

Utjecaj ekstruzije na svojstva smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa

Horvat, Andrea

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:109:315579>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



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

Andrea Horvat

**UTJECAJ EKSTRUZIJE NA SVOJSTVA SMJESA PŠENIČNOG BRAŠNA I
PIVSKOG TROPA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2017.

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

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija**Nastavni predmet:** Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda**Tema rada** je prihvaćena na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2015./2016. održanoj 30. svibnja 2016.**Mentor:** izv. prof. dr. sc. *Đurđica Ačkar***Pomoć pri izradi:** doc. dr. sc. *Antun Jozinović***UTJECAJ EKSTRUZIJE NA SVOJSTVA SMJESA PŠENIČNOG BRAŠNA I PIVSKOG TROPA***Andrea Horvat, 298/DI*

Sažetak: Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj procesa ekstruzije na svojstva smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa. Omjeri smjesa (pšenično brašno:pivski trop) korišteni u istraživanju su 85:15, 70:30, 55:45. Smjese vlažnosti 30 % ekstrudirane su pri temperaturnom profilu 70/90/110 °C. Istraživanjem su se određivala fizikalna i reološka svojstva neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka. Utvrđeno je da se dodatkom pivskog tropa smanjuje viskoznost ekstrudata. Ekstruzija smanjuje vrijednost broja padanja, a većim udjelom pivskog tropa u smjesi vrijednost broja padanja nastavila se smanjivati. Budući da se ekstruzijom smanjuje udio proteina, sedimentacijske vrijednosti kod ekstrudiranih uzoraka su niske. Ekstruzija utječe na sposobnost upijanja vode povećavajući moć upijanja, a ona se smanjivala povećanjem udjela pivskog tropa. Zbog narušenog glutena nije zabilježena značajna stabilnost tijesta. Farinografski broj kvalitete podjednako je visok u svim uzorcima pa svi pripadaju A1 skupini kvalitete.

Ključne riječi: ekstruzija, pšenično brašno, pivski trop**Rad sadrži:** 50 stranica
13 slika
4 tablice
0 priloga
64 literaturnih referenci**Jezik izvornika:** hrvatski**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

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

Datum obrane: 25. rujna 2017.

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

Graduate program of Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of carbohydrates and confectionary products

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII. held on May 30th, 2016

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

Technical assistance: *Antun Jozinović*, PhD, assistant prof.

EFFECT OF EXTRUSION ON THE PROPERTIES OF MIXTURES OF WHEAT FLOUR AND BREWER'S SPENT GRAIN

Andrea Horvat, 298/DI

Summary: The aim of this study was to determine extrusion process impact on mixture of wheat flour and brewer's spent grain properties. Mixture ratios (wheat flour: brewer's spent grain) used in this study are 85:15, 70:30, 55:45. Mixtures, at the humidity of 30%, have been extruded on temperature profile 70/90/110°C. In this study the physical and rheological properties of non-extruded and extruded samples have been determined. It has been proven that, with the addition of brewer's spent grain, the viscosity of extrudates is reduced. Extrusion decreases the falling number values, and with increasing content of brewer's spent grain in mixture the values of falling number continues to decrease. Since the extrusion decreases the protein content, sedimentation values at the extruded samples are low. Extrusion influences the water absorption capability by increasing it, while the water absorption capability has been decreased with addition of brewer's spent grain. Due to poor quality of gluten, significant stability of dough hasn't been noticed. Farinograph quality number has been equally high within all samples, so each of them is classified as A1 quality group.

Key words: extrusion, wheat flour, brewer's spent grain

Thesis contains: 50 pages
13 figures
4 tables
0 supplements
64 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: September 25, 2017

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

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. EKSTRUZIJA	4
2.1.1. Proizvodi ekstruzije.....	5
2.1.2. Prednosti ekstruzije	6
2.2. EKSTRUDERI	7
2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada.....	8
2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka	9
2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja	11
2.2.4. Podjela ekstrudera s obzirom na tehničku izvedbu	11
2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA	12
2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE	13
2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA	16
2.5.1. Pšenica	16
2.5.2. Nusproizvodi prehrambene industrije.....	18
2.5.2.1. Pivski trop.....	20
3. EKSPERIMENTALNI DIO	22
3.1. ZADATAK	23
3.2. MATERIJAL I METODE	23
3.2.1. Materijali	23
3.2.2. Metode	23
3.2.2.1. Ekstruzija smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa.....	23
3.2.2.2. Određivanje viskoznosti brašna na Micro Visco-Amylo-Graph-u.....	24
3.2.2.3. Određivanje sedimentacijske vrijednosti (po Zeleny-u).....	25
3.2.2.4. Određivanje amilolitičke aktivnosti brašna metodom «broja padanja».....	27
3.2.2.5. Farinografsko ispitivanje svojstava brašna.....	28
3.2.2.6. Statistička obrada podataka.....	30
4. REZULTATI	31
5. RASPRAVA	35
6. ZAKLJUČCI	39
7. LITERATURA	41

1. UVOD

Ekstruzija, kao sve veći rastući trend proizvodnje široke palete proizvoda u prehrambenoj industriji, ima veliku primjenu i vrlo je značajan proces proizvodnje. Također, u prehrambenoj industriji koristi se i u svrhu modifikacije svojstava sirovina, uglavnom brašna i škroba. Može se reći da je ekstruzija višefunkcionalan proces u kojemu se neka sirovina istodobno podvrgava djelovanju više različitih operacija koje uključuju miješanje, homogenizaciju, kuhanje, geliranje (želatinizaciju), sterilizaciju, oblikovanje i dr.

Materijal se pomoću klipa ili puža u stacionarnom kućištu pod tlakom giba do sapnice koja se nalazi na izlazu iz ekstrudera. Sapnica je izrađena na način da oblikuje proizvod koji se potiskuje kroz nju i uslijed visokog tlaka se proizvod, tj. ekstrudat koji izađe, odmah ekspanzira i pri tome suši (Pozderović, 2009).

Proizvođači prehrambenih proizvoda postali su svjesni kako je porasla svijest potrošača i potreba za tzv. pravilnijom prehranom i zdravijim načinom života pa je time porasla potražnja za funkcionalnim proizvodima, što predstavlja izazov ekstruziji kao proizvodnom postupku. Zbog toga se nastoji obogatiti proizvod povećavajući mu nutritivnu vrijednost kombiniranjem sirovina, kao i upotrebom nusproizvoda koji su nastali preradom nekih sirovina u prehrambenoj industriji (Jozinović, 2011).

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj ekstruzije na svojstva smjesa pšeničnog brašna, koje je glavna sirovina u pekarskim proizvodima, dodatkom pivskog tropa, koji nastaje kao nusproizvod kod proizvodnje piva, u različitim omjerima. Ispitivani su i farinografski parametri kvalitete (upijanje vode, razvoj, stabilnost, otpor, stupanj omekšanja tijesta, farinografski broj kvalitete), sedimentacija, broj padanja i viskoznost.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Ekstruzija je danas nezaobilazan proces proizvodnje primjenjiv i važan u mnogim industrijama, pa tako i u biotehnološkoj proizvodnji i prehrambenoj industriji. Proces karakterizira kratko vrijeme proizvodnje, znatne uštede na energiji, a time su i niže konačne cijene gotovog proizvoda (Babić, 2011). Prema definiciji (Lovrić, 2003), ekstruzija je kontinuirani mehanički i termički proces u kojem se neki materijal prisiljava na gibanje s pomoću klipa (stapa) ili prolazom između jednog (ili dva) rotirajućeg puža i stacionarnog kućišta i izlaskom kroz sapnicu specifičnog oblika. Temperatura kuhanja u ekstruziji može biti u rasponu 180 - 190 °C tijekom 20 - 40 sekundi. Zbog toga razloga proces ekstruzijskog kuhanja predstavlja novi koncept kuhanja, tzv. termomehaničko HTST (engl. *high temperature short time*) kuhanje, u kojemu se upotrebljava mehanička obrada materijala u kratkom vremenu na visokoj temperaturi, i zbog toga je glavna alternativa klasičnom hidrotermičkom kuhanju (Guy, 2001). Ekstruzijsko kuhanje najčešće se primjenjuje u preradi škrobom ili proteinima bogatih proizvoda. Iako je ta primjena danas pretežno ograničena na proizvode s niskom vlažnošću, novija su istraživanja usmjerena i na proizvode s većim sadržajem vode (40 – 80 %) (Cheftel, 1990).

Proces ekstruzije uključuje:

- denaturaciju proteina: temperatura,
- termičko tretiranje: kuhanje,
- promjena teksture namirnice,
- usitnjavanje: tijekom prolaska kroz ekstruder može doći do usitnjavanja čestica,
- homogenizacija i miješanje,
- uklanjanje plinova: namirnice mogu u svojoj strukturi sadržavati mjehuriće plinova (najčešće zraka) koji se mogu ukloniti primjenom ekstrudera,
- aglomeracija: povezivanje (udruživanje) manjih čestica u veće nakupine,
- dehidracija: uklanjanje vlage,
- ekspanziranje: stupanj ekspanzije se kontrolira procesnim parametrima i konfiguracijom ekstrudera,

- želatinizacija: namirnice koje sadrže škrob,
- pasterizacija i sterilizacija: ovisno o uvjetima tijekom ekstruzije (temperatura) (Riaz, 2000).

U tehnološkoj primjeni ekstruzije na prehrambene proizvode obično se razlikuju tri osnovna postupka:

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

Tijekom postupka hladnog ekstrudiranja primjenjuju se temperature 40 – 70 °C i tlakovi 60 – 90 bara, pri čemu se ne provodi zagrijavanje kućišta i sapnice, a hlađenje se vrši po potrebi (odvođenje topline nastale trenjem). U postupku želatinizacije primjenjuju se temperature 70 – 120 °C i tlakovi 70 – 130 bara, a kućište ekstrudera i sapnica zagrijavaju se ili hlade u svrhu održavanja željene temperature u pojedinim zonama ekstrudera. Kod toplog ekstrudiranja temperature se kreću u rasponu 130 – 180 °C, a tlakovi 120 – 250 bara, uz zagrijavanje ili hlađenje kućišta i sapnice s ciljem održavanja željene temperature (Obradović, 2014).

2.1.1. Proizvodi ekstruzije

Najpoznatiji proizvodi dobiveni ekstruzijom su:

- ekspanzirani snack-proizvodi, tzv. RTE (engl. *ready-to-eat*) pahuljice od žitarica i različite vrste žitarica za doručak, različitih oblika, boje i okusa,
- snack peleti – poluproizvodi za proizvodnju prženih proizvoda,
- dječja hrana,
- prethodno kuhano brašno,
- instant koncentрати,
- funkcionalni dodaci,
- teksturirani biljni proteini (uglavnom iz soje),

- tjestenina, krekeri, krušne mrvice, emulzije i paste,
- bomboni, različite vrste slatkiša, žvakaće gume,
- hrana za kućne ljubimce i ribe (Pichler, 2016).

