Svojstva smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke modificiranih postupkom ekstruzije

Jakobović, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:109:118339

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

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

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ivana Jakobović

SVOJSTVA SMJESA JEČMENOG BRAŠNA I TROPA JABUKE MODIFICIRANIH POSTUPKOM EKSTRUZIJE

DIPLOMSKI RAD

Osijek, listopad 2016.

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

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija konditorskih i srodnih 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: *dr. sc. Antun Jozinović*

SVOJSTVA SMJESA JEČMENOG BRAŠNA I TROPA JABUKE MODIFICIRANIH POSTUPKOM EKSTRUZIJE

Ivana Jakobović, 330-DI

Sažetak: Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj procesa ekstruzije na svojstva smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke. Omjeri smjesa (ječmeno brašno : trop jabuka) korištenih u istraživanju su: 85 : 15, 70 : 30, 55 : 45. Smjese vlažnosti 30 % ekstrudirane su pri temperaturnom profilu 70/90/110 °C. Istraživanje je obuhvatilo određivanje fizikalnih i reoloških svojstava neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka. Istraživanjem je utvrđeno da je dodatkom tropa jabuke došlo do smanjenja viskoznosti ekstrudata. Ekstruzija je uzrokovala smanjenje broja padanja, a povećanjem udjela tropa jabuke trend opadanja se nastavio. Sedimentacijska vrijednost bila je niska i kod ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka zbog malog sadržaja proteina u sastavu smjese. Ekstrudirani uzorci imali su veću sposobnost upijanja vode, a ona se smanjivala povećanjem udjela tropa jabuke. Zbog narušenosti glutena stabilnost tijesta bila je 0. Farinografski broj kvalitete bio je značajno veći kod ekstrudiranih uzoraka, a povećavao se s povećanjem udjela tropa jabuke.

Ključne riječi: ekstruzija, ječmeno brašno, trop jabuke

Rad sadrži: 48 stranica
14 slika
2 tablica
0 priloga
34 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

1.	prof. dr. sc. *Drago Šubarić*	predsjednik
2.	izv. prof. dr. sc. *Đurđica Ačkar*	član-mentor
3.	dr. sc. *Gordana Šimić,* znan. savj.	član
4.	prof. dr. sc. *Jurislav Babić*	zamjena člana

Datum obrane: 7. listopada 2016.

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: Tehnology of confectionery and related 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

CHARACTERISTICS OF BARLEY FLOUR AND APPLE POMACE MIXTURES MODIFIED BY EXTRUSION

Ivana Jakobović, 330-DI

Summary: The aim of this study was to determine the effect of extrusion process on the properties of mixtures of barley flour and apple pomace. Mixture ratios (barley flour : apple pomace) used in this study were: 85 : 15, 70 : 30 and 55 : 45. Mixtures with 30 % moisture content were extruded at temperature regime 70/90/110 °C. The research included determination of physical and rheological properties of non-extruded and extruded samples. It was found that with addition of apple pomace viscosity of extrudates decreased. Extrusion caused reduction of falling number. Increasing of apple pomace in mixtures resulted in decrease of falling number. Sedimentation value was low in non-extruded and extruded samples because of small amount of proteins in mixtures. Extrusion also resulted in increase of water absorption. Dough stability was 0, due to lower quantity and poor quality of gluten. Extruded samples had bigger farinograph quality number and it increased with increasing of apple pomace content.

Key words: Extrusion, barley flour, apple pomace

Thesis contains: 48 pages
14 figures
2 tables
0 supplements
34 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1.	*Drago Šubarić*, PhD, prof.	chair person
2.	*Đurđica Ačkar*, PhD, associate prof.	supervisor
3.	*Gordana Šimić*, PhD, senior research scientist	member
4.	*Jurislav Babić*, PhD, prof.	stand-in

Defense date: October 7, 2016

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 izv. prof. dr. sc. Đurđici Ačkar, dr.sc. Antunu Jozinoviću, Jeleni Panak Balentić, mag. ing. na savjetima i velikoj pomoći tijekom izrade ovoga rada.

