

# Utjecaj dodatka zobí na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice

---

**Tanasković, Ivana**

**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:109:827773>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

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



image not found or type unknown

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

**Ivana Tanasković**

**UTJECAJ DODATKA ZOBİ NA SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH  
PROIZVODA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE**

**DIPLOMSKI RAD**

**Osijek, ožujak, 2014.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

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

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

### UTJECAJ DODATKA ZOBİ NA SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH PROIZVODA NA BAZI KUKURUZNE KRUPICE

Ivana Tanasković, 124/DI

#### Sažetak:

Ekstruzija je jedan od najznačajnijih procesa u prehrambenoj industriji gdje se vrlo često kao osnovna sirovina koristi kukuruzna krupica. Zbog poboljšanja fizikalno-kemijskih svojstava i nutritivne vrijednosti, u kukuruznu krupicu se mogu dodavati brašna različitih žitarica.

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj dodatka zobu na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice (omjeri kukuruzna krupica *Specijal* : zob = 80 : 20 i kukuruzna krupica *Resli* : zob = 80 : 20). Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva u odnosu na neekstrudirane uzorke.

Istraživanjem je utvrđeno da je dodatkom zobu došlo do smanjenja ekspanzijskog omjera i povećanja nasipne mase, kao i povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti ekstrudata. Ekstruzija je uzrokovala posvjetljenje kod kukuruzne krupice *Specijal*, a potamnijvanje kod kukuruzne krupice *Resli*. Dodatkom zobu došlo je do potamnijvanja uzoraka obje vrste kukuruznih krupica te smanjenja zasićenosti boje. Ekstruzijom se povećao indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI), te je došlo do značajnog oštećenja škroba kod svih uzoraka, s time što je dodatkom zobu u oba slučaja smanjena oštećenost škroba. Postupkom ekstruzije i dodatkom zobu došlo je do smanjenja viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C kod svih uzoraka te su ekstrudirani uzorci bili manje skloni retrogradaciji.

**Ključne riječi:** ekstruzija, kukuruzna krupica, zob

**Rad sadrži:** 50 stranica  
20 slika  
7 tablica  
0 priloga  
63 literaturne reference

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za obranu:

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| 1. prof. dr. sc. Drago Šubarić       | predsjednik   |
| 2. doc. dr. sc. Đurđica Ačkar        | član-mentor   |
| 3. izv. prof. dr. sc. Jurislav Babić | član          |
| 4. izv. prof. dr. sc. Mirela Kopjar  | zamjena člana |

**Datum obrane:** 18. ožujka 2014.

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

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

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

**Scientific area:** Biotechnical sciences

**Scientific field:** Food technology

**Course title:** Technology of carbohydrates and confectionary products

**Thesis subject** was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. IX. held on June 20th, 2013.

**Mentor:** Đurđica Ačkar, PhD, assistant prof.

**Technical assistance:**

### INFLUENCE OF OAT FLOUR ADDITION ON PROPERTIES OF EXTRUDED PRODUCTS BASED ON CORN GRITS

Ivana Tanasković, 124/DI

#### Summary:

Extrusion is one of the most significant processes in food industry, where corn grits is often used as main raw material. In order to increase nutritive value and improve physical and chemical properties, flours of different grains are added to corn grits.

The aim of this research was to determine the influence of oat flour addition on properties of extruded products based on corn grits (ratio corn grits *Specijal* : oat = 80 : 20 and corn grits *Resli* : oat = 80 : 20). The physical, thermophysical and rheological properties of extrudates were compared to non-extruded samples.

Results showed that addition of oat resulted in decrease of the expansion ratio and fracturability of extrudate and increase of bulk density and hardness. Extrusion resulted in increase of brightness of corn grits *Specijal*, and decrease of brightness of corn grits *Resli*. The mixing of oat with corn grits resulted in decrease of brightness of both *Specijal* and *Resli* samples and reduction of color saturation. Extrusion also resulted in the increase of water absorption (WAI) and water solubility index (WSI), as well as the significant starch damage in all samples. In both cases addition of oat resulted in reduced starch damage. Peak viscosity, viscosities at 92 °C and at 50 °C were decreased after extrusion and with addition of oat in all samples and all extruded samples were less prone to retrogradation.

**Key words:** extrusion, corn grits, oat

**Thesis contains:** 50 pages  
20 figures  
7 tables  
0 supplements  
63 references

**Original in:** Croatian

#### Defense committee:

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

**Defense date:** March 18th, 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 mentorici doc. dr. sc. Đurđici Ačkar, prof. dr. sc. Dragi Šubariću, izv. prof. dr. sc. Jurislavu Babiću te mag. ing. techn. aliment. Antunu Jozinoviću na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovoga rada.*

*Od srca zahvaljujem majci, sestri, baki i prijateljicama koje su me uvijek podržavale, poticale, molile za mene te bile uz mene u svim sretnim i tužnim trenucima moga života.*

*Ovaj rad i diplomu posvećujem majci Katici koja mi je, poslije očeve smrti, bila majka i otac, a prije svega najbolja prijateljica.*

## Sadržaj

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD</b>                                                                      | <b>1</b>  |
| <b>2. TEORIJSKI DIO</b>                                                             | <b>3</b>  |
| 2.1. EKSTRUZIJA                                                                     | 4         |
| 2.1.1. Povijest ekstruzije                                                          | 5         |
| 2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji                                         | 5         |
| 2.2. PODJELA EKSTRUDERA                                                             | 6         |
| 2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada                       | 7         |
| 2.2.2. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja                                   | 7         |
| 2.2.3. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka                              | 8         |
| 2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA                                                        | 11        |
| 2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE KOJE SE ODVIJAJU TIJEKOM EKSTRUZIJE             | 14        |
| 2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA                                | 19        |
| 2.5.1. Kukuruz ( <i>Zea mays</i> )                                                  | 19        |
| 2.5.2. Zob ( <i>Avena sativa</i> )                                                  | 21        |
| <b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b>                                                       | <b>24</b> |
| 3.1. ZADATAK                                                                        | 25        |
| 3.2. MATERIJALI I METODE                                                            | 25        |
| 3.2.1. Materijali                                                                   | 25        |
| 3.2.2. Metode                                                                       | 25        |
| 3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s brašnom zobi ( <i>Avena sativa</i> ) | 25        |
| 3.2.2.2. Određivanje dijametra ekstrudata ( $d_e$ ) i ekspanzijskog omjera (EO)     | 26        |
| 3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata                                        | 26        |
| 3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata                                            | 26        |
| 3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom                                               | 27        |
| 3.2.2.6. Određivanje stupnja oštećenosti škroba (AACC 76-31.01)                     | 27        |
| 3.2.2.7. Određivanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI)    | 28        |
| 3.2.2.8. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom                   | 29        |
| <b>4. REZULTATI</b>                                                                 | <b>31</b> |
| <b>5. RASPRAVA</b>                                                                  | <b>38</b> |
| <b>6. ZAKLJUČCI</b>                                                                 | <b>44</b> |
| <b>7. LITERATURA</b>                                                                | <b>46</b> |



## **1. UVOD**



Ekstruzija (ekstruzijsko kuhanje) je proces u kojem se materijal prisiljava na gibanje, uz istovremeno miješanje i/ili zagrijavanje/hlađenje, kroz suženi otvor kako bi se proizvod oblikovao i/ili ekspandirao uz sušenje. Predstavlja jedan od najznačajnijih procesa u proizvodnji hrane zbog energetske učinkovitosti, višestruke primjene i činjenice da može zamijeniti dva ili više tradicionalnih procesa. Može se koristiti za proizvodnju/preradu različitih sirovina, polu- i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda (tjestenina, mesne prerađevine, konditorski proizvodi, snack proizvodi, cerealije, hrana za kućne ljubimce, proizvodnja kablova te proizvoda od plastike).

Najčešće se primjenjuje na sirovinama bogatim škrobom, proteinima te s nižim sadržajem vlage, a u tijeku su istraživanja usmjerena i na sirovine s višim sadržajem vlage. Ovim postupkom povećava se probavljivost hrane i smanjuje broj mikroorganizama, a ekstrudati mogu biti pjenasti ili u obliku peleta.

Tijekom godina, potrošači su razvili veliko zanimanje za sastav hrane te za njezin utjecaj na zdravlje. Ekstruzijom dolazi do jedinstvenih fizikalno-kemijskih i kemijskih promjena upravo zbog kompleksnog i promjenjivog sastava hrane.

Žitarice kao što su kukuruz, zob, pšenica, riža, ječam, tapioka i raž predstavljaju najznačajnije i najzastupljenije sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Na odabir sirovina utječu nutritivna vrijednost, cijena i dostupnost sirovina, a na kakvoću sirovina značajno utječu skladištenje, priprema te dobra proizvođačka praksa.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka zobi u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. EKSTRUZIJA

Ekstruzija ili ekstruzijsko kuhanje je jedan od najznačajnijih jediničnih procesa u proizvodnji hrane zbog svoje višestruke primjene i energetske učinkovitosti, a može zamijeniti dva ili više tradicionalnih procesa (Lovrić, 2003.).

Ekstruzija je proces u kojem se materijal prisiljava na gibanje, uz istovremeno miješanje i/ili zagrijavanje/hlađenje, kroz suženi otvor kako bi se proizvod oblikovao i/ili ekspandirao uz sušenje. Materijal koji se ekstrudira mora biti djelomično ili potpuno u obliku fluida kako ne bi došlo do blokiranja otvora prilikom izlaska materijala pri određenom tlaku (Babić, 2011.).

Ekstruzija uključuje jedan ili više procesa, a to su:

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

Ekstruzija se može primijeniti za proizvodnju/prerađu različitih sirovina, polu- i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda kao što su:

- tjestenina,
- mesne prerađevine,
- konditorski proizvodi,
- snack proizvodi,
- cerealijske,
- hrana za kućne ljubimce,
- proizvodi od plastike,
- proizvodnja kablova,... (Babić, 2011.).

Općenito, ekstruzijom se povećava probavljivost hrane i smanjuje broj mikroorganizama, a proizvodi mogu biti pjenasti i u obliku peleta (Pozderović, 2009.).

### **2.1.1. Povijest ekstruzije**

Prva upotreba ekstrudera spominje se davne 1619. godine kada je John Etherington osmislio i izradio prvi ručni klipni ekstruder čija je zadaća bila proizvodnja cigli. Godine 1623. patent je zaštićen, ali nije stekao veliku popularnost. Godine 1797. Joseph Bramah patentirao je klipni ekstruder za izradu cijevi te se slična oprema vrlo brzo počela koristiti za izradu pločica, sapuna te makarona što ujedno predstavlja prvu primjenu ekstruzije u prehrambenoj industriji (Bender i sur., 2009.).

Fellows i Bates 1869. godine razvijaju prvi kontinuirani dvopužni ekstruder koji se koristio u proizvodnji kobasica, 1873. godine tvrtka Phoenix Gummiwerke proizvodi jednopužni ekstruder za procesiranje gume, a 1930. počinje primjena kontinuiranih jednopužnih ekstrudera u proizvodnji plastike, tjestenine i cerealija. Godine 1950. postupak ekstruzije našao je svoju primjenu i u proizvodnji hrane za kućne ljubimce. Tijekom godina dolazi do daljnjeg razvoja i usavršavanja uređaja i procesa, a primjenom HTST ekstruzije omogućen je veliki napredak primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji (Riaz, 2000.).

### **2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji**

Razlikujemo tri osnovna postupka kod tehnološke primjene ekstruzije na prehrambene proizvode:

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

Suvremeni ekstruderi mogu se smatrati HTST uređajima koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode zbog razvoja početnih funkcija miješanja, oblikovanja te zbog uvođenja novih jediničnih operacija poput kuhanja i teksturiranja. Ovaj postupak najčešće se primjenjuje na sirovinama bogatim škrobom ili proteinima te sa nižim sadržajem vode, a u tijeku su istraživanja usmjerena i na sirovine s višim sadržajem vode (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:  $\geq 100 \text{ s}^{-1}$ , broj okretaja puža 50 – 1000  $\text{min}^{-1}$ ,
- niska vlažnost: 10 – 30%,
- veliki unos energije: 0,3 – 2  $\text{MJkg}^{-1}$ ,
- veliki kapacitet: do 10  $\text{Th}^{-1}$  (Lovrić, 2003.).

