudiranim uzorcima prikazani su na **Slici 15**. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da je vrijednost oštećenog škroba za

ekstrudirane uzorke bila znatno veća nego za neekstrudirane, iz čega se može zaključiti da ekstruzija ima značajan utjecaj na oštećenje škroba. Osim toga, može se vidjeti da se dodatkom posija u oba slučaja smanjila oštećenost škroba tijekom ekstrudiranja smjesa u odnosu na ekstruziju krupica bez dodatka posija.

Slika 16 prikazuje indeks apsorpcije vode za neekstrudirane i ekstrudirane uzorke. Dobiveni rezultati prikazuju da je indeks apsorpcije kod ekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal* veći, nego kod ekstrudirane smjese *Specijal* : posije, što znači da se dodatkom posija smanjio indeks apsorpcije vode. Također, iz dobivenih rezultata se može vidjeti da se za razliku od *Specijal* krupice, u slučaju kukuruzne krupice *Resli* i ekstrudirane smjese *Resli* : posije, dodatkom posija u kukuruznu krupicu *Resli* povećao indeks apsorpcije vode. Usporedi li se dobivene rezultate s neekstrudiranim uzorcima, može se vidjeti da se kod svih uzoraka ekstruzijom značajno povećao indeks apsorpcije vode. Kohajdova i sur. (2007.) u svojem istraživanju vezanom za brašno pira naglasili su da veći udio proteina u brašnu rezultira većom apsorpcijom vode. Da se postupkom ekstruzije povećava indeks apsorpcije vode potvrđuju brojna istraživanja (Larrea i sur., 2005.; Jozinović i sur. 2012a.; 2012b.), što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom radu.

Vrijednosti indeksa topljivosti u vodi za neekstrudirane i ekstrudirane uzorke prikazane su na **Slici 17**. Vidljivo je da dodatak posija u neekstrudiranu krupicu kod oba uzorka povećava indeks topljivosti u vodi, a postupak ekstruzije ima značajan utjecaj na povećanje vrijednosti indeksa topljivosti u vodi. 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.

Brabenderovim micro-visco-analyzer-om mjeren je utjecaj ekstruzije i dodatka posija na viskoznost kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te prikazan u **Tablicama 3** i **4**. Na osnovi dobivenih rezultata može se vidjeti da je ekstruzijom i kod kukuruznih krupica bez dodatka posija, kao i kod smjese kukuruznih krupica i posija, došlo do snižavanja vrijednosti *viskoznosti vrha* (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba). Dodatak posija u kukuruznu krupicu rezultirao je snižavanjem viskoznosti vrha i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih smjesa, bez obzira na vrstu krupice.

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 *Specijal* i posija, koja ima i najniže vrijednosti *kidanja* (0,5 ± 0,5 BU). Nakon hlađenja na temperaturu od 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 *Specijal* (389,0 ± 14,0 BU), a najmanju ekstrudirana smjesa kukuruzne krupice *Resli* : posije 80:20 (0,0 ± 0,0 BU).

Utjecaj ekstruzije na reološka svojstva različitih tipova brašna predmet je brojnih istraživanja, budući da se ovako modificirani proizvodi mogu koristiti u proizvodnji širokog spektra pekarskih, keksarskih i mnogih drugih proizvoda.

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 dokazali su da kod neekstrudiranih uzoraka škrob želatinizira na temperaturi oko 67 °C, a da kod ekstrudiranih uzoraka želatinizacija nije zabilježena. Hagenimana i sur. (2006.) u istraživanju na rižinom brašnu utvrdili su da tijekom procesa ekstruzije dolazi do preželatinizacije škroba. Isti zaključak donose i Gupta i sur. (2008.) u svom istraživanju na snack-proizvodima baziranim na rižinom brašnu uz dodatak brašna ječma.

Marconi i sur. (2002.) su u svom istraživanju utvrdili da brašno pira ima znatno manju vrijednost oštećenog škroba u usporedbi s brašnom pira s dodatkom pšeničnog griza.

Na **Slici 18** prikazan je utjecaj ekstruzije i dodatka pšeničnih posija na sadržaj vlakana. Iz rezultata se može vidjeti da nakon provedenog procesa ekstruzije nije došlo do značajne promjene u sadržaju vlakana, ali je dodatkom pšeničnih posija u količini od samo 20% u oba slučaja došlo do značajnog povećana sadržaja vlakana. Na osnovu toga može se zaključiti da dodatkom ovog nusproizvoda mlinske industrije u proizvode tipa *„snack“* kukuruznih proizvoda značajno se poboljšava nutritivna vrijednost ovih proizvoda, ali se i koristi sirovina koja je jeftina i dostupna, što u konačnici doprinosi ekonomskoj isplativosti.