Zahvaljujem se svim prijateljima, kolegama bez kojih studiranje ne bi bilo jednako, posebno Anđi.

Najveće hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i uz braću bili najveća podrška.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. TEORIJSKI DIO 3
2.1. EKSTRUZIJA 4
2.1.1.Povijest ekstruzije 5
2.1.2.Ekstruzija u prehrambenoj industriji 5
2.2.PODJELA EKSTRUDERA 7
2.2.1.Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada 7
2.2.2.Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 8
2.2.3.Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 8
2.3.PRINCIP RADA EKSTRUDERA 13
2.4. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA 15
2.4.1.Ječam 16
2.4.2.Trop jabuke 18
3. EKSPERIMENTALNI DIO 19
3.1.ZADATAK 20
3.2.MATERIJALI I METODE 20
3.2.1.Materijali 20
3.2.2.Metode 20
3.2.2.1.Ekstruzija smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke 20
3.2.2.2.Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom 21
3.2.2.3.Određivanje broja padanja 23
3.2.2.4.Određivanje sedimentacije 24
3.2.2.5.Farinografsko ispitivanje svojstava brašna 25
3.2.2.6.Statistička obrada podataka 27
4. REZULTATI 28
5. RASPRAVA 32

6. ZAKLJUČCI 36

7. LITERATURA 39

1. UVOD

Ekstruzija je proces koji se sve više koristi u prehrambenoj industriji zbog svoje višestruke primjene. Ekstruzija uključuje više različitih procesa, kao što su: homogenizacija, miješanje, kuhanje, sterilizacija, želatinizacija, oblikovanje, dehidratacija,... (Lovrić, 2003).

Proces ekstruzije najčešće se provodi na sirovinama bogatim škrobom ili proteinima. Ekstruzija se primjenjuje za proizvodnju i/ili preradu različitih sirovina, polugotovih i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda (tjestenina, snack proizvodi, konditorski proizvodi, mesne prerađevine, hrana za kućne ljubimce, proizvodi od plastike) (Babić, 2011).

Mnoge su prednosti korištenja procesa ekstruzije, sam uređaj zauzima relativno malo mjesta, jednostavna je promjena procesnih parametara i oblika sapnice ekstrudera, mali gubici energije, kontinuirana proizvodnja uz veliki kapacitet... (Babić, 2011).

Prehrambena industrija proizvodi veliku količinu nusprodukata, koji imaju primjenu uglavnom u proizvodnji stočne hrane. Jedna takva sirovina je trop jabuke koji zaostaje nakon proizvodnje soka od jabuke. Tijekom prerade jabuka u prehrambenoj industriji zaostaje oko 30 % nusprodukta, odnosno tropa jabuke. Zbog svog sastava i tehnoloških svojstava, trop jabuke se sve više koristi za povećanje nutritivne vrijednosti prehrambenih proizvoda. Zbog dostupne velike količine, trop jabuke je jeftina i lako dostupna sirovina koja se može koristiti u procesu ekstruzije za proizvodnju određenih tipova proizvoda.

Cilj ovog rada je bio ispitati svojstva smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke u različitim omjerima, nakon modifikacije postupkom ekstruzije.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Ekstruzija je termički i mehanički proces u kojem se materijal pomoću stapa (klipa) ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, smicanje i miješanje kroz ekstruder, te izlazak kroz sapnicu specifičnog oblika (Lovrić, 2003).

Ekstruzija uključuje sljedeće procese:

- termičko tretiranje – kuhanje,
- dehidratacija – uklanjanje vlage,
- homogenizacija i miješanje,
- promjena teksture namirnica,
- denaturacija proteina – primjenom viših temperatura,
- uklanjanje plinova – primjenom ekstruzije mogu se ukloniti mjehurići plinova iz namirnica koje ga sadrže,
- usitnjavanje – tijekom prolaska kroz ekstruder može doći do usitnjavanja čestica,
- aglomeracija – povezivanje manjih čestica u veće,
- želatinizacija – ekstruzija poboljšava želatinizaciju škrobnih namirnica,
- pasterizacija i sterilizacija – primjenom različitih temperatura ekstruzije,
- ekspanzija – stupanj ekspanzije postiže se kontrolom procesnih parametara i konfiguracijom ekstrudera,
- oblikovanje – primjenom različitih sapnica
- promjena teksture namirnica – zbog primijenjenih uvjeta dolazi do različitih fizikalnih i kemijskih promjena koje utječu na teksturu (Riaz, 2000).