### Prednosti ekstruzije

U usporedbi s klasičnim postupcima obrade hrane, primjena ekstruzije ima brojne prednosti:

- prilagodljivost – proizvodnja širokog spektra različitih proizvoda jednostavnom promjenom uvjeta procesa ili sastojaka,
- jednostavno postizanje različitih svojstava proizvoda (oblici, tekstura, boja,...),
- visoko iskorištenje energije – uporaba sirovina s relativno niskom vlažnosti te je, samim time, potrebno manje energije za sušenje,
- mali gubici energije i niski operativni troškovi u usporedbi s drugim procesima termičke obrade i oblikovanja,
- visoka kvaliteta proizvoda – pripada HTST postupcima (high temperature/short time) što smanjuje degradaciju nutrijenata uz povećanje probavljivosti proteina i škrobova te dolazi do smanjenja broja mikroorganizama,
- razvoj novih proizvoda – mogu se modificirati proteini, škrobovi i druge komponente prehrambenih proizvoda,
- visoka produktivnost i kontinuiranost procesa,
- brza kontrola kvalitete,
- mala količina otpada (nusproizvoda) – manji su gubici i zagađenje okoliša,
- dobra korelacija pilot postrojenja s procesnim postrojenjima (Riaz, 2000.).

## 2.2. PODJELA EKSTRUDERA

U tehnologiji prehrambenih proizvoda, ekstruderi se dijele s obzirom na:

- termodinamičke uvjete rada,
- način stvaranja tlaka u uređaju,
- veličinu smicanja (Lovrić, 2003.).

### 2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

S obzirom na termodinamičke uvjete rada razlikuju se:

- a) **Autogeni (adijabatski) ekstruderi** – ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. Kod njih se toplina razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala u uređaju te se u pravilu ne dovodi niti se odvodi toplina, a potrebna je niska vlažnost sirovina.
- b) **Izotermni ekstruderi** – ekstruderi u kojima se određena konstantna temperatura održava hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplotu.
- c) **Politropski ekstruderi** – ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta te se većinom, u prehrambenoj industriji, koristi upravo ovaj tip ekstrudera (Lovrić, 2003.).

### 2.2.2. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

S obzirom na veličinu smicanja razlikuju se:

- a) **Ekstruderi hladnog oblikovanja** – ekstruderi koje karakteriziraju glatko kućište, mala smicanja, male brzine okretaja puža te puževi s dubokim navojima, a koriste se za oblikovanje tijesta, kekisa, mesnih proizvoda te određenih konditorskih proizvoda.
- b) **Puževi za postizanje visokih tlakova** – za ove ekstrudere je tipično da se ne provodi ekspanzija na izlazu iz ekstrudera, a toplina se dovodi izvana. Kućište je užljebljeno kako bi se poboljšalo miješanje, a koristi se za proizvodnju proizvoda mekane konzistencije s povišenim udjelom vlage. Također, sirovine se prije unošenja u ekstruder pripremaju miješanjem do konzistencije tijesta.
- c) **Visokosmični (Collet) ekstruderi** – ovaj tip ekstrudera karakterizira kućište sa žljebovima te puževi s plitkom navojima. Temperatura sirovina (sirovine s relativno niskim udjelom vlage – oko 12%) brzo dosegnu temperaturu iznad 175 °C pri čemu dolazi do dekstrinizacije i djelomične želatinizacije škroba. Na izlazu dolazi do sušenja i ekspanzije proizvoda što rezultira hrskavom i poroznom strukturom, a koristi se za proizvodnju ekspandiranih snack proizvoda (Riaz, 2000.).

### 2.2.3. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

S obzirom na način stvaranja tlaka razlikuju se:

- a) **Ekstruderi viskozno-vlačnog toka (indirektnog tipa)** – ekstruderi u kojima se materijal tijekom gibanja ponaša kao ne-newtonski fluid što bitno utječe na promjenu svojstava ishodišnog materijala i definiranje svojstava gotovog proizvoda, a ovaj tip ekstrudera najviše se primjenjuje u konditorskoj industriji.
- b) **Ekstruderi pozitivnog tlaka (direktnog tipa)** – stvaraju pozitivan tlak, a mogu biti:
  - klipni ekstruderi,
  - pužni (vijačni) ekstruderi.

#### Klipni ekstruder

Klipni ekstruder je najjednostavniji tip ekstrudera koji se sastoji od klipa i cilindra. Klip tlači materijal kroz cilindar, pri čemu ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata su gotovo nepromijenjena u odnosu na ishodišni materijal. Ovaj tip ekstrudera primjenjuje se za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženog kukuruznog čipsa (Pozderović, 2009.).

#### Pužni (vijačni) ekstruder

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

S obzirom na tehničku izvedbu, pužni (vijačni) ekstruderi se dijele na:

- jednopužne,
- dvopužne (Lovrić, 2003.).

Danas su u upotrebi ekstruderi širokog raspona značajki, jednopužni i dvopužni, različitih konstrukcija te prilagođeni specifičnim zahtjevima pojedinih procesa. Jednopužni ekstruderi su pogodni za postizanje visokog tlaka, ovisno o dužini pužnice, dubini žljebova, konstrukciji puža (vijka) i viskoznosti materijala.

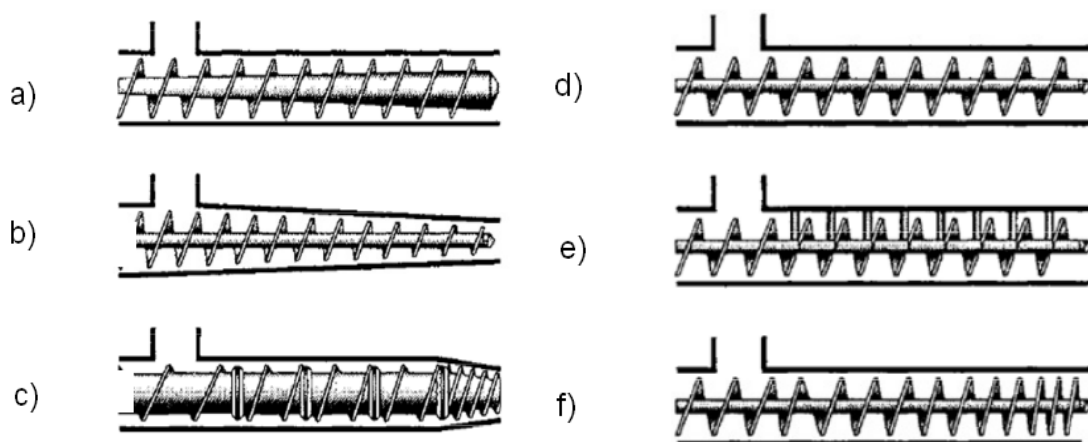
Osnovna razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta. Kod jednopužnih ekstrudera transport materijala vrši se zbog razlike sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Kod dvopužnih ekstrudera s uzajamno

zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. U tom slučaju je trenje od manjeg značenja, iako i geometrija pužnice ima određeni utjecaj (Lovrić, 2003.).

### Jednopusni ekstruderi

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

- konstantan promjer kućišta, povećanje promjera puža,
- konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža,
- varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža,
- konstantan promjer kućišta i geometrija puža,
- konstantan promjer kućišta s graničnicima te konstantna geometrija puža,
- konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Babić, 2011.).



**Slika 1** Tipovi puža i kućišta kod jednopusnih ekstrudera (Rokey, 2000.)

### Dvopusni ekstruderi

U odnosu na jednopusne, dvopusni ekstruderi imaju niz prednosti:

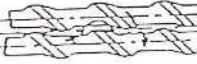
- jednostavnije je održavanje,
- manje je izraženo pulsiranje materijala na izlazu,
- moguće je procesiranje vrlo viskoznih, ljepljivih i vlažnih materijala koje sadrže relativno visoku količinu ulja,
- s obzirom na veličinu čestica, moguće je procesirati širok raspon materijala,
- vrlo lagano čišćenje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

Dvopusni ekstruderi se, s obzirom na smjer kretanja pužnice, dijele u dvije kategorije:

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



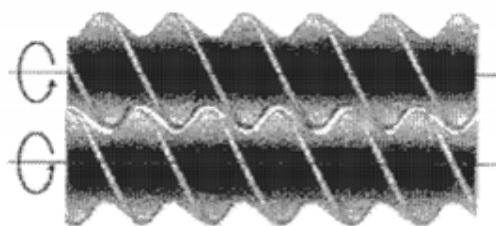
Također, navoji pužnice mogu se djelomično, potpuno ili uopće ne zahvaćati (**Slika 2**), a koriste se različite geometrije pužnice (Riaz, 2000.).

|              |                         | SUSTAV                                | ROTACIJA U SUPROTNOM SMJERU                                                          | ROTACIJA U ISTOM SMJERU                                                               |
|--------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ISPREPLETENI | POTPUNO ISPREPLETENI    | UZDUŽNO I POPREČNO ZATVORENI          |    | TEORIJSKI NEMOGUĆE                                                                    |
|              |                         | UZDUŽNO OTVORENI / POPREČNO ZATVORENI | TEORIJSKI NEMOGUĆE                                                                   |    |
|              |                         | UZDUŽNO I POPREČNO OTVORENI           | TEORIJSKI MOGUĆE, ALI U PRAKSI NEIZVEDIVO                                            |    |
|              | DJELOMIČNO ISPREPLETENI | UZDUŽNO OTVORENI / POPREČNO ZATVORENI |    | TEORIJSKI NEMOGUĆE                                                                    |
|              |                         | UZDUŽNO I POPREČNO OTVORENI           |    |    |
|              |                         |                                       |   |   |
| RAZDVOJENI   |                         | UZDUŽNO I POPREČNO OTVORENI           |  |  |

**Slika 2** Podjela dvopužnih ekstrudera (Pozderović, 2009.)

### Ekstruderi s istosmjernim okretajima pužnice

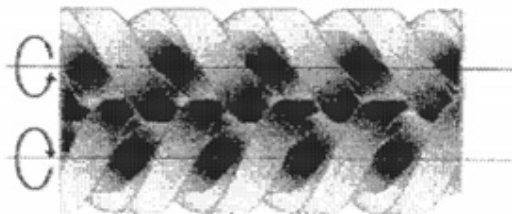
Ovaj tip se vrlo često koristi u prehrambenoj industriji, a naročito u proizvodnji snack proizvoda. Karakterizira ga visok stupanj prijenosa topline, ujednačena kvaliteta proizvoda te visok učinak potiskivanja materijala (**Slika 3**) (Riaz, 2000.).



**Slika 3** Dvopužni ekstruder s istosmjernim okretajem pužnice (Huber, 2000.)

### Ekstruderi sa suprotnim smjerom okretaja pužnice

Ovaj tip ekstrudera nema široku primjenu u prehrambenoj industriji, a odlični su za transport materijala te za procesiranje relativno neviskoznih materijala koji ne zahtijevaju veliku brzinu. Koriste se u proizvodnji žele i gumenih bombona (**Slika 4**) (Riaz, 2000.).

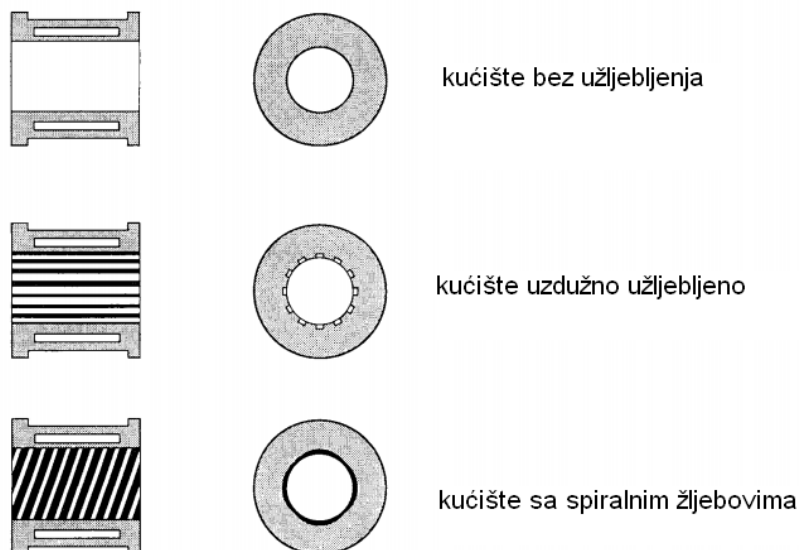


**Slika 4** Dvopužni ekstruder sa suprotnim smjerom okretaja pužnice (Huber, 2000.)

## 2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Ekstruder se sastoji od elektromotora, reduktora za reguliranje brzine, prijenosnika, puža (jednog ili dva), kućišta, glave ekstrudera, sapnice i rezalice (Babić, 2011.). Najvažniji radni element ekstrudera je puž, a njegova dužina označava se s obzirom na promjer (npr. 10 D – puž je 10 puta duži od svog promjera). Također, ekstruder sadrži uređaj za hlađenje i grijanje, uređaje za reguliranje i kontrolu temperature te uređaj za naknadno doziranje sastojaka (Jukić i sur., 2013.).