2.1.2. Prednosti ekstruzije

Ekstruzijskom postupku u prehrambenoj industriji daje se prednost pred drugim procesnim tehnikama u smislu kontinuirane prerade sirovine s velikim stupnjem produktivnosti i značajnim očuvanjem nutritivnih svojstava proizvoda, radi obrade koja se događa u vrlo kratkom vremenu zadržavanja, a pri visokim temperaturama obrade (Guy, 2001).

Ostale brojne prednosti primjene ekstruzije su:

- 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, što smanjuje degradaciju nutrijenata uz povećanje probavljivosti proteina i škroba 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. EKSTRUDERI

Ekstruderi su u osnovi pužne pumpe kroz koje se materijal prisiljava da teče, uz jedan ili nekoliko tipova miješanja, zagrijavanja ili smicanja, kroz sapnicu čiji je zadatak oblikovanje i sušenje sastojaka. To je uređaj kojim se obavlja oblikovanje i restrukturiranje sastojaka hrane. Ekstruderi se mogu upotrijebiti za kuhanje, oblikovanje, miješanje i završno oblikovanje prehrambenih proizvoda pod uvjetima koji pogoduju održavanju kvalitete, uz veliku produktivnost i male troškove. U današnje vrijeme je dostupan veliki broj uređaja za ekstrudiranje koje se mogu primijeniti za dobivanje širokog spektra proizvoda (Čolović, 2009).

Ekspanzija korištenja ekstrudera u prehrambenoj industriji dogodila se u drugoj polovici dvadesetog stoljeća korištenjem jednopužnih ekstrudera u proizvodnji različitih vrsta snack-proizvoda (Brnčić i sur., 2000).

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

- visoka temperatura: 150 – 220 °C, postignuta trenjem, prijelazom topline kroz kućište i/ili injektiranjem pare,
- kratko vrijeme (zadržavanja materijala): 10 – 200 sekundi za dužinu kućišta od 0,2 – 3 metra,
- visoki tlak: 100 – 200 bara, zavisno o karakteristikama puža,
- velika brzina smicanja: $\geq 100 \text{ s}^{-1}$, za brzine (broj okretaja) puža 50 – 1000 min^{-1} ,
- niska vlažnost: 10 – 30 %,
- veliki unos energije: 0,3 – 2 MJkg^{-1} ,
- veliki kapacitet: do 10 Th^{-1} (Cheftel, 1990).

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

1. termodinamički uvjeti rada,
2. način stvaranja tlaka,
3. veličina smicanja (Lovrić, 2003).

2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

Prema termodinamičkim uvjetima rada, ekstruderi se dijele na:

- a) adijabatski (autogeni) ekstruderi – ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. Kod njih se toplina razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala u uređaju te se u pravilu ne dovodi niti se odvodi toplina, a potrebna je niska vlažnost sirovina (8 – 14 %),
- b) izotermni ekstruderi – ekstruderi u kojima se određena konstantna temperatura održava hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplinu,
- c) politropski ekstruderi – ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta te se većinom, u prehrambenoj industriji, koristi upravo ovaj tip ekstrudera (Lovrić, 2003).

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

Prema načinu stvaranja tlaka, ekstruderi se dijele na:

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

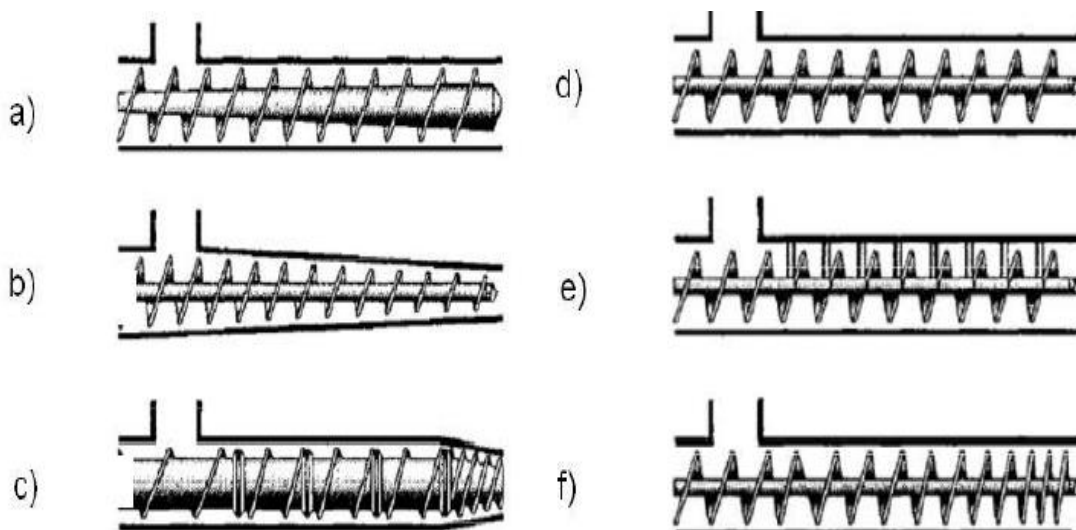
Klipni ekstruderi su najjednostavniji tip ekstrudera koji se sastoji od klipa i kućišta. Klip tlači materijal kroz kućište, pri čemu ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata su gotovo nepromijenjena u odnosu na ishodišni materijal. Ovaj tip ekstrudera primjenjuje se za nadijevanje kobasica i za ekstruziju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

Pužni (vijčani) ekstruderi su ekstruderi sa jednim ili sa dva paralelna puža ili vijka. Kod ekstrudera sa dva vijka vijci su postavljeni paralelno i oni mogu biti različite konstrukcije. Mogu biti isprepleteni potpuno ili djelomično i razdvojeni. Ekstruderi sa jednim vijkom mogu biti sa smanjenjem koraka vijka i sa smanjenjem promjera vijka ili kućišta ili oba. Jednopusni

(jednovijčani) ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova, zavisno o dužini pužnice, dubini kanala, usponu puža i prividnoj viskoznosti materijala.

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

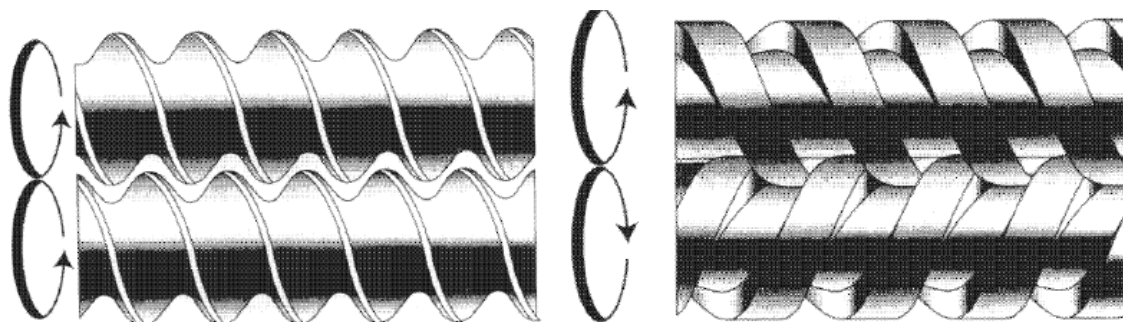
- a) konstantan promjer kućišta, povećanje promjera puža,
- b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža,
- c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža,
- d) konstantan promjer kućišta i geometrija puža,
- e) konstantan promjer kućišta s graničnicima te konstantna geometrija puža,
- f) konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Pichler, 2016).



Slika 1 Konfiguracije puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera; a) konstantan promjer kućišta, povećanje promjera puža, b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža, c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža, d) konstantan promjer kućišta i geometrija puža, e) konstantan promjer kućišta s graničnicima te konstantna geometrija puža, f) konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Rokey, 2000)

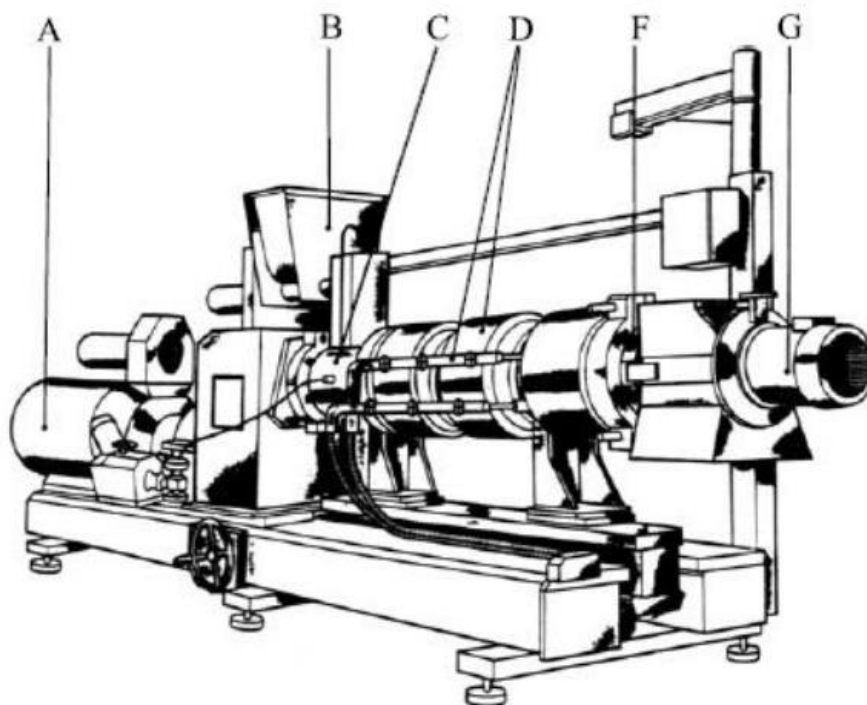
Osnovna podjela dvopužnih ekstrudera prema smjeru okretaja pužnica prikazana je na **Slici 2**:

1. istosmjerni okretaji pužnica,
2. suprotni smjer okretaja pužnica.



Slika 2 Podjela dvopužnih ekstrudera; istosmjerni okretaji pužnica (lijevo) i suprotni smjer okretaja pužnica (desno) (Babić, 2011)

Tokovi u dvopužnim ekstruderima su složeniji nego u jednopužnim ekstruderima. Kod dvopužnih ekstrudera pužnice se mogu okretati u istom ili u suprotnom smjeru; navoji pužnice se mogu ne zahvaćati, djelomično zahvaćati te potpuno zahvaćati, a geometrija pužnice može biti različita. Cilindar (kućište) ekstrudera se često ožljebljuje s unutarnje strane, kako bi se smanjilo proklizavanje po površini do kojega dolazi kada smično naprezanje postaje veće od adhezije materijala uz stjenke kućišta. Žljebovi pomažu lijepljenju materijala uz stjenku (**Slika 3**) (Lovrić, 2003).