Najpoznatiji proizvodi dobiveni ekstruzijom su:

- ekspandirani snack proizvodi, pahuljice od žitarica, različite vrste žitarica za doručak koje se razlikuju po obliku, boji i okusu,
- snack peleti – poluproizvodi za proizvodnju prženih proizvoda,
- tjestenina, krekeri, emulzije i paste,
- bomboni, žvakaće gume,
- dječja hrana, funkcionalni dodaci, pretkuhano brašno,
- hrana za kućne ljubimce i stočna hrana,

- proizvodi za farmaceutsku, kemijsku i industriju papira
- proizvodi od plastike i dr. (Móscicki, 2011).

2.1.1.Povijest ekstruzije

Prva upotreba ekstrudera za proizvodnju prehrambenih proizvoda zabilježena je 1869. godine u Engleskoj za proizvodnju kobasica. 1930. godine započela je primjena kontinuiranih jednopužnih ekstrudera u proizvodnji plastike, tjestenine i žitarica za doručak (Riaz, 2000).

1939. godine proizveden je prvi ekspandirani kukuruzni proizvod, na tržištu se pojavljuje tek 1946. godine zbog Drugog svjetskog rata. Ekstrudirane grickalice od tada su sve popularnije, a sam princip proizvodnje gotovo je nepromijenjen sve do danas (Móscicki, 2011).

Pedesetih godina 20. stoljeća postupak ekstruzije je našao svoju primjenu u proizvodnji hrane za kućne ljubimce. Tijekom godina dolazi do daljnjeg razvoja i usavršavanja procesa i uređaja, a primjenom HTST (engl. *High Temperature Short Time*) ekstruzije omogućen je veliki napredak u primjeni ekstruzije u prehrambenoj industriji (Riaz, 2000).

2.1.2.Ekstruzija u prehrambenoj industriji

Razlikujemo tri osnovna postupka u tehnološkoj primjeni ekstruzije u prehrambenoj industriji:

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

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

Suvremeni uređaji za ekstruziju (ekstruderi) mogu se smatrati kao HTST uređaji koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode zbog razvoja početnih funkcija miješanja i oblikovanja, uvođenja novih procesa kao što su kuhanje i teksturiranje te njihovo povezivanje u kontinuirani proces (Lovrić, 2003).

Osnovne značajke suvremenih ekstrudera, osobito 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 i kućišta,
- velika brzina smicanja: ≥ 100 s^{-1}, broj okretaja puža 50 – 1000 min^{-1},
- niska vlažnost: 10 – 30 %,
- veliki unos energije: 0,3 – 2 $MJkg^{-1}$,
- veliki kapacitet: do 10 Th^{-1} (Cheftel, 1990).

Ekstruzija se najčešće primjenjuje na sirovinama bogatim škrobom ili proteinima. Primjena je danas pretežno ograničena na proizvode s niskim udjelom vode, međutim, novija istraživanja su usmjerena i na proizvode s većim udjelom vode (40 – 80 %) (Lovrić, 2003).

Prednosti ekstruzije

Prednosti ekstruzije u usporedbi s klasičnim postupcima obrade hrane:

- prilagodljivost – proizvodnja širokog spektra različitih proizvoda jednostavnom promjenom sastojaka ili uvjeta procesa,
- jednostavno postizanje različitih svojstava proizvoda (tekstura, oblici...),
- visoko iskorištenje energije – uporaba sirovina s relativno niskom vlažnosti te je potrebno manje energije za sušenje,
- mali gubici energije i niski operativni troškovi u usporedbi s drugim procesima oblikovanja i termičke obrade,
- visoka kvaliteta proizvoda – ubraja se u HTST (high temperature/short time) postupke što smanjuje degradaciju nutrijenata uz povećanje probavljivosti proteina i škrobova te dolazi do smanjenja broja mikroorganizama,

- razvoj novih proizvoda – mogu se modificirati škrobovi, proteini i druge komponente,
- visoka produktivnost i kontinuiranost procesa,
- brza kontrola kvalitete,
- mala količina otpada – nusproizvoda,
- dobra korelacija pilot postrojenja s procesnim postrojenjem,
- uređaj (ekstruder) zauzima relativno malo prostora (Riaz, 2000).