Unutrašnja površina kućišta ekstrudera može biti glatka ili ožljebljena (**Slika 5**). Ožljebljena površina koristi se kako bi se smanjilo proklizavanje materijala do kojeg dolazi kada smično naprezanje postane veće od adhezije materijala uz stijenke kućišta.



**Slika 5** Tipične konfiguracije kućišta (Rokey, 2000.)

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

- viskoznosti materijala,
- obliku i promjeru sapnice,
- razlici tlaka (Pozderović, 2009.).

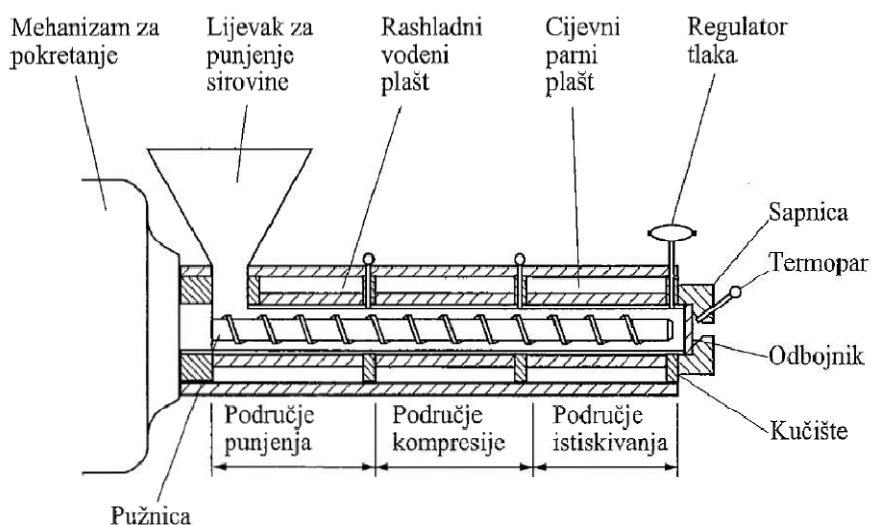
Kao što je vidljivo iz **Slike 6**, ekstruderi se sastoje od nekoliko osnovnih zona:

- zone uvlačenja (napajanja),
- zone kompresije (prijelaza),
- zone istiskivanja i oblikovanja (Lovrić, 2003.).

Zadaća zone uvlačenja (napajanja) je da prihvati materijal te ga transportira do zone kompresije. Uređaj za doziranje osigurava jednolično i konstantno doziranje materijala te se smatra važnim dijelom procesa ekstruzije. Obično se sastoji od puža koji transportira materijal, a podešavanjem broja okretaja doziraju se manje/veće količine sirovina (Babić, 2011.).

U zoni kompresije provodi se kompresija materijala te se mehanička energija pretvara u toplinu što uzrokuje porast temperature i plastificiranje materijala koji je u početku bio praškast ili u vidu granula. U ovoj zoni dolazi do kuhanja, geliranja i sterilizacije.

Zadaća zone istiskivanja i oblikovanja je prihvati stlačenog materijala, njegova homogenizacija te potiskivanje kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog intenzivnog miješanja, odnosno sile smicanja i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz kućište (Pozderović, 2009.).



**Slika 6** Presjek jednupužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003.)

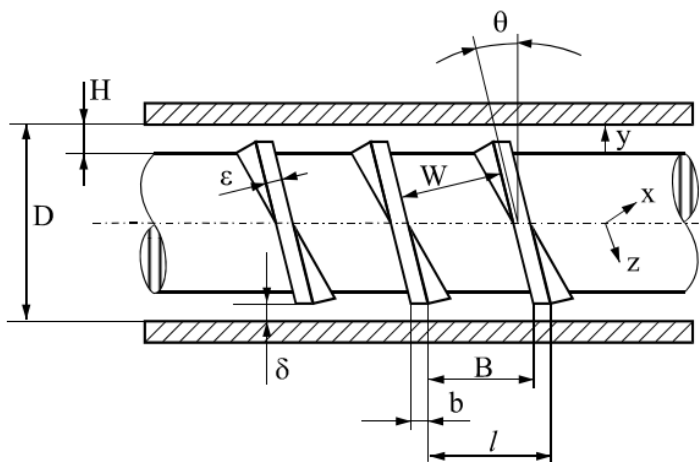
Na sam tok ekstruzije i kvalitetu gotovog proizvoda veliki utjecaj imaju fizikalno-tehnološka svojstva, kao što su prijenos topline, prijenos mase, prijenos impulsa sile te vrijeme zadržavanja i njegova raspodjela u pojedinim zonama ekstrudera (Mošćicki i sur., 2011.).

Maksimalan tlak postiže se pri kraju puža pri čemu kod izlaska materijala iz sapnice tlak pada na atmosferski. Kod ekstrudera gdje se postižu visoki tlakovi i temperature, prilikom prolaska stlačenog materijala kroz sapnicu na atmosferski tlak, dolazi do naglog ekspaniranja i ekspanzijskog sušenja (Pozderović, 2009.).

## Karakteristike ekstrudera

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

Na **Slici 7** prikazani su neki osnovni geometrijski parametri koji definiraju značajke rada pužnog ekstrudera: kut rebara ( $\theta$ ), debljina rebara ( $b$ ,  $\epsilon$ ), promjer pužnog vijka ( $D$ ), razmak između rebara ( $B$ ,  $l$ ), razmak između osovine i kućišta ( $H$ ), razmak između pužnice i kućišta ( $\delta$ ) te širina navoja ( $W$ ). Sve to definira tzv. omjer kompresije koji se obično kreće u rasponu od 1:1 do 5:1 (Lovrić, 2003.).



**Slika 7** Parametri karakteristični za geometrijsku konfiguraciju pužnog ekstrudera (Lovrić, 2003.)

## 2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE KOJE SE ODVIJAJU TIJEKOM EKSTRUZIJE

Tijekom godina, potrošači su razvili veliko zanimanje za sastav hrane te za njezin utjecaj na zdravlje. Tijekom ekstruzije, unutar kućišta dolazi do jedinstvenih fizikalno-kemijskih i kemijskih promjena upravo zbog kompleksnog i promjenjivog sastava hrane. Generalno gledajući, tijekom ekstruzije dolazi do pet glavnih fizikalno-kemijskih i kemijskih promjena koje su prikazane u **Tablici 1**.

**Tablica 1** Osnovne promjene do kojih dolazi tijekom procesa ekstruzije (Camire, 2000.)

|                                                            |                                                             |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Osnovne promjene do kojih dolazi tijekom proces ekstruzije | Cijepanje molekula                                          |
|                                                            | Gubitak prirodne konfiguracije (strukture)                  |
|                                                            | Rekombinacija fragmenata i njihovo povezivanje              |
|                                                            | Termička degradacija                                        |
|                                                            | Izdvajanje ulja, isparavanje vode i lakohlapivih komponenti |

Sastav sirovina se tijekom procesa mijenja te dolazi do gubitka vlage, hlapivih komponenti i ulja. Budući da se većina kemijskih reakcija odvija u području istiskivanja materijala kroz sapnicu, termolabilne komponente kao što su arome i vitamini mogu se injektirati u tom području kako bi se smanjio utjecaj topline i smicanja. Ekstruzija, a samim time i promjene koje se odvijaju tijekom procesa ovise o više čimbenika koji su dani u **Tablici 2**.

**Tablica 2** Čimbenici koji utječu na promjene tijekom ekstruzije (Camire, 2000.)

| Čimbenici koji utječu na promjene tijekom ekstruzije |                               |
|------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Primarni čimbenici                                   | Sekundarni čimbenici          |
| Temperatura kućišta                                  | Temperatura mase              |
| Geometrija kućišta                                   | Tlak                          |
| Tip ekstrudera                                       | Specifična mehanička energija |
| Konfiguracija puža                                   |                               |
| Brzina okretanja puža                                |                               |
| Vlažnost materijala                                  |                               |
| Sastav materijala                                    |                               |
| Brzina doziranja materijala                          |                               |

Navedeni primarni čimbenici utječu i određuju sekundarne čimbenike: specifičnu mehaničku energiju, temperaturu mase i tlak. Svi navedeni čimbenici utječu na viskoznost mase, vrijeme

zadržavanja mase u ekstruderu te na energiju smicanja primjenjenu na masu koja se ekstrudira.

Također, na kemijske reakcije koje se odvijaju utječe i tip ekstrudera koji se koristi. Ekstruderi većeg kapaciteta imaju duže kućište te je samim time i vrijeme zadržavanja mase unutar ekstrudera duže nego kod ekstrudera manjeg kapaciteta. Ekstruderi manjeg kapaciteta zahtijevaju znatno manje količine mase zbog kraćeg kućišta, što je ujedno i njihova prednost zbog mogućnosti korištenja za brojna istraživanja i dobivanja preliminarnih rezultata (Camire, 2000.)

## Škrob

Osnovna razlika između ekstrudiranja i drugih postupka obrade hrane je u tome što se kod ekstrudiranja želatinizacija odvija pri znatno nižim udjelima vlage (12 do 22%). Masti, dijetetska vlakna, saharoza i sol mogu utjecati na želatinizaciju škroba, ekspanziju i druga fizikalna svojstva. Također, istraživanja su pokazala da termički stabilni enzimi koji se dodaju prije ekstruzije povećavaju brzinu razgradnje polimera škroba (Camire, 2000.).

Vrlo važna posljedica povećane razgradnje škroba je smanjena ekspanzija. Na ekspanziju škrobnih namirnica utječu brojni faktori: na njeno povišenje utječu viša temperatura, konfiguracija puža i kućišta te viši udio amiloze; a na njeno smanjenje viši udio vlage, dijetetskih vlakana, proteina i masti (Camire, 2000.).

Probavljivost škroba ovisi o što potpunijoj želatinizaciji, a visoko probavljivi škrob ključan je za proizvodnju dječje i funkcionalne hrane. Također, ekstruzijom se mogu dobiti modificirani i rezistentni škrobovi gdje se postižu rezultati povećanja rezistentnosti do 30%, a dodavanjem limunske kiseline ili visokoamiloznog kukuruznog škroba prije same ekstruzije povećavaju se rezistentnost škroba i svojstva vlakana koja također utječu na probavljivost škroba (Camire, 2000.).

## Vlakna

Glavne komponente vlakana, polisaharidi i lignin, ponašaju se različito tijekom ekstruzije. Stupanj degradacije vlakana ovisi najviše o visini smičnog naprezanja. Brojna istraživanja pokazala su kontradiktorne rezultate. Tako su Björck i Asp (1984.) svojim istraživanjem otkrili da se ekstruzijom količina vlakana topivih u vodi kod pšenice dvostruko povećala. S druge strane, Varo i sur. (1984.) su različitim analitičkim metodama ispitali ekstrudirane cerealije te uočili da nema statistički značajnih promjena u količini vlakana u odnosu na početni materijal prije ekstruzije (Mościcki i sur., 2011.).

## Proteini

Tijekom ekstruzije kod proteina dolazi do nekoliko promjena, a naznačajnija je denaturacija. Ukoliko nisu stabilni na povišenu temperaturu i mehaničko djelovanje, većina enzima gubi svoju aktivnost (Camire, 2000.).

Umjerenim temperaturama ekstruzije postiže se poboljšanje nutritivne vrijednosti i probavljivosti proteina, a ekstrudiranje pri višim temperaturama ima suprotno djelovanje (Mościcki i sur., 2011.). Također, proteini su vrlo bitni jer tijekom ekstruzije dolazi do Maillardovih reakcija gdje slobodni šećeri reagiraju sa slobodnom terminalnom amino skupinom aminokiselina pri čemu dolazi do nastanka tamno obojanih melanoidina koji utječu na boju proizvoda (Camire, 2000.). Ovim reakcijama dolazi do gubitka aminokiselina, a istraživanjima je utvrđeno da su najveći gubici zapaženi kod lizina (Lys), histidina (His), fenilalanina (Phe), treonina (Thr) i triptofana (Trp) (Mościcki i sur., 2011.).

Na formiranje Maillardovih produkata utjecaj imaju:

- rotacija puža – povećanje okretaja puža ( $\text{min}^{-1}$ ) dovodi do povećanja temperature unutar kućišta,
- sadržaj vlage u materijalu – odabirom materijala pogodnog sadržaja vlage smanjuje se nastanak Maillardovih produkata i gubitak aminokiselina,
- temperatura – koju je poželjno održavati što nižom (Mościcki i sur., 2011.).