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

2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

Prema veličini smicanja, ekstruderi se dijele na:

- nisko-smični ekstruderi – ovi ekstruderi se još nazivaju i ekstruderi hladnog oblikovanja. Kućište kod ovih ekstrudera je glatko, puževi su sa dubokim navojima, a brzina okretaja puža je mala. Oni se primjenjuju u oblikovanju tijesta, keksa, mesnih proizvoda i određenih konditorskih proizvoda.
- srednje-smični ekstruderi – ovi ekstruderi imaju puževe za postizanje visokih tlakova, kućište sa žljebovima kako bi se poboljšalo miješanje, a toplina se dovodi izvana. Ne provodi se ekspanzija na izlazu iz ekstrudera, a koriste se za proizvodnju proizvoda mekane konzistencije sa povišenim udjelom vlage. Sirovine se prije unošenja u ekstruder pripremaju miješanjem do konzistencije tijesta.
- visoko-smični ekstruderi – ovi ekstruderi se još nazivaju i *Collet* ekstruderi. Oni imaju kućište sa žljebovima i puževe sa plitkim navojima. Na izlazu iz ekstrudera dolazi do ekspanzije i sušenja proizvoda što rezultira hrskavom i poroznom strukturom. Ovaj tip ekstrudera se koristi za proizvodnju ekspandiranih snack-proizvoda (Babić, 2011).

2.2.4. Podjela ekstrudera s obzirom na tehničku izvedbu

Obzirom na tehničku izvedbu, ekstruderi se dijele na:

- jednopužni,
- dvopužni.

Osnovna razlika između jedno- i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta unutar uređaja. U jednopužnom ekstruderu transport materijala prvenstveno proistječe iz razlika sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. U dvopužnom ekstruderu s uzajamno zahvaćajućim pužnicama (vijcima) onemogućeno je okretanje materijala zajedno s pužnicom. U ovom je slučaju trenje od manjeg značenja nego kod jednopužnih ekstrudera (Lovrić, 2003).

U odnosu na jednopužne, dvopužni ekstruderi imaju niz prednosti:

- jednostavnije je održavanje,
- manje je izraženo pulsiranje materijala na izlazu,

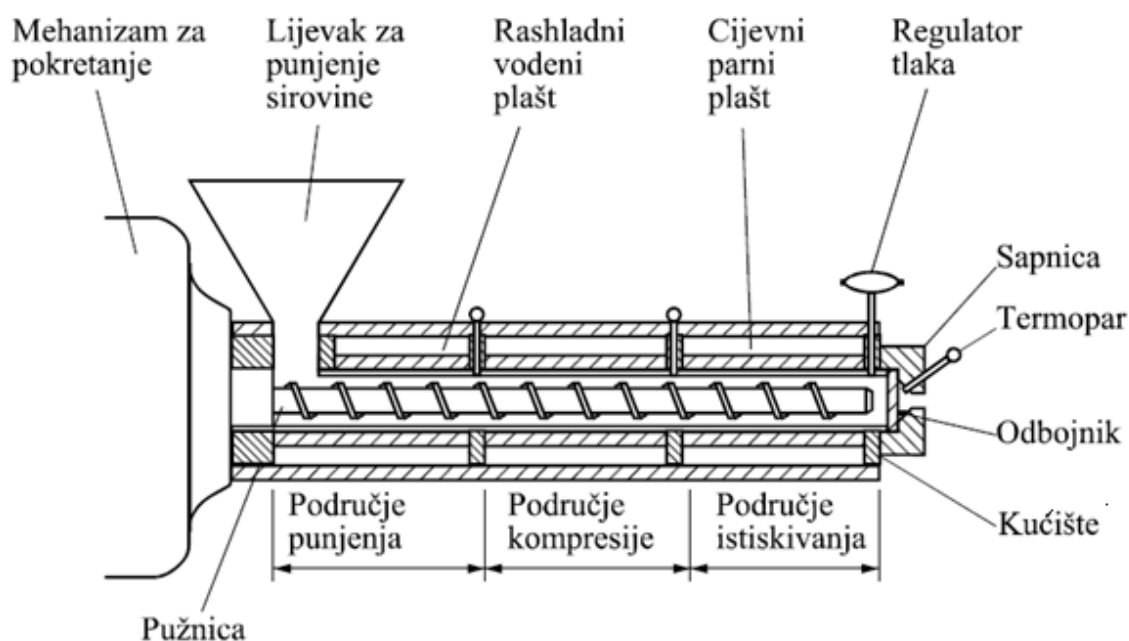
- moguće je procesiranje vrlo viskoznih, ljepljivih i vlažnih materijala koje sadrže relativno visoku količinu ulja,
- moguće je procesirati širok raspon materijala, s obzirom na veličinu čestica,
- vrlo lagano čišćenje i održavanje zbog svojstva samočišćenja (Pichler, 2016).

Dvopužna ekstruzija koristi se češće nego jednopužna pri proizvodnji ekstrudata s povećanim udjelom proteina. Istraživanja pokazuju da dvopužni ekstruder, zbog mogućnosti različitog postavljanja konfiguracije puža, omogućava proizvodnju raznovrsnih ekstrudiranih proizvoda (Brnčić i sur., 2008).

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Rad svakog ekstrudera zasniva se na postojanju tri zone (sekcije) prikazane **Slikom 4**:

1. zone uvlačenja (napajanja),
2. zone kompresije (prijelaza),
3. zone istiskivanja (Lovrić, 2003).



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

Uloga zone uvlačenja (napajanja) je prihvatiti materijal i transportirati ga u zonu kompresije. Obično se sastoji od puža koji transportira materijal, a sam puž dozirke ima mogućnost podešavanja broja okretaja što omogućava doziranje veće/manje količine sirovine.

Uloga zone kompresije (prijelaza) je vršiti kompresiju materijala, pri čemu se mehanička energija pretvara u toplinu, što uzrokuje porast temperature i plastificiranje materijala koji je u početku bio praškast ili u vidu granula. U ovoj fazi, zbog zagrijavanja, dolazi do kuhanja, želatinizacije i sterilizacije.

Uloga zone istiskivanja je prihvatiti stlačeni materijal, homogenizirati ga i potiskivati ga kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog sile smicanja i miješanja uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz kućište (Pichler, 2016).

Tlak svoj maksimum dostiže na kraju puža, a nakon izlaska materijala kroz sapnicu tlak pada na atmosferski. Kod ekstrudera kod kojih se postižu visoki tlakovi i temperature, prilikom prolaska stlačenog materijala kroz sapnicu na atmosferski tlak, dolazi do ekspanzijskog sušenja (Pozderović, 2009). Pri tome voda naglo isparava iz materijala zbog čega dolazi do ekspanzije (povećanja) volumena i dehidracije materijala (Babić, 2011).

Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

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

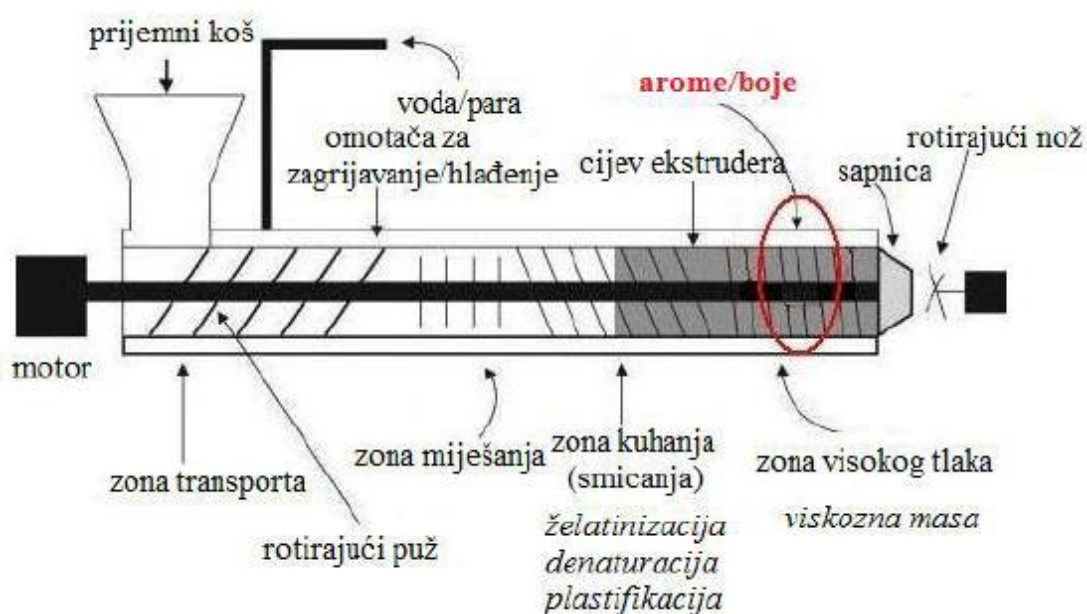
2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE

Pet glavnih kemijskih ili fizikalno-kemijskih promjena koje mogu nastati tijekom procesa ekstruzije su:

- vezivanje,
- cijepanje,
- gubitak prirodne strukture,
- rekombinacija dijelova,

- termička razgradnja (Camire, 2000).

Sastav ekstrudirane hrane mijenja se i uslijed materijalnih gubitaka, kao što su istjecanje ulja ili isparavanje vode i drugih hlapivih komponenti, pri izlasku iz sapnice. S obzirom da se većina kemijskih reakcija odvija upravo u ovoj fazi, poželjno je da se termolabilne komponente, kao što su arome i vitamini, dodaju neposredno prije sapnice (**Slika 5**), kako bi se smanjio utjecaj topline i smicanja i na taj način izbjegli veći gubici (Jozinović, 2015).



Slika 5 Shema osnovnih dijelova ekstrudera s mjestom dodatka termolabilnih sastojaka
(Pichler, 2016)

Tijekom ekstruzije odvijaju se kemijske i nutritivne promjene brojnih komponenata hrane kao što su:

- škrob - proces želatinizacije odvija se uglavnom kod primjene svih tipova ekstrudera i generalno je veoma poželjan. Želatinizirani škrob ima izraženo svojstvo povezivanja te stoga može povezivati sve sastojke u homogenu oblikovan finalni proizvod. Također, želatinizirani škrob je probavljiviji od sirovog škroba, a i nutritivna vrijednost škroba se povećava nakon ekstruzije (Riaz, 2007).
- prehrambena vlakna - postupkom ekstruzije uglavnom se smanjuje udio netopljivih prehrambenih vlakana, ali je to obično povezano s povećanjem udjela topljivih

vlakana, što bi značilo da tijekom procesa ekstruzije dolazi do transformacije dijela netopljivih u topljiva vlakna (Wang i Ryu, 2013; Vasanthan i sur., 2002; Wolf, 2010).