6. ZAKLJUČCI

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

1. Dodatkom pšeničnih posija u kukuruznu krupicu došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera (EO) kod ekstrudata obiju krupica. Kod kukuruzne krupice *Resli*, kao i kod smjese *Resli* : posije došlo je do manje ekspanzije nego kod kukuruzne krupice Specijal i smjese *Specijal* : posije.
2. Rezultati za nasipnu masu ekstrudata u skladu su s rezultatima za ekspanzijski omjer. Ekstrudati s manjom ekspanzijom imali su veću nasipnu masu, odnosno, dodatkom pšeničnih posija povećala se nasipna masa.
3. Dodatkom pšeničnih posija značajno se povećala tvrdoća ekstrudata, a lomljivost se smanjila.
4. Rezultati mjerenja boje su pokazali da je ekstruzija uzrokovala posvjetljenje kod kukuruzne krupice *Specijal*, a potamnjivanje kod kukuruzne krupice *Resli*. Dodatkom pšeničnih posija došlo je do potamnjivanja ekstrudata i jedne i druge krupice.
5. Ekstruzija je uzrokovala oštećenje granula škroba u svim uzorcima, ali je dodatkom pšeničnih posija oštećenje ipak manje.
6. Indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi povećali su se nakon provedenog procesa ekstruzije kod svih uzoraka. Dodatak pšeničnih posija u kukuruznu krupicu *Specijal* i *Resli* rezultirao je povećanjem indeksa apsorpcije vode. Dodatkom posija u neekstrudiranu krupicu kod oba uzorka se povećao indeks topljivosti u vodi.
7. Dodatkom posija i postupkom ekstruzije 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.
8. Dodatkom posija u uzorke kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* značajno se povećao sadržaj vlakana, a sam proces ekstruzije nije imao značajan utjecaj na promjenu sadržaja vlakana.

7. LITERATURA

American Association of Cereal Chemists: *Starch Damage*. AACC 76-31.01

Akdogan H, Tomas RL, Oliveira JC: Rheological properties of rice starch at high moisture contents during twinscrew extrusion. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 30, 488–496, 1997.

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.

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.

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 Mercier C, Linko P, Harper JM (Eds.): *Extrusion cooking* (247–319). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1989.

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

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.

Gelemanović M: Svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom raži. Prehrambeno – tehnološki fakultet, 2013.

Gupta M, Bawa AS, Semwal AD: Effect of barley flour on development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chemistry*, 85(2):115-122, 2008.

Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1):38-46, 2006.

Heiniö RL, Katina K, Wilhelmson A, Myllymäki O, Rajamäki T, Latva-Kala K, Liukkonen KH, Poutanen K: Relationship between sensoryperception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 36: 533–545, 2003.

Heiniö RL, Liukkonen KH, Myllymäki O, Pihlava JM, Adlercreutz H, Heinonen SM, Poutanen K: Quantities of phenolic compounds and their impacts on the perceived flavour attributes of rye grain. *Journal of Cereal Science,* 47:566–575, 2008.

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. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 32: 79-88, 1999.

Internacional Standard Organisation: *Animal feeding stuffs – Determination of crude fibre content – Method with intermediate filtration*. ISO 6865:2000

Jozinović A: Utjecaj ekstruzije na svojstva 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. *Croat. J. Food Sci. Technol.*, 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.

Kohajdová Z, Karovičová J: Efect of incorporation of spelt flour on the dough properties and wheat bread quality. *Nauka, Technologia, Jakość*, 36 – 45, 2007.

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

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

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

Li S, Zhang HQ, Jin ZT, Hsieh F: Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. *International Journal of Food Science and Technology,* 40: 731–741, 2005.

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

Marconi E, Carcea M, Schiavone M, Cubadda R: Spelt (*Triticum spelta* L.) Pasta Quality: Combined Effect of Flour Properties and Drying Conditions. *Cereal Chem*. 79(5):634–639, 2002.

Moscicki L: *Extrusion - Cooking Techniques*: Applications, Theory and Sustainability. WILEY-VCH Verlag & Co. KgaA, Boschstr. 12, Weinheim, Germany, 2011.

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.

Petrović I: Izoliranje i karakteriziranje škroba iz različitih sorti raži. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2008.

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.

Robin F, Dattinger S, Boire A, Forny L, Horvat M, Schuchmann HP, Palzer S: Elastic properties of extruded starchy melts containing wheat bran using on-line rheology and dynamic mechanical thermal analysis. *Journal of Food Engineering*, 109: 414-423, 2012.

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

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: Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija prerade sirovina biljnog podrijetla". Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011a.

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, 2011b.

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 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.