## Lipidi

Namirnice s visokim udjelom lipida se ne ekstrudiraju jer udio lipida preko 5 do 6% narušava rad ekstrudera. U takvim situacijama, zakretni moment se smanjuje jer povišen udio lipida dovodi do proklizavanja unutar kućišta te je, vrlo često, ekspanzija krajnjeg proizvoda smanjena uslijed nedovoljno razvijenog tlaka tijekom procesa. Generalno, sadržaj lipida tijekom ekstruzije se smanjuje. Dio lipida može se izgubiti prilikom prolaska kroz sapnicu gdje se odvaja kao ulje (ova situacija karakteristična je za materijale s visokim udjelom lipida, kao što je soja), a druga mogućnost je stvaranje kompleksa s amilozom ili proteinima (Camire, 2000.).

Slobodne masne kiseline predstavljaju problem jer su podložnije oksidaciji od triglicerida i negativno utječu na senzorske karakteristike gotovog proizvoda. Iako vrlo rijetko, prilikom ekstruzije može doći do hidrolize triglicerida na glicerol i masne kiseline. Oksidacija lipida može brzo smanjiti senzorsku i nutritivnu kvalitetu materijala i gotovog proizvoda. Sama oksidacija vjerojatno nema značajniju ulogu tijekom procesa zbog kratkog vremena zadržavanja, ali užeglost predstavlja veliku opasnost tijekom skladištenja gotovog proizvoda. Faktori koji utječu na povećanje oksidacije su istrošenost (habanje) puževa, ekspanzija

proizvoda te nizak aktivitet vode, a na njeno smanjenje utječu inaktivacija enzima, formiranje antioksidanasa putem Maillardovih reakcija te stvaranje lipid-amiloza kompleksa (Camire, 2000.).

## Vitamini

Vitamine čine različite grupe organskih tvari koje predstavljaju nutritivno esencijalne mikronutrijente (Kopjar, 2013.). Zastupljenost, vrsta i stabilnost vitamina prilikom ekstruzije značajno varira, a uvjeti ekstruzije imaju značajan utjecaj na njihovu stabilnost (Brennan i sur., 2011.). S obzirom da ekstruzija najčešće podrazumijeva primjenu temperatura od 100 °C ili više, očekivan je određeni gubitak vitamina, naročito vitamina topivih u vodi kao što je askorbinska kiselina (vitamin C). Brojna istraživanja su potvrdila gubitak vitamina, ali s obzirom da ekstruzija pripada HTST postupcima, u usporedbi s drugim postupcima kao što je klasično kuhanje, gubitak vitamina je kod ovog procesa manji (Mościcki i sur., 2011.).

Vitamini topivi u mastima, kao što su vitamini D i K su prilično stabilni pri povišenim temperaturama, no ne koriste se često u ekstrudiranoj hrani za ljudsku uporabu. Vitamini A, E i njihove srodne komponente, karotenoidi i tokoferoli nisu stabilni u prisutnosti topline i kisika. Vitamin A, prekursor  $\beta$ -karotena se dodaje hrani kao antioksidans i bojilo, a toplina je glavni faktor koji utječe na smanjenje njegovog udjela tijekom procesa (Camire, 2000.). Provedena su istraživanja gdje je uočen značajan gubitak vitamina E, izraženog kao sadržaj tokoferola i tokotrienola, čiji se udio smanjio za 63 do 94%, što je pak ovisilo o primijenjenim procesnim uvjetima (Brennan i sur., 2011.).

## Minerali

Minerali predstavljaju 0,2 do 0,3% ukupnog unosa svih nutrijenata prehranom te su vrlo bitni za normalno funkcioniranje organizma i održavanje normalnog metabolizma stanica i funkcija tkiva (Kopjar, 2013.). Unatoč njihovoj važnosti za zdravlje, stabilnost minerala tijekom ekstruzije je slabije istražena zbog njihove stabilnosti u drugim procesima prerade hrane. Provedena istaživanja bila su fokusirana na povezivanje minerala s vlaknima i drugim makromolekulama te obogaćivanje mineralima. Namirnice s višim udjelom vlakana povećavaju prijenos metala s kućišta i puža ekstrudera na namirnice i gotov proizvod. Prema istraživanjima Camire i sur. (1994.), udio željeza u ekstrudiranim proizvodima od krumpira se tijekom ekstruzije povećao za 38%, a u uzorcima koji su ekstrudirani pri višim temperaturama zabilježen je još veći porast udjela željeza (Camire, 2000.).

Obogaćivanje mineralima prije ekstruzije dovodi do problema jer željezo stvara komplekse s fenolnim komponentama koji daju tamna obojenja te samim time umanjuju kvalitetu gotovog proizvoda (Kumary, 2011.). Istraživanja Martínez-Bustosa i sur. (1998.) na ekstrudatima na



bazi kukuruzne krupice pokazala su da se dodatkom kalcij hidroksida (0,15 do 0,35%) smanjuje pojava tamnog obojenja, ali i ekspanzija gotovog proizvoda (Martínez-Bustosa i sur., 1998.).

### Fitokemikalije

Fitokemikalije (sekundarni biljni metaboliti) biološki su aktivni spojevi biljaka, a u ljudskom organizmu imaju zaštitnu ulogu prema različitim bolestima, posebice kardiovaskularnim bolestima i karcinomima (Colić Barić, 2013.).

Utjecaj ekstruzije na ove komponente nije u potpunosti istražen. Tako na primjer, genistein i fitoestrogen iz soje mogu pomoći u prevenciji karcinoma dojke, ali ekstruzijom se njihov udio smanjuje. Također, fenolne komponente iz žitarica, voća i povrća djeluju kao antioksidansi te imaju zaštitnu ulogu u ljudskom organizmu. Veći udio fenolnih komponenti zadržava se pri višim temperaturama i većem udjelu vlage materijala. Pretpostavlja se da do gubitka fenolnih komponenti dolazi zbog njihove međusobne reakcija te formiranja većih, netopivih komponenti, no ova istraživanja su još u tijeku (Camire, 2000.).

### Toksini u hrani

Jedna od najvažnijih prednosti primjene ekstruzije je smanjenje prirodno prisutnih toksina u hrani te antinutrijenata čime se poboljšava sigurnost, kvaliteta i probavljivost gotovog proizvoda (Camire, 2001.). Pojedine namirnice, posebice leguminoze, sadrže komponente koje su toksične ili smanjuju apsorpciju nutrijenata i njihovo pozitivno djelovanje na zdravlje čovjeka. Inhibitori enzima, komponente slične hormonima, saponini i druge komponente mogu imati pozitivno djelovanje na zdravlje kod kroničnih bolesti odraslih ljudi, ali kod djece i životinja mogu izazvati poteškoće u razvoju. Leguminoze sadrže inhibitore tripsina koji sprječavaju djelovanje enzima za razgradnju proteina. Dugotrajna konzumacija inhibitora tripsina kod djece dovodi do smanjenog rasta i hipertrofije gušterače zbog povećane proizvodnje enzima kao odgovora organizma na navedene inhibitore (Camire, 2000.).

Također, vrlo je bitno spomenuti alergene i mikotoksine koji su prilikom ekstruzije otporniji na djelovanje topline i smično naprezanje, ali u kombinaciji s kemijskim tretmanima smanjuje se njihov udio u ekstrudatima (Camire, 2001.).

### Tvari arome

Većina ekstrudata je blagog okusa zbog kratkog vremena zadržavanja u ekstruderu te, samim time, kraćeg perioda za razvoj arome. Nastanku nehlapivih tvari arome, produkata

Maillardovih reakcija, pogoduju viša temperatura i niži udio vlage namirnica, a heterocikličke komponente formirane tijekom procesa vrlo su važne za tipičnu aromu žitarica.

Aromatiziranje nakon ekstruzije često se koristi radi poboljšanja prihvatljivosti za potrošače (Camire, 2000.). Kollengode i sur. (1997.) u svome istraživanju pokazali su da se najbolji rezultati postižu ukoliko se arome dodaju u ekstruder neposredno prije prolaska kroz sapnicu. Također, utvrdili su da niži udio vlage i upotreba nativnog škroba, u usporedbi s preželatiniziranim škrobom, pridonosi zadržavanju arome.

## 2.5. SIROVINE U PROIZVODNJI EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Žitarice kao što su kukuruz, zob, pšenica, riža, ječam, tapioka i raž predstavljaju najznačajnije i najzastupljenije sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Svim navedenim sirovinama zajedničko je da u svom sastavu imaju velike količine škroba koji tijekom procesa ekstruzije značajno mijenja svoja svojstva i tako utječe na kakvoću i teksturu gotovog proizvoda (Jukić i sur., 2010.). Pored škroba, druga osnovna komponenta ekstrudiranih proizvoda su proteini, a koriste se biljni proteini (sojini, sjemenki suncokreta, pšenični gluten,...). Većinom, tijekom ekstruzije procesiraju se tjestaste smjese, brašna žitarica ili proteinskih smjesa pri čemu škrob želatinizira, a proteini poboljšavaju elastičnost i zadržavanje plinova.

Kod odabira sirovina primarni čimbenik je nutritivna vrijednost, zatim slijede cijena i dostupnost sirovine, a na kakvoću sirovina značajno utječu skladištenje i priprema. Dobra proizvođačka praksa ključna je kako bi se izbjegle oscilacije u kakvoći proizvoda uzrokovane promjenama kakvoće sirovina (Babić, 2011.).

### 2.5.1 Kukuruz (*Zea mays*)

Kukuruz je jednogodišnja biljka koja je, pored pšenice i riže, najvažnija žitarica po opsegu proizvodnje, prometu i privrednom značenju. Važna je sirovina u prehrambenoj industriji za proizvodnju škroba, škrobnog šećera, alkohola, piva, kvasca, jestivog ulja (Ugarčić Hardi, 2007.).

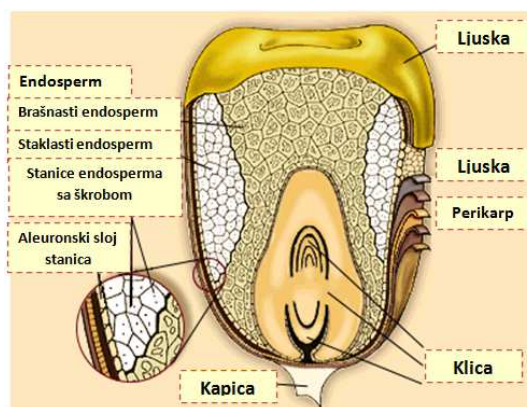
Također, vodeća je žitarica i u proizvodnji stočne hrane zbog svoje visoke energetske vrijednosti ( $16,2 \text{ MJkg}^{-1}$ ), bogat je škrobom, ima visok udio masti i nizak udio vlakana. Smatra se da, u usporedbi s drugim žitaricama, osigurava veću probavljivost i bolji okus (Filipović i sur., 2006.).

Kukuruz se, po svojoj građi, jako razlikuje kako od pravih, tako i od prosolikih žitaricama kojima pripada. Stablo kukuruza je uspravno, ispunjeno rastresitom srži i može doseći visinu

od 0,6 do 5 m. Ima dvije vrste cvati, jedna u obliku metlice na vrhu glavnog stabla i svih bočnih ogranaka koja se sastoji od muških i ženskih cvjetova te druga u obliku klipa koja se sastoji od ženskih cvjetova. Klipovi su postavljeni u pazusima listova, a zrna kukuruza rastu na klipu (Ugarčić Hardi, 2007.).

Zrno kukuruza (**Slika 8**) sastoji se od četiri osnovna dijela:

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



**Slika 8** Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Površina zrna može biti naborana ili glatka, mat ili sjajna, a vrh zaoštren, zaokružen, udubljen ili napuknut. Klica je jako razvijena te može zauzimati 2/3 dužine zrna i 1/7 volumena zrna. Na dnu zrna nalazi se kapica ili vršak zrna kojim se ono drži za klip (Ugarčić Hardi, 2007.). Endosperm čini najveći dio zrna, oko 82% te samim time sadrži i najveći dio škroba (oko 98%).

Endosperm se sastoji od dva dijela:

- staklasti (rožnati) endosperm,
- brašnasti endosperm (Babić, 2011.).

Odnos između staklastog i brašnatog endosperma je najčešće 35 : 65%, a može varirati ovisno o vrsti kukuruza i sadržaju proteina. Kod staklastog (rožnatog) endosperma proteinska mreža je deblja te prilikom sušenja ne puca nego se skuplja i vrši pritisak na škrobne granule zbog čega one poprimaju zbijeniju strukturu, a međuprostori između škrobnih zrnaca ispunjeni su proteinima i koloidnim ugljikohidratima. Brašnasti endosperm ima znatno veće stanice, veće granule škroba te tanku proteinsku mrežu. Ona prilikom sušenja zrna puca te tako nastaju praznine koje mu daju bijeli brašnasti izgled. U usporedbi sa staklastim, škrob se iz brašnatog endosperma znatno lakše izdvaja. Dovoljno

je namočiti zrno, usitniti ga i škrob isprati vodom. Kod izdvajanja škroba iz staklastog endosperma, potrebno je dodati i određene pomoćne tvari kako bi olakšali mekšanje zbijene i čvrste strukture. Prosječni kemijski sastav pojedinih dijelova zrna i njihov udio prikazan je u **Tablici 3**. Stupanj razvijenosti brašnatog i staklastog endosperma predstavlja glavno obilježje za razlikovanje pojedinih vrsta kukuruza (Babić, 2011.).