- proteini - umjerenim temperaturama ekstruzije postiže se poboljšanje nutritivne vrijednosti i probavljivosti proteina, a ekstrudiranje pri višim temperaturama ima suprotno djelovanje (Móscicki i sur., 2011).
- lipidi - u pravilu, udio masti se smanjuje nakon procesa ekstruzije. Dio lipida može se izgubiti na sapnici u obliku slobodnog ulja, ali ovo je slučaj samo kod sirovina bogatih mastima, kao što je cjelovita soja. Drugo objašnjenje za manji udio lipida je stvaranje kompleksa s amilozom i proteinima, koji su otporni na neke tehnike ekstrakcije lipida (Camire, 2000).
- mineralne tvari - iako su veoma značajni u prehrani, minerali i njihova stabilnost tijekom ekstrudiranja nisu puno istraživani, jer je poznato da su stabilni u svim ostalim procesima proizvodnje namirnica (Camire, 2000).
- vitamini - 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 viših od 100 °C, očekivan je određeni gubitak vitamina, naročito vitamina topivih u vodi kao što je askorbinska kiselina (vitamin C). Brojna istraživanja potvrdila su 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 značajno manji (Móscicki i sur., 2011).
- sekundarni biljni metaboliti - udio ukupnih slobodnih fenola, na prvom mjestu klorogenske kiseline, značajno je snižen tijekom ekstruzije. Veći udio fenola održi se pri višoj temperaturi ekstruzije i višoj vlažnosti. "Izgubljeni" fenoli najvjerojatnije su oni koji reagiraju međusobno ili s drugim spojevima, pri čemu nastaju veće u vodi netopljive molekule (Camire, 2000).
- tvari arome - visoke temperature u kućištu ekstrudera i mala vlažnost pogoduju Maillard-ovim reakcijama, čiji su produkti odgovorni za karakterističnu aromu termički procesiranih proizvoda žitarica. Dodavanje aroma nakon ekstrudiranja obično se primjenjuje da bi se pospješila njihova ugradnja i postojanost. Neka

istraživanja preporučuju dodavanje prije, ili tijekom ekstrudiranja, jer se na taj način povećava stabilnost i zadržavanje arome (Camire, 2000).

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Žitarice kao što su kukuruz, zob, pšenica i riža, pored krumpira predstavljaju najznačajnije i najzastupljenije sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Svim navedenim sirovinama je zajedničko da u svom sastavu imaju velike količine škroba koji tijekom procesa ekstruzije značajno mijenja svojstva i tako utječe na kakvoću gotovog proizvoda. Dakle, sirovine koje se koriste za ekstrudiranje su materijali bogati škrobom i proteinima. U većini slučajeva tijekom ekstruzije procesiraju se tjestaste smjese brašna žitarica ili proteinskih smjesa. Tijekom ekstrudiranja pod utjecajem topline i vode dugi lanci škroba razbijaju se, tako da škrob postaje topljiviji i probavljiviji. Škrob želatinizira pri čemu upija određenu količinu vode uz povećanje viskoznosti. Tijekom ekstrudiranja proteini se denaturiraju, što se očituje znatnim smanjenjem njihove topljivosti, pri čemu poboljšavaju elastičnost i sposobnost zadržavanja plinova (Pozderović, 2009).

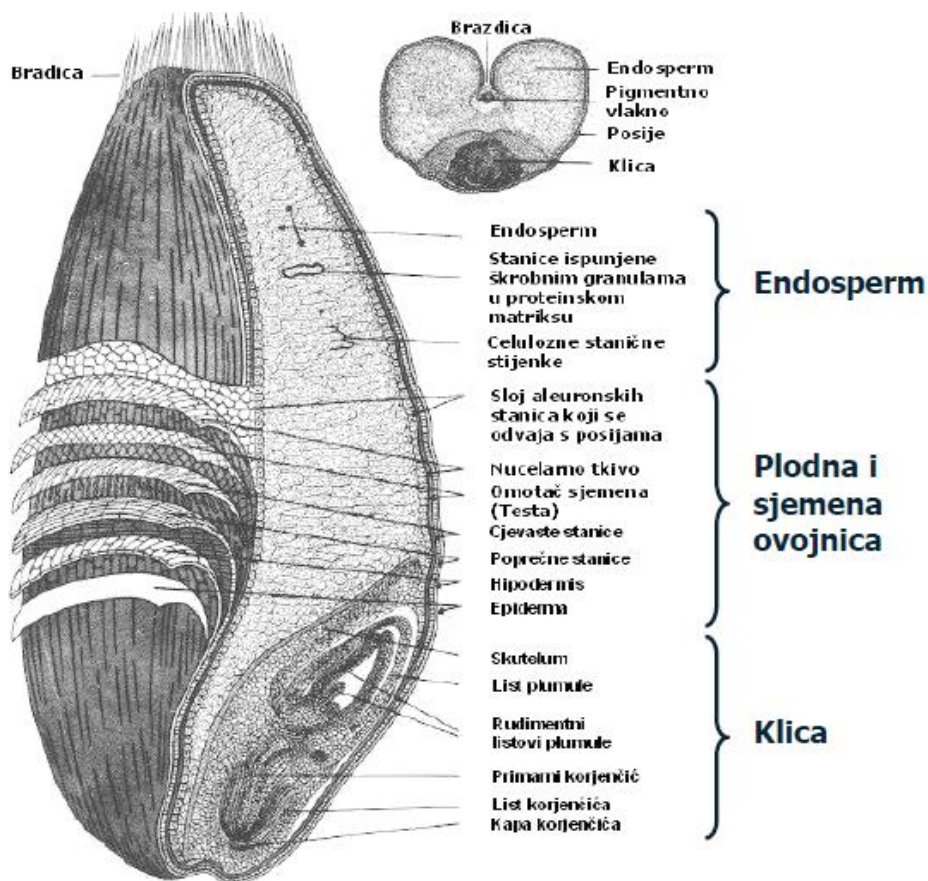
Kod odabira sirovina primarni je čimbenik nutritivna vrijednost, zatim slijede cijena i dostupnost sirovine, a na kakvoću sirovina značajno utječu skladištenje i priprema. Dobra proizvođačka praksa ključna je kako bi se izbjegle oscilacije u kakvoći proizvoda uzrokovane promjenama kakvoća sirovina (Babić,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

2.5.1. Pšenica

Pšenica je globalno najvažnija biljka, a pripada skupini žitarica koje se koriste za neposrednu prehranu ljudi i prerađuju u mlinske, pekarske, tjesteničarske i slične proizvode. Žitarice su najrasprostranjenije i najvažnije kultivirane biljke na svijetu od izuzetno velikog ekonomskog i prehrambenog značaja zbog niske cijene te lakog čuvanja i transportiranja. Najvažniji prehrambeni proizvodi pšenice su brašno i krupica od kojih se zatim može proizvesti kruh, tjestenina, keksi, kolači i drugi proizvodi od brašna. Za ljudsku prehranu koristi se samo zrno pšenice. Zrno (pšeno) je suhi jednosjemeni plod koji sadrži sve prehrambene sastojke za razvoj i rast klice i mlade biljke. Plod (zrno) (**Slika 6**) sastoji se od:

- plodne i sjemene ovojnice (omotač),
- aleuronskog sloja,

- endosperma i
- klice (Babić, 2011).



Slika 6 Građa zrna pšenice (Babić, 2011)

Najveći dio zrna čini endosperm (70 – 85 %) iz kojeg se dobiva brašno dok se ostali dijelovi zrna prilikom mljevenja odvajaju u posije, a one se koriste kao stočna hrana. **Tablicom 1** prikazan je kemijski sastav pojedinih dijelova zrna pšenice.

Tablica 1 Kemijski sastav pojedinih dijelova pšeničnog zrna (Babić, 2011)

Maseni udio (%)							
	Proteini	Škrob	Šećeri	Celuloza	Pentozani	Masti	Pepeo
Cijelo zrno (100 %)	16,07	63,07	4,32	2,76	8,1	2,24	2,18
Endosperm (81,5 %)	12,91	78,92	3,54	0,3	2,78	0,68	0,45
Aleuronski sloj (6,44 %)	32	-	6,82	6,41	15,44	8,16	10,93
Klica (3,24 %)	37,63	-	25,12	2,41	9,74	19,04	6,32
Ovojnice (8,82 %)	10,56	-	2,59	51,4	21,1	2,4	7,0

Kvalitetu pšenice (i žitarica) te prerađevina određuje:

- botanička pripadnost žitarica,
- organoleptička svojstva,
- količina i vrsta stranih primjesa,
- udio vode,
- fizikalna svojstva žitarica,
- kemijska svojstva,
- prisutnost štetočina, mikroorganizama i njihovih štetnih metabolita,
- prisutnost ostataka pesticida i dr. otrovnih tvari (Babić, 2011).

2.5.2. Nusproizvodi prehrambene industrije

Posljedica intenzivne proizvodnje hrane je velika količina otpada koja nastaje preradom i pakiranjem. Navedeni otpad može se koristiti na nekoliko načina, uključujući neposredno odlaganje u obliku gnojiva/komposta, sušenje otpada kako bi se koristio kao stočna hrana ili dodatak stočnoj hrani ili obrađivanje otpada s ciljem dobivanja biomase (Gautam i sur., 2007; Hawkins, 2010). Današnja prehrambena industrija razvija nove proizvode tipa kruha, tjestenine, snack-proizvoda i sl., koje konzumira široka populacija, obogaćene sastojcima koji su slabo zastupljeni u svakodnevnoj prehrani (vlakna, omega 3- i 6- masne kiseline,

antioksidansi, vitamini, β -glukan...) i funkcionalne proizvode, koji imaju dokazan pozitivan utjecaj na zdravlje ljudi. Nusproizvodi prehrambene industrije, poput tropa jabuke, nusproizvoda iz prerade šećerne repe, i pivskog tropa bogat su izvor polifenola, vlakana i β -glukana (Jozinović i sur., 2014). Prehrambena industrija se nalazi pred brojnim izazovima koji su s jedne strane usmjereni na veliku potražnju za hranom, a s druge strane na razvoj proizvoda visoke nutritivne vrijednosti čijom se konzumacijom može poboljšati opće stanje organizma, ali i spriječiti nastanak i razvoj oboljenja suvremenog doba. U tom pogledu jedna od glavnih smjernica razvoja prehrambene industrije je i pronalaženje novih sirovina i izvora potencijalno funkcionalnih sastojaka koji bi omogućili realizaciju tih izazova. Među komponentama kojima se mogu obogatiti pekarski i keksarski proizvodi su i prehrambena vlakna, a kao izvori vlakana (i drugih visokovrijednih komponenti) mogu se koristiti i pojedini nusproizvodi prehrambene industrije (Sharma i Gujral, 2014; Ktenioudaki i Gallagher, 2012; O'Shea i sur., 2012).

2.5.2.1. Pivski trop

Pivo je jedno od najčešće konzumiranih alkoholnih pića u svijetu. Bogato je hranjivim sastojcima, ugljikohidratima, aminokiselinama, mineralima, vitaminima i fenolnim tvarima (Gerhäuser, 2005). U toku proizvodnje piva nastaje značajna količina različitih sporednih proizvoda. U zavisnosti od količine najzastupljeniji sporedni proizvodi su pivski trop i pivski kvasac. Sve više prisutna svijest o zaštiti okoline i smanjenju zagađenja dovodi do razvoja novih tehnologija za iskoristivost sporednih proizvoda. Pivski trop se može primijeniti kao stočna hrana (Gallo i sur., 2001; Firkins i sur., 2002; Dhiman i sur., 2003; Kaur i Saxena, 2004), dodatak proizvodima namijenjenim za ljudsku prehranu (Ktenioudaki i sur., 2013; Öztürk i sur., 2002; Plessas i sur., 2007), sirovina u biotehnologiji, sirovina za proizvodnju građevinskog materijala (Russ i sur., 2005), proizvodnju papira (Ishiwaki i sur., 2000), energije (Rieker i sur., 1992; Ezeonu i Okaka, 1996; Okamoto i sur., 1999; Zanker i Keppinger, 2002) i kao adsorbens (Chiang i Chang, 1992; Low i sur., 2000; Low i sur., 2001; Silva i sur., 2004).

Od 100 kg slada utrošenog za proizvodnju sladovine dobiva se 100 do 130 kg tropa sadržaja vlage 70 – 80 %. Pivski trop čini najveći dio sporednih proizvoda proizvodnje piva; približno 85 % od ukupnih sporednih proizvoda. Na 100 L proizvedenog piva, dobije se oko 20 kg tropa (Mussatto i sur., 2006; Bamforth, 2006). Nutritivna vrijednost tropa iznosi 20 % nutritivne vrijednosti jednake količine ječma (Wunderlich i Back, 2008). Trop nastaje u velikim količinama tijekom cijele godine, jeftin je ili besplatan i njegov visok sadržaj proteina i

ugljikohidrata čini ga isplativim za upotrebu u biotehnologiji. Ovisno o tipu piva koji se proizvodi, pivski trop u svom sastavu može sadržavati ostatke ječmenog slada ili nesladovanih sirovina, tzv. surogata. S obzirom na veliki udio proteina i vlakana (oko 20 i 70 % s. tv.) te β -glukana, Mussatto i sur. (2006) navode da bi se ovaj nusproizvod mogao koristiti za obogaćivanje u proizvodnji žitarica za doručak, keksa, pšeničnog kruha, snack i drugih proizvoda, pri čemu bi se prije upotrebe trebalo provesti njegovo sušenje i mljevenje. Kao glavni nedostatak njegove primjene navodi se značajan utjecaj na promjenu boje i neugodan miris kod upotrebe u većim udjelima. Kemijski sastav pivskog tropa varira od sorte ječma koja se koristi, zatim od vremena žetve, uvjeta ukomljavaanja i tipa i kvalitete surogata koji se koriste za proizvodnju sladovine. Pregled sastava pivskog tropa prikazan je u **Tablici 2**. Hemiceluloza, celuloza i škrob tropa čine najveći dio suhe tvari (oko 50 – 60 %). Trop sadrži proteine velike biološke vrijednosti bogate glutaminom (Santos i sur., 2003). Proteini tropa su porijeklom iz aleuronskog sloja ječma i čine ih: albumin, globulin, glutelin i hordein (Celus, 2008). Najzastupljeniji monosaharidi u tropu su: ksiloza, glukoza i arabinoza (Robertson i sur., 2010; Aliyu i Bala, 2011). Minerali, vitamini i aminokiseline se također nalaze u pivskom tropu.

Tablica 2 Sastav pivskog tropa (Pejin i sur., 2013)

Tvar	% suhe tvari
Celuloza	14,7 – 16,8
Hemiceluloza	23,0 – 32,5
Lignin	12,6 – 27,8
Proteini	15,3 – 21,5
Mineralne tvari	3,4 – 4,8
Ugljikohidrati	52,5
Sirova vlakna	-
Masti	11,7
Škrob	6,0 – 12,5

Utjecaj dodatka pivskog tropa u pšenično brašno u proizvodnji kruha ispitali su Stojceska i Ainsworth (2008) te zaključili da se dodatkom pivskog tropa povećava udio vlakana, što

utječe na produženje razvoja i stabilnosti tijesta te smanjenje stupnja omekšavanja i volumena kruha. Slično istraživanje o utjecaju dodatka pivskog tropa i tropa jabuke na reološka svojstva pšeničnog tijesta proveli su Ktenioudaki i sur. (2013) te utvrdili da je veći udio proteina imao pivski trop, a oba nusproizvoda su bogat izvor prehrambenih vlakana (trop jabuke: 36,5 % netopljivih i 6,6 % topljivih; pivski trop: 58,2 % netopljivih i 1,3 % topljivih, izraženo na suhu tvar).

3.EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa (omjer pšenično brašno:pivski trop = 85:15; 70:30; 55:45) i utvrditi potencijal smjesa za upotrebu kao modificirano brašno. Smjese vlažnosti 30 % ekstrudirane su u laboratorijskom ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/20 DN, GmbH, Duisburg, Njemačka. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna i reološka svojstva te su rezultati uspoređeni s neekstrudiranim uzorcima pšenice.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

1. Pšenično brašno - uzorci pšenice prikupljeni su iz sortnih pokusa Poljoprivrednog instituta Osijek nakon žetve 2014. godine,
2. Pivski trop - darovan iz Osječke pivovare d.d. 2016. godine i osušen u sušioniku Memmert (UFE 500), Schwabach, Njemačka, na temperaturi 60 °C.

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa

Pripremljenim smjesama pšeničnog brašna i pivskog tropa (pšenično brašno:pivski trop = 85:15, 70:30, 55:45) najprije je podešena vlažnost na 30 % te su uzorci čuvani u plastičnim vrećicama na 4 °C preko noći kako bi im se ravnomjerno rasporedila vlaga. Nakon toga smjese su ekstrudirane u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/20 DN, GmbH, Duisburg, Njemačka (**Slika 7**) pri sljedećem režimu:

- konfiguracija puža: 1:1
- sapnica: 5 mm
- temperaturni profil: 70/90/110 °C.

Dobiveni ekstrudati su osušeni preko noći, a nakon toga samljeveni na laboratorijskom mlinu (Mlin čekićar MP-88, Miostandard Osijek, sito 2 mm) i zapakirani u vrećice sa zatvaračem do određivanja fizikalnih i reoloških svojstava.



Slika 7 Laboratorijski jednopolžni ekstruder Brabender 19/20 DN

3.2.2.2. Određivanje viskoznosti brašna na Micro Visco-Amylo-Graph-u

Određivanje viskoznosti brašna provedeno je Brabenderovim Mikro visko-amilografom, tip 803202, Brabender GmbH & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 8**). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.



Slika 8 Brabenderov Mikro-visko amilograf

Uzorak samljevenih ekstrudata, odnosno neekstrudiranih zamjesa izvaže se u posudu Brabenderovog Mikro-visko amilografa, te se doda destilirana voda kako bi se pripravilo 100 g 10 % suspenzije. Prilikom mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti sljedećem temperaturnom programu:

1. zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C min⁻¹,
2. izotermno na 92 °C, 5 min,
3. hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C min⁻¹,
4. izotermno na 50 °C, 1 min.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 okretaja min⁻¹, pri čemu se dobiju sljedeći parametri:

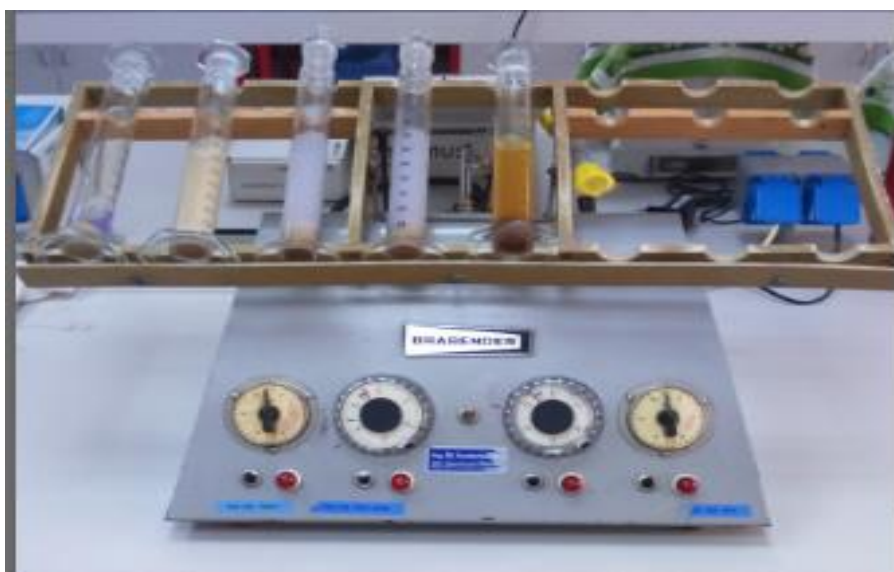
- A) početna temperatura želatinizacije škroba [°C],
- B) viskoznost vrha – označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU],
- C) vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU],
- D) vrijednost viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C [BU],
- E) vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU],
- F) vrijednost viskoznosti nakon 1 min miješanja na 50 °C [BU],
- BD) kidanje – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU],
- ED) „setback“ – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

3.2.2.3. Određivanje sedimentacijske vrijednosti (po Zeleny-u)

Metoda određivanja sedimentacijske vrijednosti temelji se na sposobnosti bjelančevina glutena da bubre pod utjecajem mliječne kiseline. Ovom metodom se određuje relativna snaga glutena pšeničnog brašna. Sedimentacijske vrijednosti, odnosno sedimentacijski volumeni, ovise o količini i kakvoći bjelančevina pšenice. Postoji pozitivna korelacija između sedimentacijske vrijednosti i jačine glutena, kao i volumena pekarskog proizvoda. Ova metoda je naročito primjenjiva za brašna pšenice iz cjelovitog zrna.

Princip metode je u usitnjavanju i prosijavanju uzorka pšenice, a potom suspendiranju u otopini mliječne kiseline određeno vrijeme. Suspenzija se taloži nakon vremena utvrđenog u standardu i očitana količina taloga predstavlja sedimentacijsku vrijednost izraženu u mL. Brzina sedimentacije suspenzije brašna, u otopini mliječne kiseline, ovisi o određenim svojstvima proteina pšenice, odnosno viši sadržaj glutena i njegova bolja kvaliteta dovode do sporije sedimentacije i viših vrijednosti sedimentacijskog testa (Koceva Komlenić i sur., 2016).

Određivanje sedimentacijske vrijednosti provodi se na uređaju za sedimentaciju (mućkalica), Brabender, Njemačka (**Slika 9**), prema metodi AACC 56-61.02.



Slika 9 Mućkalica za sedimentaciju

Kemikalije koje se koriste za određivanje sedimentacije su:

- izopropilni alkohol 99 – 100 %-tni,
- destilirana ili demineralizirana voda (voda koja se koristi za pripremu reagensa ne smije sadržavati više od 2 ppm-a mineralnih tvari),
- otopina brom fenol-plavog (4 mg bromfenol-plavo otopi se u 1000 mL destilirane vode),
- osnovna otopina mliječne kiseline: 86 %-tna mliječna kiselina razblažena destiliranom vodom,
- reagens za sedimentacijski test.

U menzure od 100 mL (8 komada) odvaži se 3,2 g brašna, doda 50 mL otopine brom fenol-plavila za hidrataciju te se zatvori cilindar. Brašno i reagens se dobro promiješaju mućkanjem u horizontalnom položaju 5 s, i to lijevo i desno 12 puta u oba smjera. Ovim postupkom

brašno se mora u potpunosti suspendirati. Cilindar se namjesti na mućkalicu i mućka 5 min. Nakon toga cilindar se skine s mućkalice, dopuni s 25 mL mliječne kiseline za sedimentacijski test i ponovno se mućka na mućkatici 5 min. Potom se cilindar izvadi iz mućkalice, ostavi 5 min uspravno te očita volumen sedimenta u mL s točnošću od 0,1 mL. Očitana vrijednost predstavlja sedimentacijsku vrijednost.