**Tablica 3** Udio dijelova zrna i prosječni kemijski sastav pojedinih dijelova (Ugarčić Hardi, 2007.)

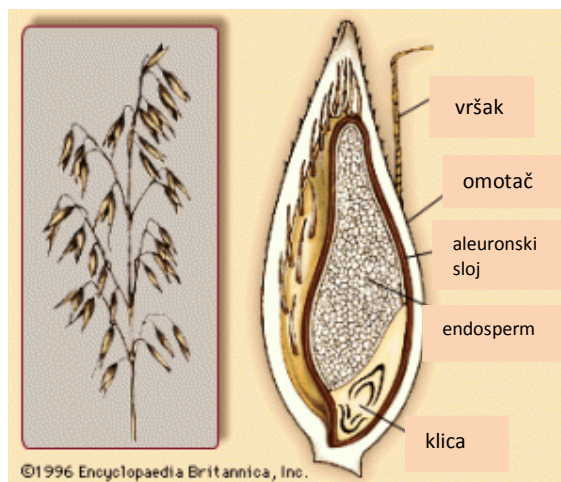
| Maseni udio u suhoj tvari (%) |          |       |                |          |       |
|-------------------------------|----------|-------|----------------|----------|-------|
| Dio zrna                      | Proteini | Masti | Ugljikohidrati | Celuloza | Pepeo |
| Cijelo zrno (100%)            | 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%)                   | 6,60     | 1,60  | 74,60          | 16,40    | 1,30  |

Tehnologija prerade kukuruza dijeli se na:

- suhu – brašno i krupica,
- mokru – škrob,
- fermentativnu – alkohol (Ugarčić Hardi, 2007.).

### 2.5.2. Zob (*Avena sativa*)

Zob (*Avena sativa*) je vrlo rasprostranjena žitarica zbog malih zahtjeva na kakvoću tla i klimatske uvjete. Zrno zobi ima duguljast i vretenast oblik, a boja može biti bijela, žućkasta ili smeđa. Od sorti su poznate ozime, jare i fakultativne sorte, no međutim, po karakteru samog zrna postoje pljevičaste i gole sorte. Danas su najzastupljenije sorte s pljevicom gdje količina pljevice može iznositi 20 do 30% u odnosu na masu zrna, ovisno o sorti i uvjetima uzgoja. Građa zrna (**Slika 9**) je tipična za žitarice s time da je klica nešto veća i iznosi oko 4% mase zrna, a struktura endosperma je uglavnom brašnasta. Po kemijskom sastavu koji je prikazan u **Tablici 4**, od ostalih žitarica razlikuje se po većoj količini masti, celuloznih vlakana i mineralnih tvari (radi pljevice). Kakvoća zrna ocjenjuje se po kemijskom sastavu i mogućem prinosu zrna nakon ljuštenja (Ugarčić Hardi, 2007.).



**Slika 9** Građa zrna zobi (web 1)

**Tablica 4** Prosječni kemijski sastav zrna zobi (Ugarčić Hardi, 2007.)

| Prosječni kemijski sastav zrna zobi (%) |       |
|-----------------------------------------|-------|
| Voda                                    | 12,30 |
| Proteini                                | 11,40 |
| Masti                                   | 5,0   |
| Celuloza                                | 10,30 |
| Ugljikohidrati                          | 58    |
| Mineralne tvari                         | 3,5   |

Zob je deklarirana kao žitarica male vrijednosti te se kroz povijest koristila samo u prehrani siromašnijeg stanovništva i kao stočna hrana. Tijekom godina istraživanjima se dolazi do novih spoznaja te ova žitarica postaje vrlo popularna (Sobczyk, 2008.).

Naime, zob je jedinstvena među žitaricama jer sadrži vrlo visoke količine proteina i lipida, a aktivnost njenih lipolitičkih enzima je 10 do 15 puta veća nego kod pšenice. Količina linolne i oleinske kiseline kod neprerađene zobi tijekom tri mjeseca nakon žetve kreće se od 30,4 do 45%. Također, zob prirodno sadrži endogene antioksidanse kao što su tokoferoli i razni derivati cimetne kiseline, a upravo to svojstvo je bitno za obogaćivanje i poboljšanje svojstava ekstrudiranih proizvoda. Naime, dodavanjem zobi prije ekstruzije dolazi do ravnomjernog raspršivanja komponenti zobi u smjesi te se postiže sinergija prirodno prisutnih fenolnih komponenti, štite se antioksidansi, odgađa oksidacija lipida te se samim time dobije ekstrudat boljih svojstava i dužeg roka trajanja (Viscidi i sur., 2004.).

Nadalje, zob sadrži velike količine celuloze koja je iznimno važna u ljudskoj prehrani te je vrlo korisno ukoliko se dodaje u prehrambene proizvode. U konditorskoj industriji celuloza iz zobi

može djelomično zamijeniti brašno ili masnoće. Dodatak zobu utječe na apsorpciju vode i reološka svojstva tijesta. Ovim postupkom proizvod se obogaćuje, smanjuje se njegova kalorijska vrijednost, a zob daje blagi okus po lješnjacima (Sobczyk, 2008.).

Vrlo je bitno spomenuti i  $\beta$ -glukane, bioaktivne komponente koje se prirodno najviše nalaze u zobu i ječmu, a smatraju se najsnažnijim prirodnim aktivatorima (Ryan, 2011.). Po kemijskom sastavu to su dugolančani polisaharidi glukoze vezani 1,3 i 1,6 vezama, a istraživanja su pokazala njihovo pozitivno djelovanje u obrani organizma kod onkoloških i virusnih bolesti, bakterijskih i gljivičnih infekcija, autoimunih i hematoloških bolesti, dijabetesa, alergija, snižavanja LDL kolesterola te općenito u prevenciji nastanka bolesti i jačanju imunološkog sustava (Ley, 2001.).

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka zobi (*Avena sativa*) na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice.

Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu 19/20 DN, Brabender, GmbH, Duisburg, Njemačka, a potom su dobivenim ekstrudatima ispitana fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva te su rezultati uspoređeni sa kontrolnim neekstrudiranim uzorcima.

### 3.2. MATERIJALI I METODE

#### 3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

1. Kukuruzne krupice, internog naziva *Specijal* (krupnija granulacija) i *Resli* (sitnija granulacija), iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek (proizvedene 2012. godine);
2. Zob, kupljena u OPG „Jazbec“, Ivanovac te samljevena na laboratorijskom mlinu IKA MF10 uz upotrebu sita otvora 2 mm.

#### 3.2.2. Metode

##### 3.2.2.1. Ekstruzija smjesa kukuruzne krupice s brašnom zobi (*Avena sativa*)

Pripremljenim smjesama kukuruznih krupica i zobenog brašna (*Specijal* : zob = 80 : 20 i *Resli* : zob = 80 : 20) najprije je podešena vlažnost na 15% nakon čega su u plastičnim vrećicama čuvane na 4 °C preko noći, a zatim ekstrudirane u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu Brabender 19/20 DN, pri sljedećem režimu:

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

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



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

Pomoću pomičnog mjerila, ekspanziranim suhim ekstrudatima izmjeren je promjer u milimetrima. Za svaki uzorak ekstrudata mjerenje se napravi pet puta te se izračuna srednja vrijednost.

Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog s promjerom sapnice ekstrudera (4 mm) te se računa prema sljedećoj formuli (1) (Brnčić i sur., 2008.):

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

pri čemu je:

- EO – ekspanzijski omjer,
- $d_e$  – promjer ekstrudata [mm],
- $d_s$  – promjer sapnice [mm].

### 3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata

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

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

pri čemu je:

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

### 3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata

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

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



**Slika 10** TA.XT2 Plus Texture Analyser (Zeko, 2013.)

### 3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom

Za određivanje boje samljevenih ekstrudata, odnosno neekstrudiranih smjesa brašna korišten je kromametar Konica Minolta CR-300 (**Slika 11**) s nastavkom za praškaste materijale. Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je pet mjerenja te je određena srednja vrijednost.



**Slika 11** 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  $\alpha$ -amilaze pri 40 °C kroz 10 minuta. Produkti hidrolize su maltooligosaharidi i  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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:

$$Oštećeni\ škrob = \Delta E \times F \times 60 \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 5,4 [\%] \quad (3)$$

pri čemu je:

- $\Delta E$  - apsorbancija umanjena za slijepu probu,
- $F = 150 \mu\text{g}$  glukoze/apsorbancija za  $150 \mu\text{g}$  glukoze,
- 60 - korekcija volumena (0,1 ml uzeto iz 6,0 ml),
- $1/1000$  - pretvaranje  $\mu\text{g}$  u  $\text{mg}$ ,
- $100/W$  - faktor za izražavanje oštećenosti škroba kao postotak od uzorka brašna ( $W$  – masa uzorka u  $\text{mg}$ ),
- $162/180$  - prilagodba slobodne glukoze prema bezvodnoj glukozi kakva se pojavljuje u škrobu.

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.2.2.8. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom

Određivanje reoloških svojstava provedeno je Brabenderovim Mikro visko-analyzer-om (**Slika 12**), Tip 803202, Brabender GmbH & Co KG, Duisburg, Njemačka. Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.



**Slika 12** Brabenderov Mikro visko-analyzer (Jozinović, 2011.)

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

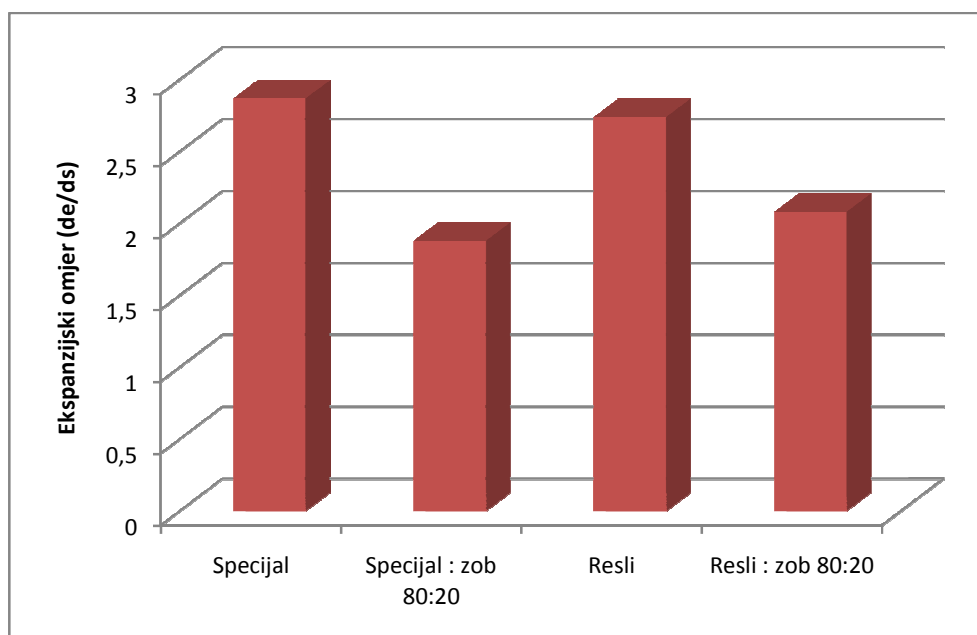
- zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C/min;
- izotermno na 92 °C, 5 minuta;
- hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C/min;
- izotermno na 50 °C, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 omin<sup>-1</sup>, a mjerenjem se dobiju sljedeći parametri:

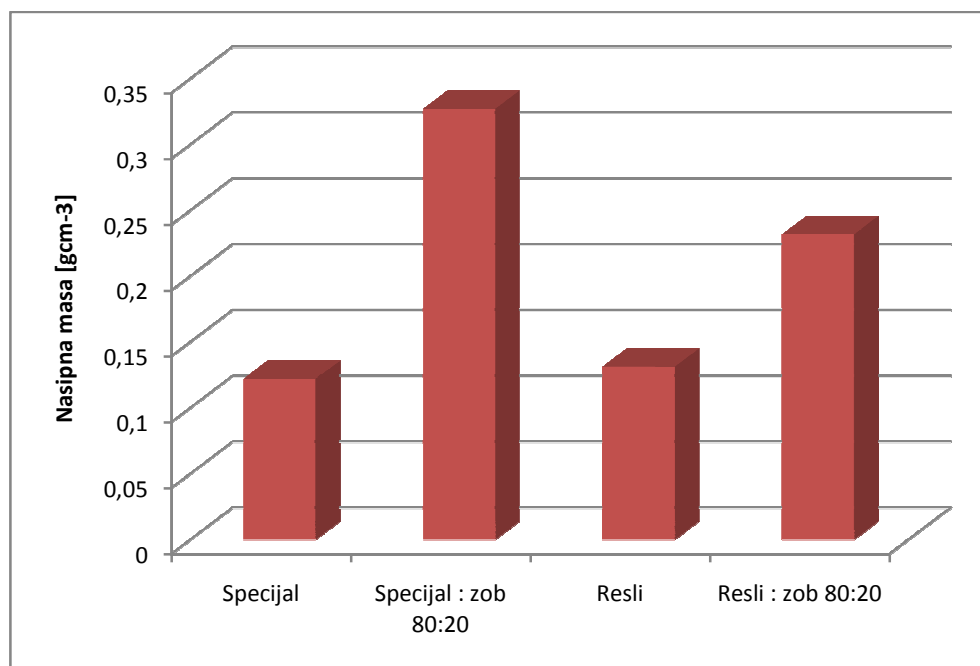
- početna temperatura želatinizacije škroba [°C];
- viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU];
- vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja pri 92 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja pri 50 °C; ova vrijednost označava stabilnost pri 50 °C [BU];

- *kidanje* - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja pri 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha; ova vrijednost označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU];
- „*Setback*“ - Izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 5 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C; ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

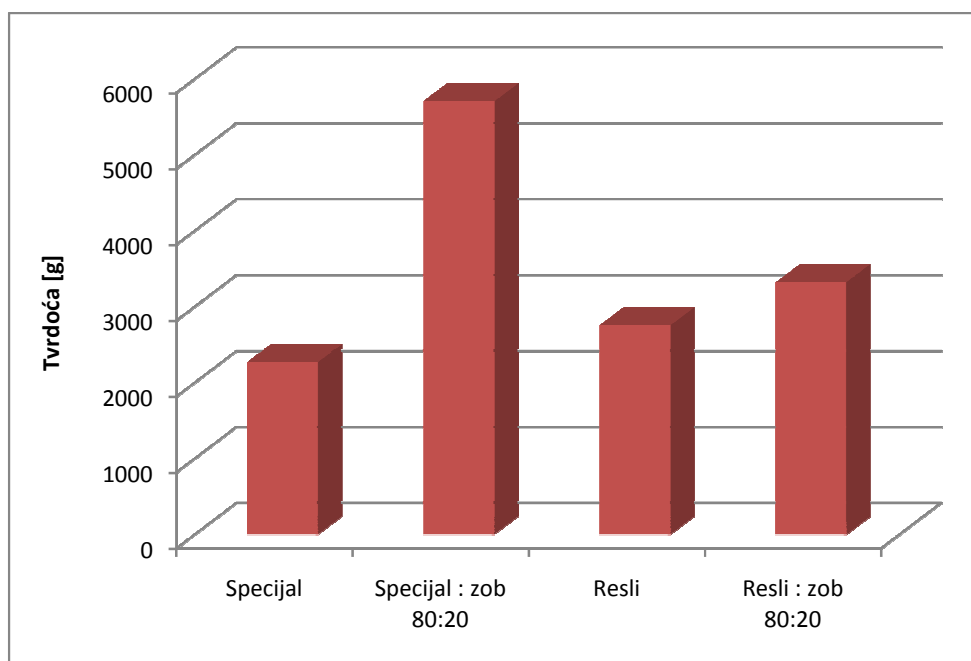
## **4. REZULTATI**



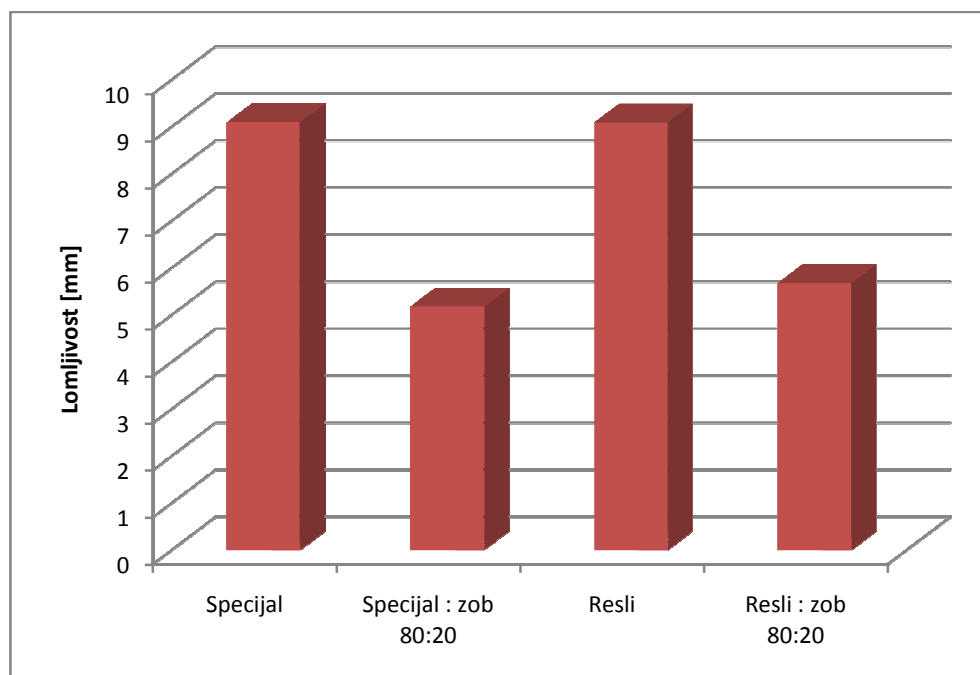
**Slika 14** Utjecaj dodatka zobi na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*



**Slika 15** Utjecaj dodatka zobi na nasipnu masu ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*



**Slika 16** Utjecaj dodatka zobi na tvrdoću ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*

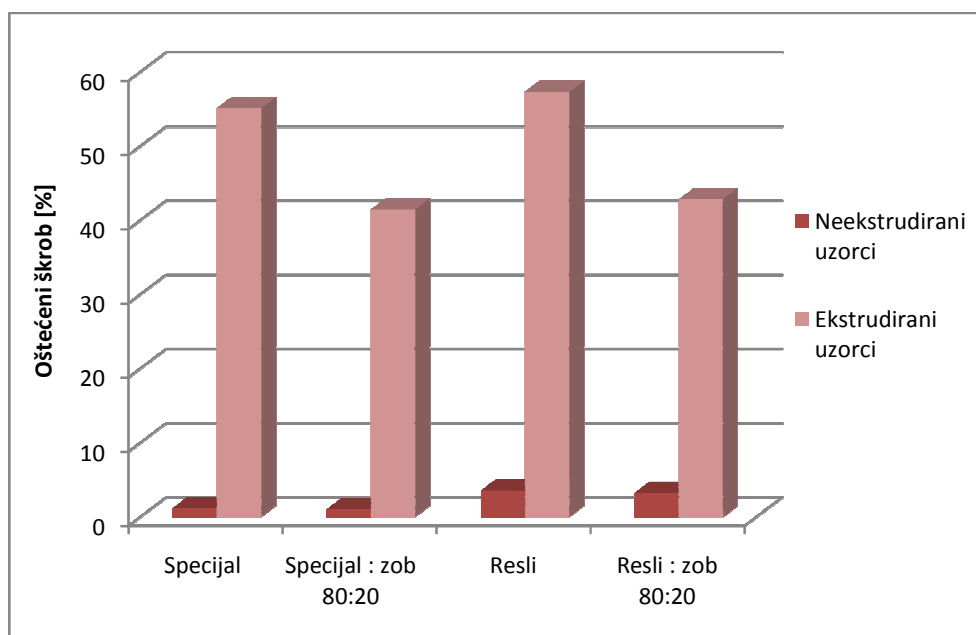


**Slika 17** Utjecaj dodatka zobi na lomljivost ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*

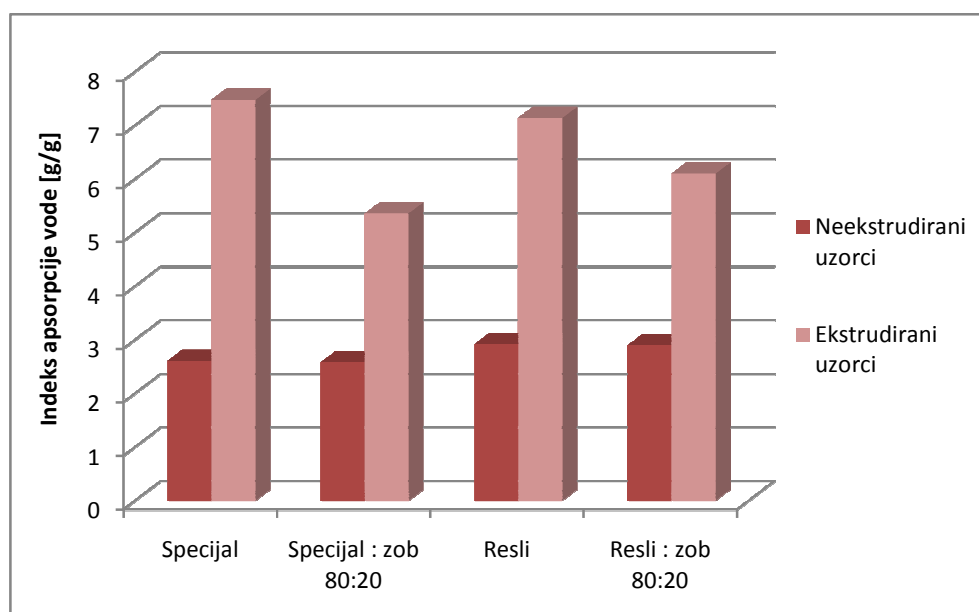


**Tablica 5** Utjecaj procesa ekstruzije na boju kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*, određenu kromatometrom u CIELab i LCh sustavima

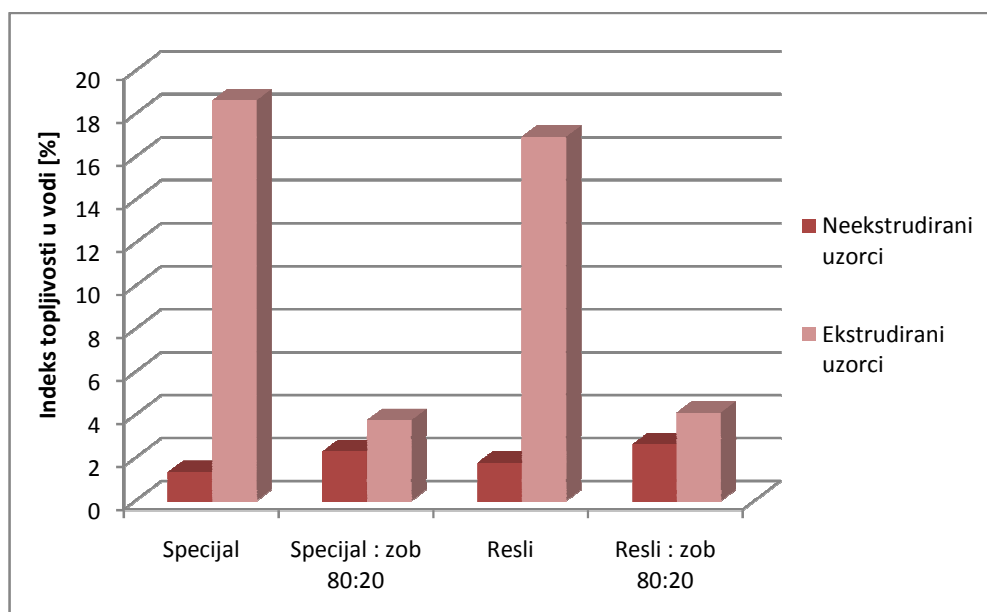
| Uzorak                        | Neekstrudirani uzorci     |                           |                           |                           |                           |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                               | L*                        | a*                        | b*                        | C                         | h°                        |
| <b>Specijal</b>               | 82,32 ± 0,04 <sup>b</sup> | 0,25 ± 0,02 <sup>c</sup>  | 44,70 ± 0,17 <sup>d</sup> | 44,70 ± 0,17 <sup>d</sup> | 89,68 ± 0,02 <sup>b</sup> |
| <b>Specijal:zob<br/>80:20</b> | 80,31 ± 0,01 <sup>a</sup> | 0,58 ± 0,05 <sup>d</sup>  | 30,65 ± 0,09 <sup>b</sup> | 30,66 ± 0,09 <sup>b</sup> | 88,92 ± 0,10 <sup>a</sup> |
| <b>Resli</b>                  | 87,37 ± 0,02 <sup>d</sup> | -2,15 ± 0,04 <sup>a</sup> | 35,42 ± 0,03 <sup>c</sup> | 35,48 ± 0,02 <sup>c</sup> | 93,48 ± 0,07 <sup>d</sup> |
| <b>Resli:zob<br/>80:20</b>    | 84,20 ± 0,01 <sup>c</sup> | -1,62 ± 0,04 <sup>b</sup> | 28,62 ± 0,02 <sup>a</sup> | 28,67 ± 0,02 <sup>a</sup> | 93,24 ± 0,08 <sup>c</sup> |
| Uzorak                        | Ekstrudirani uzorci       |                           |                           |                           |                           |
|                               | L*                        | a*                        | b*                        | C                         | h°                        |
| <b>Specijal</b>               | 85,51 ± 0,01 <sup>d</sup> | -4,02 ± 0,06 <sup>a</sup> | 38,97 ± 0,06 <sup>d</sup> | 39,18 ± 0,06 <sup>d</sup> | 95,89 ± 0,08 <sup>d</sup> |
| <b>Specijal:zob<br/>80:20</b> | 81,11 ± 0,07 <sup>b</sup> | -1,58 ± 0,06 <sup>c</sup> | 28,86 ± 0,03 <sup>b</sup> | 28,91 ± 0,04 <sup>b</sup> | 93,13 ± 0,12 <sup>b</sup> |
| <b>Resli</b>                  | 84,86 ± 0,03 <sup>c</sup> | -2,63 ± 0,03 <sup>b</sup> | 32,62 ± 0,02 <sup>c</sup> | 32,73 ± 0,03 <sup>c</sup> | 94,61 ± 0,06 <sup>c</sup> |
| <b>Resli:zob<br/>80:20</b>    | 80,62 ± 0,05 <sup>a</sup> | -0,60 ± 0,04 <sup>d</sup> | 24,34 ± 0,03 <sup>a</sup> | 24,35 ± 0,03 <sup>a</sup> | 91,40 ± 0,09 <sup>a</sup> |