Sedimentacijska vrijednost kreće se između 8 mL (za brašno sa slabim lijepkom i niskim sadržajem proteina) i 78 mL (za brašno sa jakim lijepkom i vrlo visokim sadržajem proteina). Razlika između paralelnog određivanja ne smije biti veća od 2 jedinice (Upute za laboratorijske vježbe, 2010).

3.2.2.4. Određivanje amilolitičke aktivnosti brašna metodom «broja padanja»

Broj padanja, odnosno FN (engl. *falling number*), je međunarodna standardna metoda za određivanje α -amilaze u žitaricama i brašnu, te sličnim proizvodima koji sadrže škrob, npr. pšenici, ječmu i raži. Ovom metodom određuje se aktivnost α -amilaze u škrobu ispitivanog uzorka.

Metoda se temelji na brznoj želatinizaciji suspenzije brašna ili krupice u vrućoj vodenoj kupelji te mjerenju likvefakcije škroba pomoću α -amilaze. Vrijednost broja padanja obrnuto je proporcionalna udjelu α -amilaze u uzorku.

Broj padanja definira se kao ukupno vrijeme od trenutka ulaganja kivete sa suspenzijom u vodenu kupelj pa do kraja penetracije miješalice viskozimetra kroz škrobni gel. Odnosno, to je zbroj vremena potrebnog za miješanje i vremena za koje miješalica viskozimetra prijeđe određenu udaljenost kroz zagrijani škrobni gel koji se nalazi u fazi likvefakcije, a izražava se u sekundama.

Određivanje broja padanja provedeno je na uređaju za određivanje broja padanja, Falling Number 1500, Perten Instruments AB, Švedska (**Slika 10**) prema metodi AACC 56-81B.



Slika 10 Uređaj po Hagbergu za određivanje broja padanja

Uzorak se izvaže u kivetu (preračunato na 14 % vlažnosti) i doda destilirana voda, zatvori gumenim čepom i snažno promućka dok se ne dobije homogena suspenzija. Čep se skinie i u kivetu se stavlja standardna miješalica. Kiveta s miješalicom se brzo stavlja u svoje ležište na poklopcu uređaja. Uređaj se uključi te automatski započinje miješanje i penetracija miješalice kroz škrobni gel, a mjerač bilježi vrijeme odvijanja tih operacija. Kraj analize označava zvučni signal te se uređaj ručno zaustavi i očita vrijeme u sekundama.

Ukoliko je broj padanja ispod 150 sekundi, pšenica je prokljerala i aktivnost α -amilaze je visoka, a kruh od takve pšenice imao bi ljepljivu sredinu. Ako je broj padanja između 200 i 300 sekundi, aktivnost α -amilaze je normalna. Optimalan raspon vrijednosti broja padanja je između 250 i 300 sekundi. Ukoliko je broj padanja iznad 350 sekundi aktivnost α -amilaze je mala, a kruh dobiven od takvog brašna bio bi malog volumena te bi imao suhu i mrvljivu sredinu (Koceva Komlenić i sur., 2016).

3.2.2.5. Farinografsko ispitivanje svojstava brašna

Prema metodi AACC 54-21.02 se specificira upotreba Brabender Farinograph-a (**Slika 11**) za određivanje upijanja vode pšeničnog brašna i ponašanje tijesta napravljenog od brašna i vode tijekom zamjesa.



Slika 11 Brabenderov farinograf

Farinografom (Brabender, Duisburg, Njemačka) se mjeri jačina otpora koje pruža tijesto pri gnječenju i miješanju. Uz jednolično intenzivno miješanje doda se onoliko vode koliko je potrebno da se tijesto zamijesi do konzistencije koja u farinografu odgovara 500 farinografskih jedinica (FJ) te se mijesi 15 min. Iz tijeka i širine krivulje zaključuje se o svojstvima brašna (Koceva Komlenić i sur., 2016).

Termostat uređaja i cirkulacijsku pumpu potrebno je uključiti najmanje sat vremena prije mjerenja. Izvaži se $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ brašna koje se stavi u mjesilicu. Mjesilica se poklopi, a bireta napuni vodom temperature $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Pisaljka se napuni tintom, uključi se uređaj i praznim hodom mjesilice podese da pisaljka bilježi nultu vrijednost 1 min. Brašno se zagrijava. Zatim se dodaje voda iz birete u ujednačenom mlazu. Količina vode ovisi o brašnu, dodaje se od 55 do 60 % na količinu brašna, odnosno dodaje se toliko vode da se postigne konzistencija od $500 \pm 10 \text{ BU}$ (Brabenderovih jedinica). Nakon što se postigne linija konzistencije 500 BU, mijesenje traje 15 min (AACC 54-21.02).

Farinograf daje informacije o:

- sposobnosti upijanja vode,
- razvoju tijesta,
- stabilnosti tijesta,
- stupanju omekšanja, elastičnosti i rastezljivosti tijesta.

Na temelju tih svojstava može se odrediti kvalitativni broj (0 – 100) i grupa kvalitete brašna (A1, A2, B1, B2, C1, C2) (Upute za laboratorijske vježbe, 2010).

3.2.2.6. Statistička obrada podataka

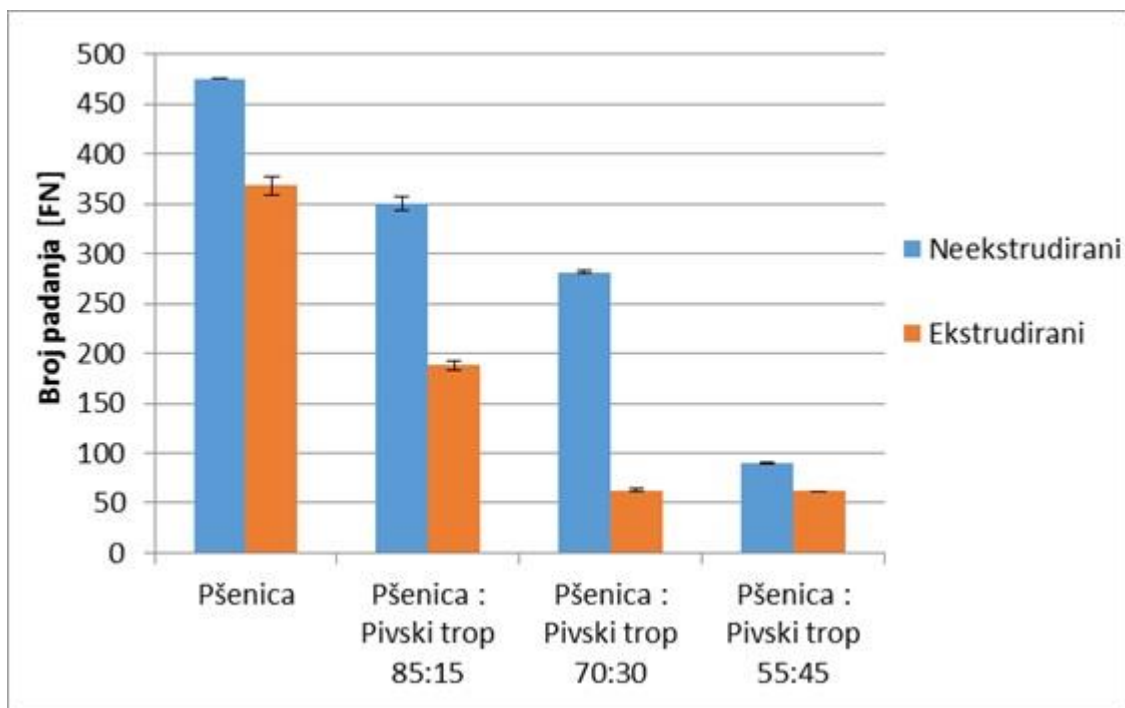
Statistička obrada podataka napravljena je primjenom programa Statistica 12 (StatSoft) i Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft). Prilikom obrade rezultata u programu Statistica 12 korištene su analiza varijance (ANOVA) i Fischer-ov test najmanje značajne razlike (LSD) s faktorom značajnosti na razini 95 % ($p < 0,05$).

4.REZULTATI

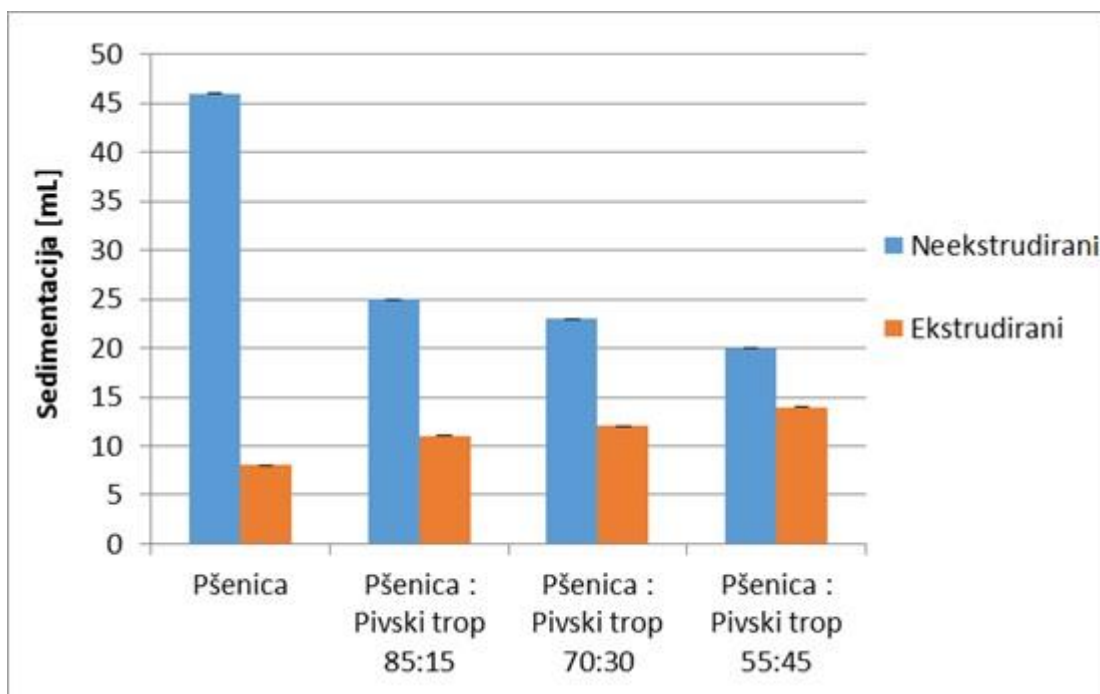
Tablica 3 Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost pšeničnog brašna i smjese pšeničnog brašna i pivskog tropa

Uzorak	viskoznost vrha [BU]	viskoznost pri 92 °C [BU]	viskoznost nakon miješanja na 92 °C [BU]	viskoznost pri 50 °C [BU]	viskoznost nakon miješanja na 50 °C [BU]	kidanje [BU]	„setback“ [BU]
NEEKSTRUDIRANI							
Pšenica	500,0 ± 12,73 ^g	329,5 ± 65,76 ^e	422,5 ± 13,44 ^h	797,0 ± 8,49 ^h	796,5 ± 9,19 ^h	77,0 ± 1,41 ^c	366,0 ± 21,21 ^f
Pšenica : Pivski trop 85:15	433,0 ± 19,80 ^f	429,5 ± 14,85 ^f	294,0 ± 2,83 ^f	586,5 ± 0,71 ^f	600,5 ± 23,33 ^f	138,5 ± 20,51 ^d	288,0 ± 4,24 ^e
Pšenica : Pivski trop 70:30	285,5 ± 2,12 ^d	279,5 ± 6,36 ^{d,e}	214,0 ± 5,66 ^d	407,0 ± 9,90 ^d	375,5 ± 4,95 ^d	71,0 ± 7,07 ^c	180,5 ± 0,71 ^c
Pšenica : Pivski trop 55:45	159,0 ± 4,24 ^b	159,0 ± 4,24 ^{b,c}	104,0 ± 4,24 ^b	234,5 ± 24,75 ^b	222,5 ± 14,85 ^b	51,5 ± 3,54 ^b	121,5 ± 0,71 ^b
EKSTRUDIRANI							
Pšenica	343,5 ± 2,12 ^e	271,5 ± 0,71 ^d	332,5 ± 2,12 ^g	647,5 ± 17,68 ^g	636,0 ± 12,73 ^g	11,5 ± 4,95 ^a	309,0 ± 15,56 ^e
Pšenica : Pivski trop 85:15	274,0 ± 1,41 ^d	212,0 ± 0,00 ^c	239,5 ± 2,12 ^e	480,5 ± 0,71 ^e	451,0 ± 0,00 ^e	34,5 ± 3,54 ^b	234,5 ± 3,54 ^d
Pšenica : Pivski trop 70:30	185,5 ± 3,54 ^c	125,5 ± 2,12 ^b	177,0 ± 1,41 ^c	304,5 ± 3,54 ^c	280,0 ± 5,66 ^c	7,5 ± 2,12 ^a	123,0 ± 2,83 ^b
Pšenica : Pivski trop 55:45	88,0 ± 2,83 ^a	56,0 ± 2,83 ^a	77,5 ± 0,71 ^a	173,0 ± 0,00 ^a	160,0 ± 0,00 ^a	10,5 ± 3,54 ^a	89,0 ± 0,00 ^a

*Vrijednosti s različitim slovima u stupcima statistički se značajno razlikuju ($p < 0,05$)



Slika 12 Rezultati određivanja broja padanja pšeničnog brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa



Slika 13 Rezultati određivanja sedimentacije pšeničnog brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa

Tablica 4 Rezultati farinografskog ispitivanja pšeničnog brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa

Uzorak	Upijanje vode (%)	Razvoj (min.)	Stabilnost (min.)	Otpor (min.)	Stupanj omekušanja (FJ)	Farinografski broj kvalitete (FBK)	Skupina kvalitete
NEEKSTRUDIRANI							
Pšenica	60,4	6,7	2,1	8,8	5	168	A1
Pšenica : Pivski trop 85:15	68,2	8,6	2,9	11,5	18	200	A1
Pšenica : Pivski trop 70:30	70,2	19,3	0,1	19,4	138	200	A1
Pšenica : Pivski trop 55:45	65,4	19,6	0	19,6	11	196	A1
EKSTRUDIRANI							
Pšenica	93,1	10,5	0	10,5	58	109	A1
Pšenica : Pivski trop 85:15	81,4	9,2	0	9,2	80	93	A2
Pšenica : Pivski trop 70:30	79,2	19,5	0	19,5	8	197	A1
Pšenica : Pivski trop 55:45	69,4	20	0	20	151	200	A1

5.RASPRAVA

Osnovni zadatak ovoga rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjese pšeničnog brašna s pivskim tropom.

U **Tablici 3** prikazani su rezultati mjerenja utjecaja procesa ekstruzije na viskoznost smjese pšenično brašno:pivski trop, mjereni Brabenderovim micro-visco-analyzer-om. Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je sniženje vrijednosti viskoznosti vrha (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba) nakon provedene ekstruzije kod svih uzoraka kao i kod dodatka pivskog tropa. Što je veći udio pivskog tropa u smjesi, viskoznost vrha je manja i kod neekstrudiranih kao i kod ekstrudiranih uzoraka. Najviša vrijednost viskoznosti vrha ($500,0 \pm 12,73$ BU) je kod neekstrudiranog pšeničnog brašna, dok je najniža vrijednost viskoznosti vrha ($88,0 \pm 2,83$ BU) zabilježena kod ekstrudirane smjese pšenica:pivski trop = 55:45.

Zagrijavanjem na temperaturu od 92 °C došlo je do pada viskoznosti kod svih uzoraka, a zadržavanjem na toj temperaturi 5 min uz miješanje viskoznost se nastavila smanjivati. Rezultat toga su visoke vrijednosti kidanja (kidanje = viskoznost vrha – viskoznost na 92 °C/5 min) što odražava nestabilnost smjese pri miješanju na visokim temperaturama. Ekstrudirani uzorci imaju vrlo niske vrijednosti kidanja u odnosu na neekstrudirane uzorke te su zbog tih rezultata ekstrudirani uzorci znatno stabilniji na višim temperaturama.

Hlađenjem na temperaturu od 50 °C dolazi do daljnjeg povećanja viskoznosti svih uzoraka, koja se značajno ne mijenja ni nakon miješanja uzoraka u trajanju od 1 min pri stalnoj temperaturi od 50 °C, kao rezultat retrogradacije škroba. Sklonost retrogradaciji škroba očituje se iz vrijednosti „setback-a“ (setback = viskoznost na 50 °C – viskoznost na 92 °C/5 min) čije su vrijednosti manje kod ekstrudiranih uzoraka u odnosu na neekstrudirane, ali se sklonost retrogradaciji nije statistički značajno promijenila nakon ekstruzije. Najveća sklonost retrogradaciji je kod pšeničnog brašna, dok se dodatkom pivskog tropa u smjesi sklonost retrogradaciji smanjuje. Povećanjem udjela pivskog tropa u smjesi rezultiralo je smanjenjem viskoznosti što se povezuje s manjim udjelom škroba u smjesi kao i s većim stupnjem oštećenosti škroba u ekstrudiranim uzorcima u usporedbi sa zamjesima. Rezultati smanjenja viskoznosti nakon procesa ekstruzije pokazali su se i u ranijem istraživanju (Jozinović, 2015) što je u skladu s rezultatima dobivenim u ovom radu. Ove rezultate potvrđuju i istraživanja Hagenimana i sur. (2006), te Gupta i sur. (2008), koji također navode

da je smanjenje viskoznosti rezultat većeg stupnja degradacije i želatinizacije granula škroba tijekom procesa ekstruzije.

Slika 12 prikazuje rezultate određivanja broja padanja pšeničnog brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa. Broj padanja (FN) je metoda kojom se određuje aktivnost α -amilaze u žitaricama i brašnu te drugim sličnim proizvodima koji sadrže škrob. Vrijednost broja padanja obrnuto je proporcionalna udjelu α -amilaze u uzorku. Najviši broj padanja (475 s) ima neekstrudirano pšenično brašno, što znači da je aktivnost α -amilaze mala, a kruh dobiven od takvog brašna bio bi malog volumena te imao suhu i mrvljivu sredinu (Koceva Komlenić i sur., 2016). Najniža vrijednost broja padanja (62 s) je kod ekstrudirane smjese pšenica:pivski trop = 55:45. Kod te smjese je aktivnost α -amilaze visoka, a kruh od takve pšenice imao bi ljepljivu sredinu (Koceva Komlenić i sur., 2016). Optimalnu vrijednost broja padanja (281 s) ima neekstrudirana smjesa pšenica:pivski trop = 70:30. Vrijednost broja padanja se smanjuje što je veći udio pivskog tropa u smjesi jer je samim time manji udio škroba, odnosno manje je supstrata za aktivnost enzima (Kaludžerski i Filipović, 1998). Broj padanja veći je kod neekstrudiranog pšeničnog brašna u odnosu na ekstrudirano pšenično brašno. Razlog toga je što ekstruzija uzrokuje oštećenje škroba i kod takvog škroba enzimska aktivnost je veća. U svom istraživanju Ačkar i sur. (2014) došli su do istog zaključka da je ekstruzija značajno utjecala na oštećenje škroba te da tijekom procesa ekstruzije dolazi samo do djelomične želatinizacije škroba. Povišeni udio oštećenog škroba smanjuje kvalitetu brašna jer utječe na pojačanu enzimsku aktivnost koja se izražava brojem padanja (Liu i sur., 2014).

Slika 13 prikazuje rezultate određivanja sedimentacije pšeničnog brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa. Najveću sedimentaciju (46 mL) ima neekstrudirano pšenično brašno što znači da je to brašno s jakim lijepkom i visokim sadržajem proteina. Budući da se tijekom procesa ekstruzije događaju promjene na proteinima od kojih su najznačajnije denaturacija i depolimerizacija, ostali uzorci imaju niže sedimentacijske vrijednosti čime se potvrđuje da ekstruzija utječe na smanjenje udjela proteina kao što su Sobota i sur. (2010) zaključili u svom istraživanju. Kod neekstrudiranih smjesa vrijednost sedimentacije se smanjuje dodatkom pivskog tropa, dok se kod ekstrudiranih smjesa ona neznatno povećava povišenjem udjela pivskog tropa.

Tablicom 4 prikazani su rezultati farinografskog ispitivanja brašna i smjesa pšeničnog brašna i pivskog tropa. Prema tim rezultatima vidljivo je da ekstrudirani uzorci imaju veću sposobnost upijanja vode za razliku od neekstrudiranih. Međutim, povećanjem udjela pivskog tropa kod ekstrudiranih uzoraka smanjuje se sposobnost upijanja vode. Sobota i sur. (2010) utvrdili su da ekstruzija utječe na smanjenje udjela ukupnih prehrambenih vlakana, pa je to moguć razlog smanjenja moći upijanja vode. Kod neekstrudiranih uzoraka povećanjem udjela pivskog tropa očekivano raste i moć upijanja vode zbog visokog udjela vlakana.

Razvoj tijesta duži je kod ekstrudiranih uzoraka nego kod neekstrudiranih, a vidljivo je kako dodatak pivskog tropa povećava vrijednost razvoja tijesta. Najduži razvoj (20 min) ima ekstrudirana smjesa pšenica:pivski trop = 55:45, dok je najkraći razvoj kod neekstrudirano pšeničnog brašna.

Najbolju stabilnost tijesta postižu neekstrudirano pšenično brašno i neekstrudirana smjesa pšenično brašno:pivski trop = 85:15. Kod ostalih uzoraka stabilnost je 0 zbog toga što je narušen gluten pa nije moguće dobiti stabilno tijesto.

Stupanj omekšanja najveći je kod ekstrudirane smjese pšenica:pivski trop = 55:45, a povećava se s povećanim udjelom pivskog tropa i kod ekstrudiranih i kod neekstrudiranih uzoraka.

Budući da je farinografski broj kvalitete podjednako visok u svim uzorcima, oni pripadaju A1 skupini kvalitete, ali se kao takvi ne mogu koristiti samostalno u proizvodnji kruha zbog dugog razvoja tijesta i loše stabilnosti. Međutim, mogu se upotrebljavati u proizvodnji keksa, tjestenine i sl. te kao poboljšivači u prehrambenoj industriji.