**Slika 18** Utjecaj ekstruzije na stupanj oštećenosti škroba kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*



**Slika 19** Utjecaj ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI) kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*



**Slika 20** Utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI) kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*

**Tablica 6** Utjecaj procesa ekstruzije i dodatka zobu na viskoznost kukuruzne krupice *Specijal*

|                                      | Neekstrudirani uzorci      |                            | Ekstrudirani uzorci       |                           |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                      | Specijal                   | Specijal:zob 80:20         | Specijal                  | Specijal:zob 80:20        |
| <b>viskoznost vrha [BU]</b>          | 608 ± 27,00 <sup>c</sup>   | 599,5 ± 14,50 <sup>c</sup> | 81,5 ± 16,50 <sup>a</sup> | 235,5 ± 8,50 <sup>b</sup> |
| <b>viskoznost pri 92 °C [BU]</b>     | 27,5 ± 8,50 <sup>b</sup>   | 66,5 ± 5,50 <sup>c</sup>   | 0 ± 0,00 <sup>a</sup>     | 223 ± 8,00 <sup>a</sup>   |
| <b>nakon miješanja na 92 °C [BU]</b> | 607,5 ± 23,50 <sup>c</sup> | 598 ± 11,00 <sup>c</sup>   | 0 ± 0,00 <sup>a</sup>     | 149 ± 8,00 <sup>b</sup>   |
| <b>viskoznost pri 50 °C [BU]</b>     | 1009 ± 18,00 <sup>c</sup>  | 1123 ± 10,00 <sup>d</sup>  | 85,5 ± 18,50 <sup>a</sup> | 290 ± 8,00 <sup>b</sup>   |
| <b>nakon miješanja na 50 °C [BU]</b> | 985 ± 4,00 <sup>c</sup>    | 1084,5 ± 2,50 <sup>d</sup> | 92,5 ± 21,50 <sup>a</sup> | 273,5 ± 2,50 <sup>b</sup> |
| <b>kidanje [BU]</b>                  | 3,5 ± 3,50 <sup>a</sup>    | 0 ± 0,00 <sup>a</sup>      | 81,5 ± 16,50 <sup>b</sup> | 87 ± 1,00 <sup>b</sup>    |
| <b>„setback“ [BU]</b>                | 389 ± 14,00 <sup>c</sup>   | 534,5 ± 7,50 <sup>d</sup>  | 80,5 ± 18,50 <sup>a</sup> | 133,5 ± 0,50 <sup>b</sup> |

**Tablica 7** Utjecaj procesa ekstruzije i dodatka zobi na viskoznost kukuruzne krupice  
*Resli*

|                                          | Neekstrudirani uzorci      |                            | Ekstrudirani uzorci       |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                          | Resli                      | Resli:zob<br>80:20         | Resli                     | Resli:zob<br>80:20         |
| <b>viskoznost vrha<br/>[BU]</b>          | 903,5 ± 5,50 <sup>d</sup>  | 861,5 ± 0,50 <sup>c</sup>  | 64 ± 16,00 <sup>a</sup>   | 218,5 ± 12,50 <sup>b</sup> |
| <b>viskoznost pri<br/>92 °C [BU]</b>     | 898,5 ± 0,50 <sup>d</sup>  | 824 ± 2,00 <sup>c</sup>    | 0 ± 0,00 <sup>a</sup>     | 142,5 ± 8,50 <sup>b</sup>  |
| <b>nakon miješanja<br/>na 92 °C [BU]</b> | 775,5 ± 2,50 <sup>d</sup>  | 702 ± 0,00 <sup>c</sup>    | 0 ± 0,00 <sup>a</sup>     | 65,5 ± 4,50 <sup>b</sup>   |
| <b>viskoznost pri<br/>50 °C [BU]</b>     | 1311,5 ± 1,50 <sup>c</sup> | 1360 ± 6,00 <sup>d</sup>   | 19,5 ± 13,50 <sup>a</sup> | 173,5 ± 7,50 <sup>b</sup>  |
| <b>nakon miješanja<br/>na 50 °C [BU]</b> | 1347 ± 17,00 <sup>d</sup>  | 1277,5 ± 1,50 <sup>c</sup> | 23,5 ± 12,50 <sup>a</sup> | 162 ± 5,00 <sup>b</sup>    |
| <b>kidanje<br/>[BU]</b>                  | 126 ± 5,00 <sup>b</sup>    | 158,5 ± 0,50 <sup>b</sup>  | 64 ± 16,00 <sup>a</sup>   | 152,5 ± 6,50 <sup>b</sup>  |
| <b>„setback“<br/>[BU]</b>                | 521 ± 1,00 <sup>c</sup>    | 657 ± 1,00 <sup>d</sup>    | 17 ± 13,00 <sup>a</sup>   | 103 ± 2,00 <sup>b</sup>    |

## **5. RASPRAVA**

Zadatak ovog diplomskog rada bio je utvrditi utjecaj dodatka zobi, u količini od 20%, na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*.

**Slika 14** prikazuje utjecaj dodatka zobi na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da je ekspanzijski omjer, u usporedbi s kukuruznom krupicom *Resli*, veći kod kukuruzne krupice *Specijal*. Nadalje, dodatkom zobi značajno se smanjio ekspanzijski omjer kod obje vrste kukuruznih krupica, s time da je ekspanzijski omjer kod smjese *Specijal* : *zob* manji u odnosu na smjesu *Resli* : *zob*.

Ove rezultate potvrdili su Brnčić i sur. (2008.) u svom radu o utjecaju dodatka proteina sirutke na kvalitetu kukuruznih ekstrudata, u kojem su došli do zaključka da dodatak proteina očvršćava stijenku ekstrudata i smanjuje stupanj ekspanzije. Anton i sur. (2009.) su istraživanjem utjecaja dodatka brašna graška na stupanj ekspanzije utvrdili 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.).

**Slika 15** prikazuje utjecaj dodatka zobi na nasipnu masu ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da je nasipna masa kod obje vrste kukuruznih krupica, manja nego kod smjese *Specijal* : *zob* i *Resli* : *zob*. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima dobivenima za ekspanzijski omjer, naime, ekstrudati s nižim vrijednostima dijametra i ekspanzijskog omjera imali su višu nasipnu masu. 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.).

Ove rezultate potvrdili su 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. Također, Stojceska i sur. (2008.) u svom su radu utvrdili smanjenje ekspanzije i povećanje nasipne mase ekstrudata dodatkom pivskog tropa. Gutkoski i sur. (1999.) istraživali su utjecaj početne količine vlage i temperature ekstruzije na fizikalna i kemijska svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi zobi te su također uočili da dolazi do povećanja ekspanzijskog omjera te smanjenja nasipne mase smanjenjem vlažnosti.

**Slike 16 i 17** prikazuju utjecaj dodataka zobi na teksturu ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*. Tekstura je određena pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, te su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost.

**Slika 16** prikazuje utjecaj dodataka zobu na tvrdoću ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te se može uočiti da se dodatkom zobu značajno povećala tvrdoća ekstrudata, naročito kod smjese *Specijal : zob*. **Slika 17** prikazuje utjecaj dodatka zobu na lomljivost ekstrudata kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te se, iz dobivenih rezultata, može uočiti da je dodatkom zobu došlo do smanjenja lomljivosti u oba slučaja.

Brnčić i sur. (2009.) u svojem radu su ispitivali svojstva teksture na ekspanziranim 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. Najveći utjecaj na teksturu ekstrudata ima vlažnost smjese, a ovaj problem istražili su Brnčić i sur. (2006.) te Petrova i sur. (2010.). Nadalje, osim vlažnosti, na teksturu ekstrudata utječu temperatura, karakteristike puža, brzina puža,...(Lazou i Krokida, 2010.; Mendonca i sur., 1999.; Saeleaw i sur., 2012., Wu i sur., 2007.). Ove rezultate potvrđuju Jozinović i sur. (2012a.), koji su u svom radu zaključili da je dodatkom kestenovog i heljedinog brašna u kukuruznu krupicu došlo do povećanja tvrdoće i smanjenja lomljivosti kukuruznih ekstrudata. Također, Zhu i sur. (2010.) svojim su ispitivanjem mehaničkih i mikrostrukturnih svojstava ekspanziranih ekstrudata dobivenih iz smjese visokoamiloznog kukuruznog škroba i koncentrata proteina soje uočili da dolazi do povećanja tvrdoće, uslijed smanjene ekspanzije i aglomeracije proteina do koje dolazi zbog visoke temperature i smicanja. Raspodjela veličine čestica ima značajan utjecaj na parametre ekstruzije i osobine ekstrudiranog proizvoda. Huber i Rokey (1990.) utvrdili su da mekša tekstura ekstrudiranog proizvoda nastaje zbog finije granulacije.

**Tablica 5** prikazuje utjecaj procesa ekstruzije na boju kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjese *Specijal : zob* i *Resli : zob*, a određena je kromametrom u CIELab i LCh sustavima. Dobivene su 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<sup>0</sup> - ton boje, kreće se u rasponu od 0° (crvena), 90° (žuta), 180° (zelena), 270° (plava) te natrag do 0° (web 2).

Iz dobivenih rezultata može se uočiti značajna razlika između kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjese *Specijal : zob* i *Resli : zob*. Usporedbom neekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal* s ekstrudiranom, a tako i smjese *Specijal : zob* za vrijednost parametra L\*, može se uočiti da dolazi do porasta te vrijednosti, odnosno dolazi do posvjetljenja ekstrudata. Kod

kukuruzne krupice *Resli* i smjese *Resli : zob* tijekom ekstruzije dolazi do smanjenja vrijednosti parametra  $L^*$ , odnosno dolazi do potamnjenja ekstrudata. U oba slučaja kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*, vrijednost parametra  $L^*$  bila je veća nego kod smjesa kukuruznih krupica, što pokazuje da dodatak zobi utječe na potamnjenje smjesa. Vrijednosti parametra  $a^*$  za neekstrudiranu kukuruznu krupicu *Specijal* i smjesu *Specijal : zob* su pozitivne, što znači da su u domeni crvene boje, dok su vrijednosti preostalih uzoraka (neekstrudirana kukuruzna krupica *Resli*, smjesa *Resli : zob* te ekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal*, *Resli* te smjese *Specijal : zob* i *Resli : zob*) negativne, što ukazuje da ulaze u domenu zelene boje. Neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice *Specijal* imao je najvišu vrijednost parametra  $b^*$ , a vrijednosti tog parametra u ekstrudiranim uzorcima snizile su se dodatkom zobi kod obje vrste kukuruznih krupica. Svi uzorci su imali pozitivne vrijednosti, što znači da ulaze u domenu žute boje. Vrijednost parametra  $C$  najveća je kod neekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal*, a iz dobivenih rezultata može se uočiti da dodatkom zobi dolazi do smanjenja te vrijednosti. Iz rezultata za parametar  $h^\circ$  može se zaključiti da oni potvrđuju rezultate za parametre  $a^*$  i  $b^*$ , jer dobivene vrijednosti za parametar  $h^\circ$  pokazuju da je boja uzoraka bila u domeni žute boje, odnosno blago zelene i crvene boje.