6.ZAKLJUČCI

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

1. Ekstruzija je imala značajan utjecaj na reološka svojstva svih uzoraka, smanjujući im vrijednost viskoznosti vrha, a dodatkom pivskog tropa viskoznost vrha također se smanjivala. Viskoznost se dodatno smanjivala i pri temperaturi od 92 °C, dok se kod temperature od 50 °C ona značajno povećala. Ekstrudirani uzorci pokazali su se stabilnijim tijekom miješanja na višim temperaturama od neekstrudiranih, a to dokazuju niske vrijednosti kidanja ekstrudiranih uzoraka. Sklonost retrogradaciji očitava se iz vrijednosti setback-a, a ona se neznatno promijenila nakon ekstruzije te se smanjuje s povećanjem udjela pivskog tropa.
2. Većim udjelom pivskog tropa u smjesi vrijednost broja padanja se smanjila, a razlog toga je manji udio škroba koji je potreban za aktivnost enzima α -amilaze.
3. Neekstrudirani uzorci imali su visoku sedimentaciju za razliku od ekstrudiranih ali se njihova vrijednost sedimentacije smanjivala dodatkom pivskog tropa. Budući da tijekom procesa ekstruzije dolazi do denaturacije proteina, ekstrudirani uzorci prema tome imali su niže sedimentacijske vrijednosti.
4. Iz farinografskih ispitivanja može se zaključiti da ekstruzija utječe na sposobnost upijanja vode povećavajući moć upijanja. Povećanjem udjela pivskog tropa kod ekstrudiranih uzoraka smanjivala se sposobnost upijanja vode, dok je kod neekstrudiranih uzoraka slučaj bio obrnut. Razvoj tijesta bio je duži kod ekstrudiranih uzoraka, a dodatak pivskog tropa produljio je razvoj. Nije zabilježena značajna stabilnost tijesta zbog narušenog glutena. Stupanj omekšanja povećava se s povećanim udjelom pivskog tropa kod svih uzoraka. Budući da je farinografski broj kvalitete podjednako visok u svim uzorcima, oni pripadaju A1 skupini kvalitete, ali se kao takvi ne mogu koristiti samostalno u proizvodnji kruha zbog dugog razvoja tijesta i loše stabilnosti. Međutim, mogu se upotrebljavati u proizvodnji keksa, tjestenine i sl. te kao poboljšivači u prehrambenoj industriji.

7.LITERATURA

- AACC International Approved Methods Physicochemical Test, AACC Method 54-21.02 Rheological Behavior of Flour by Farinograph: Constant Flour Weight Procedure. <http://methods.aaccnet.org/summaries/54-21-02.aspx> [30.6.2017.]
- AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, AACC Method 56-81.B Determination of Falling Number. <http://methods.aaccnet.org/summaries/56-81-03.aspx> [30.6.2017.]
- AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, AACC Method 56-61.02 Sedimentation Test for Wheat. <http://methods.aaccnet.org/summaries/56-61-02.aspx> [30.6.2017.]
- Ačkar Đ, Jozinović A, Šubarić D, Babić J, Miličević B, Miljević D: Utjecaj parametara ekstruzije na oštećenje škroba i udio rezistentnog škroba u kukuruznim ekstrudatima. *Glasnik zaštite bilja*, 6:56-62, 2014.
- Aliyu S, Bala M: Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10:324–331, 2011.
- Babić J: Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011.
- Bamforth C: *Brewing New technologies*. Woodhead publishing limited, Cambridge, 2006.
- 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, Mrkić V, Ježek D, Tripalo B: Modeli reakcija za vrijeme ekstruzije pšeničnog škroba. *Kemija u Industriji*, 49(3):101-110, 2000.
- 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.
- Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 127-148, 2000.
- Celus I: Characterisation and fractionality of brewer's spent grain proteins and their enzymatic hydrolysates. *Doctoral thesis*. Laboratory of Food Chemistry and Biochemistry, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 2008.
- Cheftel JC: Extrusion cooking: Operation Principles, Research Trends and Food Applications. *U Processing and Quality of Foods* (Zeuten P, ur.). Elsevier, London and New York, 1990.
- Chiang P, Chang P, You J: Innovative technology for controlling VOC emissions. *Journal of Hazardous Materials*, 31:19–28, 1992.

Čolović R: Ekstruderi. Tehnologija hrane, 2009.

<http://www.tehnologijahrane.com/enciklopedija/ekstruderi> [30.6.2017.]

Dhiman T, Bingham H, Radloff H: Production response of lactating cows fed dried versus wet brewers' grain in diets with similar dry matter content. *Journal of Dairy Science*, 86:2914–2921, 2003.

Ezeonu F, Okaka A: Process kinetics and digestion efficiency of anaerobic batch fermentation of brewer's spent grains (BSG). *Process Biochemistry*, 31:7–12, 1996.

Firkins J, Harvatine D, Sylvester J, Eastridge M: Lactation performance by dairy cows fed wet brewers grains or whole cottonseed to replace forage. *Journal of Dairy Science*, 85:2662–2668, 2002.

Gallo M, Sommer A, Mlynar R, Rajcakova L: Effect of dietary supplementation with brewery draff on rumen fermentation and milk production in grazing dairy cows. *Journal of Agriculture and Animal Science*, 34:107–113, 2001.

Gautam HR, Guleria SPS, Parmar YS: *Fruit and vegetable waste utilisation*. Department of Mycology and Plant Pathology, Science technology. Entrepreneur, 2007.

Gerhäuser C: Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. *European Journal of Cancer*, 41:1941–1954, 2005.

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

Guy R: *Extrusion cooking*. Woodhead Publishing Limited, England, 2001.

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

Hawkins GL: *Managing Fruit and Vegetable Waste*. The university of Georgia, Cooperative Extension, 2010.

Ishiwaki N, Murayama H, Awayama H, Kanauchi O, Sato T: Development of high value uses of spent grain by fractionation technology. *Master Brewers Association of the Americas, Technical Quarterly*, 37:261–265, 2000.

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, Miličević B, Babić J, Jašić M, Valek Lendić K: Food Industry By-Products as Raw Materials in Functional Food Production. *Hrana u zdravlju i bolesti, znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku*, 3(1):22-30, 2014.

Jozinović A: Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2015.

- Kaluđerski G, Filipović N: *Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda*. Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad, 1998.
- Kaur V, Saxena P: Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. *Bioresource Technology*, 91:101–104, 2004.
- Koceva Komlenić D, Jukić M, Kosović I, Kuleš A: Tehnologija proizvodnje i prerade brašna. Upute za laboratorijske vježbe. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- Ktenioudaki A, Gallagher E: Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science & Technology*, 28:4-14, 2012.
- Ktenioudaki A, Crofton E, Scannell AGM, Hannon JA, Kilcawley KN, Gallagher E: Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 57(3):384–390, 2013.
- Liu C, Li L, Hong J, Zheng X, Bian K, Sun Y, Zhang J: Effect of mechanically damaged starch on wheat flour, noodle and steamed bread making quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 49:253-260, 2014.
- Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb, 2003.
- Low K, Lee C, Liew S: Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain. *Process Biochemistry*, 36:59–64, 2000.
- Low K, Lee C, Low C: Sorption of chromium (VI) by spent grain under batch conditions. *Journal of Applied Polymer Science*, 82:2128–2134, 2001.
- Móscicki L, Wójtowicz A: Raw Materials in the Production of Extrudates. U *Extrusion - Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability* (Móscicki L, ur.). WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 45-63, 2011.
- Mussatto SI, Dragone G, Roberto IC: Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43:1-14, 2006.
- Obradović V: Utjecaj temperature i dodataka na fizikalna, kemijska i senzorska svojstva kukuruznih ekstrudata. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2014.
- Okamoto H, Kitagawa Y, Minowa T, Ogi T: Thermalcatalytic conversion of high moisture spent grains to a gaseous fuel. *Master Brewers Association of the Americas, Technical Quarterly*, 36:239–241, 1999.
- O'Shea N, Arendt EK, Gallagher E: Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:1-10, 2012.
- Öztürk S, Özboy Ö, Cavidoglu I, Köksel H: Effects of brewers' spent grain on the quality and dietary fibre content of cookies. *Journal of Institute of Brewing*, 108:23–27, 2002.

- Pejin JD, Radosavljević MS, Grujić OS, Mojović LjV, Kocić-Tanackov SD, Nikolić SB, Djukić-Vuković AP: Mogućnosti primene pivskog tropa u biotehnologiji. *Hemijska industrija*, 67(2):277–291, 2013.
- Pichler A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2016.
- Plessas S, Trantallidi M, Bekatoru A, Kanellaki M, Nigam P, Koutinas A: Immobilization of kefir and *Lactobacillus casei* on brewery spent grains for use in sourdoughwheat bread making. *Food Chemistry*, 105:187–194, 2007.
- Pozderović A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.
- Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 1-24, 2000.
- Riaz NM: *Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds*. Clenze, Germany, 2007.
- Rieker C, Moeller M, Sommer K: Anaerobic degradation of beer spent grains for biogas production. *Brauwelt*, 132:716–721, 1992.
- Robertson J, l’Anson K, Treimo J, Faulds C, Brocklehurst T, Eijsink V, Waldron K: Profiling brewers’ spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT – Food Science and Technology*, 43:890–896, 2010.
- Rokey GJ: Single-Screw Extruders. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 25-50, 2000.
- Russ W, Mörtel H, Meyer-Pittroff R: Application of spent grain to increase porosity in bricks. *Construction and Building Materials*, 19:117–126, 2005.
- Santos M, Jimenez J, Bartolomé B, Gomez-Cordoves C, Del Nozal J: Variability of brewer’s spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80:17–21, 2003.
- Sharma P, Gujral HS: Cookie making behaviour of wheat-barly flour blends and effects on antioxidant properties. *LWT – Food Science and Technology*, 55:301-307, 2014.
- Silva J, Sousa S, Rodrigues J, Antunes H, Porter J, Goncalves I, Ferreira-Dias S: Adsorption of acid orange 7 dye in aqueous solutions by spent brewery grains. *Separation and Purification Technology*, 40:309–315, 2004.
- Sobota A, Sykut-Domańska E, Rzedzicki Z: Effect of extrusion-cooking process on the chemical composition of corn-wheat extrudates, with particular emphasis on dietary fibre fractions. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 60(3):251-259, 2010.
- Stojceska V, Ainsworth P: The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer’s spent grain breads. *Food Chemistry*, 110(4):865–872, 2008.

- Upute za laboratorijske vježbe. Kemija i tehnologija žitarica. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2010.
- Vasanthan T, Gaosong J, Yeung J, Li J: Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77:35-40, 2002.
- Wang YY, Ryu GH: Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO₂ injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 58(1):110-116, 2013.
- Wolf B: Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current opinion in Colloid & Interface Science*, 15:50-54, 2010.
- Wunderlich S, Back W, in: V. Preedy (Eds.): *Beer in Health and Disease Prevention*. Academic Press, Elsevier, 2008.
- Zanker G, Kepplinger W: The utilization of spent grains in the brewery integrated system. *Brauwelt*, 142:1742–1747, 2002.