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

**Slika 18** prikazuje utjecaj ekstruzije na stupanj oštećenosti škroba kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*. 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 zobi u oba slučaja smanjila oštećenost škroba tijekom ekstrudiranja smjesa u odnosu na ekstruziju krupica bez dodatka zobi. 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.

**Slika 19** prikazuje utjecaj ekstruzije na stupanj apsorpcije vode (WAI) kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te smjesa *Specijal : zob* i *Resli : zob*. U usporedbi s neekstrudiranim uzorcima, iz dobivenih rezultata, može se uočiti da ekstruzijom dolazi do značajnog



povećanja indeksa apsorpcije vode u svim uzorcima. Također, dodatkom zobi kukuruznim krupicama *Specijal* i *Resli* dolazi do smanjenja indeksa apsorpcije vode.

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 potvrdila su brojna istraživanja (Larrea i sur., 2005.; Jozinović i sur. 2012a.; 2012b.), što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom radu. Također, vrlo je bitno spomenuti i istraživanje Gutkoski-a i sur. (1999.) koji su predstavili indeks apsorpcije vode kao funkciju temperature ekstruzije i udjela vlage početnog materijala. Utvrdili su da indeks apsorpcije vode raste linearno s porastom temperature i udjela vlage te da, promatrajući ta dva faktora, temperatura ima veći utjecaj.

**Slika 20** prikazuje utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI) kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* sa i bez dodatka zobi. Iz navedene slike može se uočiti da se procesom ekstruzije kod kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te njihovih smjesa povećao indeks topljivosti u vodi, naročito kod kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli*. Također, iz dobivenih rezultata vidljivo je da dodatak zobi u neekstrudirane kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* dovodi do povećanja indeksa topljivosti u vodi.

Povećanje indeksa topljivosti u vodi ekstrudiranih proizvoda rezultat je narušenosti strukture škroba i prisutnosti većeg sadržaja molekula manje molekulske mase (Gutkoski i sur., 1999.; Collona i sur., 1989.). Nadalje, Singh i sur. (1997.) u svojem su istraživanju utvrdili da povećanjem udjela vlage dolazi do smanjenja indeksa topljivosti u vodi.

Brabenderovim micro-visco-analyzer-om mjeren je utjecaj ekstruzije i dodatka zobi na viskoznost kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te su dobiveni rezultati prikazani u **Tablicama 6 i 7**. Viskoznost vrha označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba, a iz dobivenih rezultata može se uočiti da ekstruzijom, kod kukuruznih krupica *Specijal* i *Resli* te njihovih smjesa, dolazi do sniženja viskoznosti vrha. Također, dodatak zobi u kukuruznu krupicu *Specijal* i *Resli* uzrokovao je snižavanje viskoznosti vrha kod neekstrudiranih i ekstrudiranih smjesa. Zagrijavanjem uzoraka do 92 °C te zadržavanjem na toj temperaturi tijekom 5 minuta došlo je do pada viskoznosti kod svih uzoraka, neekstrudiranih i ekstrudiranih.

Vrijednost *kidanja* definirana je kao razlika viskoznosti vrha i viskoznosti pri 92 °C/5 minuta, a iz dobivenih rezultata može se uočiti da uzorci pokazuju dobru stabilnost tijekom miješanja na visokim temperaturama. Neekstrudirana smjesa *Specijal : zob* pokazala je najbolju stabilnost, a vrijednost *kidanja* tog uzroka iznosi  $0 \pm 0,00$  BU. Hlađenjem na temperaturu od 50 °C dolazi do retrogradacije škroba te je došlo do naglog povećanja viskoznosti kod svih uzoraka. *Setback* je definiran kao razlika viskoznosti pri 50 °C i viskoznosti pri 92 °C/5

minuta te označava sklonost retrogradaciji. Iz dobivenih rezultata može se uočiti da su neekstrudirani uzorci, u odnosu na ekstrudirane uzorke, znatno skloniji retrogradaciji.

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.). Chiang i sur. (1977.) u svom su istraživanju proučavali faktore koji utječu na želatinizaciju škroba brašna pšenice te su utvrdili da povišenje temperature ekstruzije dovodi do povećanja želatinizacije kod udjela vlage od 18 do 27% te da udio vlage ne utječe na želatinizaciju ispod 80 °C. Također, utvrdili su da povećanje brzine i promjera puža dovodi do smanjenja stupnja želatinizacije. Ove tvrdnje u svojim istraživanjima potvrdili su i Anderson (1982.) te Mercier i sur. (1975.).

## **6. ZAKLJUČCI**

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja, došlo se do sljedećih zaključaka:

- Dodatkom zobi kod obje vrste kukuruznih krupica, *Specijal* i *Resli*, došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera s time da je kukuruzna krupica *Specijal* ekspandirala više od kukuruzne krupice *Resli*, dok je smjesa *Specijal* : zob ekspandirala manje od smjese *Resli* : zob.
- Rezultati dobiveni za nasipnu masu u skladu su s rezultatima dobivenima za ekspanzijski omjer. Ekstrudati s manjom ekspanzijom imali su višu nasipnu masu, odnosno dodatak zobi uzrokovao je povećanje nasipne mase.
- Dodatkom zobi, kod obje vrste kukuruznih krupica, *Specijal* i *Resli*, došlo je do povećanja tvrdoće ekstrudata, dok se lomljivost smanjila.
- Rezultati mjerenja boje pokazali su da je ekstruzija uzrokovala posvjetljenje kod kukuruzne krupice *Specijal*, a potamnjivanje kod kukuruzne krupice *Resli*. Dodatkom zobi došlo je do potamnjivanja uzoraka obje vrste kukuruznih krupica te smanjenja zasićenosti boje. Boja svih uzoraka bila je u domeni žute, odnosno djelomično zelene i crvene boje.
- Ekstruzijom je došlo do značajnog oštećenja škroba kod svih uzoraka, s time da se dodatkom zobi u kukuruzne krupice *Specijal* i *Resli* vrijednost oštećenja smanjila.
- Indeks apsorpcije vode (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) povećali su se kod svih uzoraka nakon provedenog procesa ekstruzije. Dodatak zobi kod kukuruzne krupice *Specijal* doveo je do smanjenja indeksa apsorpcije vode, dok je kod kukuruzne krupice *Resli* dodatkom zobi došlo do povećanja indeksa apsorpcije vode. Indeks topljivosti u vodi se dodatkom zobi u neekstrudiranu krupicu povećao kod oba uzorka.
- Dodatak zobi i proces ekstruzije kod svih uzoraka doveli su do sniženja viskoznosti vrha, viskoznosti pri 95 °C i viskoznosti pri 50 °C, a ekstrudirani uzorci bili su manje skloni retrogradaciji.

## **7. LITERATURA**

- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Karper JM: A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53:609-615, 1988.
- American Association of Cereal Chemists: *Starch Damage*. AACC 76-31.01
- Anderson RA, Conway HFM, Pfeiffer VF, Griffin EJ: Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14:4-12, 1969.
- Anderson RA: Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chemistry*, 59:265-269, 1982.
- 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.
- 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.
- Bender W, Böger HH: A Short History of the Extruder in Ceramics. In *Extrusion in Ceramics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2009.
- Björck I, Asp NG: Effects of extrusion cooking on the nutritional value. In *Extrusion-Cooking Technology*. Elsevier, London, 1984.
- Brennan C, Brennan M, Derbyshire E, Tiwari B: Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22:570-575, 2011.
- Brnčić M, Ježek D, Rimac Brnčić S, Bosiljkov T, Tripalo B: Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva izravno ekspaniranog kukuruznog ekstrudata. *Mljekarstvo*, 58(2):131-149, 2008.
- Brnčić M, Tripalo B, Brnčić Rimac S, Karlović S, Župan A, Herceg Z: Evaluation of textural properties for whey enriched direct extruded and puffed corn based products. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(3):204-214, 2009.
- Camire ME. : Extrusion and nutritional quality. In *Extrusion cooking, Technologies and applications*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2001.
- Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. In *Extruders in Food Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Camire ME, Camire AL: Enzymatic starch hydrolysis of extruded potato peels. *Starch/Stärke*, 46:308-311, 1994.
- 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.
- Chiang BY, Johnson JA: Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chemistry*, 54:436-443, 1977.

- Colić Barić I: Materijali s predavanja na kolegiju: „Fitokemikalije u zaštiti zdravlja“. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2013.
- 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.
- Dokić LJP, Bodroža-Solarov MI, Hadnađev MS, Nikolić IR: Properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. *Biblid*, 40:17-24, 2009.
- Filipović SS, Sakac MB, Ristić MD, Kormanjoš SM: The Extrusion of Corn as a Precondition of Nutritive Value Improvement. *Acta Agriculturae Serbica*, 11(21):3-9, 2006.
- Gelemanović M: Svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom raži. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.
- Gutkoski LC, El Dash AA: Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54:315-325, 1999.
- Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 24:1-9, 2005.
- Huber GR: Twin-Screw Extruders. In *Extruders in Food Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Huber GR, Rokey GJ: Extruded snacks. In *Snack Food*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- 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.
- Jukić M, Koceva Komlenić D: Materijali s predavanja na kolegiju: „Tehnologija proizvodnje tjestenine i keksarskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.
- Jukić M, Ugarčić Hardi Ž, Koceva Komlenić D, Gorički Z, Kuleš A: Utjecaj različitih vrsta žitarica i količine dodane vode u procesu ekstruzije na strukturu žitarica za doručak. *Croatian Journal of Food Science & Technology*, 2:1-10, 2010.
- Kollengode ANE, Hanna MA: Flavor retention in pregelatinized and internally flavored starch extrudates. *Cereal Chemistry*, 74:396-399, 1997.
- Kopjar M: Materijali s predavanja na kolegiju: „Kemija hrane“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.
- Kumary YA: Theory study material „Extrusion technology“. 2011.  
<http://www.angrau.ac.in/media/9340/fdst316extrusiontechnology1.pdf> [28.12.2013.]

- 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.
- Ley BM: *Discover the Beta Glucan Secret: For Immune Enhancement, Cancer Prevention & Treatment Cholesterol Reduction, Glucose Reduction and much more*. BL Publications, Detroit Lakes, 2001.
- 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 Chemistry*, 79(5):634-639, 2002.
- Martínez-Bustosa F, Chan FYK, Bannwart AC, Rodríguez ME, Guedes PA, Gaiotti ER: Effects of calcium hydroxide and processing condition on corn meal extrudates. *Cereal Chemistry*, 75:796-801, 1998.
- Mercier C, Feillet P: Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*, 52:283-297, 1975.
- Mościcki L, Wójtowicz A : Raw Materials in the Production of Extrudates. In *Extrusion-Cooking Techniques Applications, Theory and Sustainability*. WILEY-VCH Verlag & Co. KGaA, Weinheim, 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.
- Pozderović A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.
- Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. In *Extruders in Food Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Rokey GJ: Single-Screw Extruders. In *Extruders in Food Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Ryan L, Thondre PS, Henry CJK: Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24:929-934, 2011.
- Sacchetti G, Pinnaia 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, Dürschmid 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.
- Sobczyk M: Effects of various oat forms on the quality of confectionary. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(3):301-305, 2008.
- 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: Sirovine biljnog podrijetla: žitarice, leguminoze i uljarice (interna skripta). Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, 2007.
- Varo P, Verlaine K, Koivistoinen P: The effect of heat treatment on dietary fibre contents of potato and tomato. *Journal of Food Science & Technology*, 19:485-492, 1984
- Viscidi KA, Dougherty MP, Briggs J, Camire ME: Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37:789-796, 2004.
- web 1: <http://www.britannica.com/EBchecked/media/163/The-oat-panicle-bearing-multiple-oat-florets?topicId=103350> [7.1.2014.]
- web 2: [http://www.xrite.com/documents/literature/en/L10-001\\_Understand\\_Color\\_en.pdfm](http://www.xrite.com/documents/literature/en/L10-001_Understand_Color_en.pdfm) [7.1.2014.]
- 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.
- Wang YY, Ryu GH: Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO<sub>2</sub> injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 1:1-7, 2013.
- Zeko J: Utjecaj granulacije kukuruzne krupice na svojstva ekstrudata. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2013.
- Zhu LJ, Shukri R, Jhoe de Mesa-Stonestreet N, Alavi S, Dogan H, Shi YC: Mechanical and microstructural properties of soy protein – high amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100:232-238, 2010.