Ekstruzija pruža mogućnost upotrebe materijala koji prethodno nisu imali veliki ekonomski značaj ili su čak označeni kao otpad (Móscicki, 2011).

2.2.PODJELA EKSTRUDERA

Ekstruderi se u tehnologiji prehrambenih proizvoda mogu dijeliti s obzirom na:

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

2.2.1.Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

S obzirom na termodinamičke uvjete rada razlikuju se:

- **Adijabatski ekstruderi** – ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. Toplina se kod njih razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala u uređaju te se u pravilu ne dovodi niti odvodi toplina, a potrebna je niska vlažnost sirovina (8 – 14 %),
- **Izotermni ekstruderi** – ekstruderi u kojima se određena konstantna temperatura održava hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničke energije u toplinu,
- **Politropski ekstruderi** – ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta te se u prehrambenoj industriji najčešće koriti ovaj tip ekstrudera (Lovrić, 2003).

2.2.2.Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

S obzirom na veličinu smicanja razlikuju se:

- **nisko-smični ekstruderi (ekstruderi hladnog oblikovanja)** – ekstruderi koji imaju glatko kućište, male brzine okretaja puža, mala smicanja te puževe s dubokim navojima. Koriste se za oblikovanje tijesta, keksa, mesnih proizvoda i određenih konditorskih proizvoda,
- **srednje-smični ekstruderi** – ekstruderi koji imaju puževe za postizanje visokih tlakova, kućište je užlijebljeno kako bi se poboljšalo miješanje, a toplina se dovodi izvana. Ekspanzija se na izlazu iz ekstrudera ne provodi. Koriste se za proizvodnju proizvoda mekane konzistencije s povišenim udjelom vlage. Sirovine se prije unošenja u ekstruder pripremaju miješanjem do konzistencije tijesta,
- **visoko-smični ekstruderi (Collet ekstruderi)** – ekstruderi koji imaju kućište sa žljebovima i puževe sa plitkim navojima. Temperatura sirovine (sirovina s relativno niskim udjelom vlage – oko 12 %) brzo dosegne temperaturu višu od 175 ^{o}C pri čemu dolazi do želatinizacije i dekstrinizacije škroba. Prilikom izlaska iz ekstrudera dolazi do sušenja i ekspanzije proizvoda što rezultira poroznom i hrskavom strukturom. 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:

- **Ekstruderi indirektnog tipa (viskozno-vlačnog toka)** – ekstruderi u kojima se materijal tijekom gibanja ponaša kao ne-newtonovska tekućina. To bitno utječe na promjenu svojstava materijala, koriste se za dobivanje proizvoda u obliku pločica i za ekstrudiranje vrlo ljepljivih materijala. Ovaj tip ekstrudera se najviše primjenjuje u konditorskoj industriji (Pozderović, 2009).
- **Ekstruderi direktnog tipa (pozitivnog tlaka)** – stvaraju pozitivan tlak, a mogu biti:
    - klipni ekstruderi,
    - pužni (vijčani) ekstruderi.

2.2.3.1.Klipni ekstruderi

Klipni ekstruderi su najjednostavniji tip ekstrudera. Sastoje se od klipa i kućišta. Klip tlači materijal kroz kućište tijekom čega ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata su gotovo nepromijenjena u usporedbi sa ishodišnim materijalom. Ovaj tip ekstrudera se primjenjuje za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženog kukuruznog čipsa (Babić, 2011).

2.2.3.2.Pužni (vijčani) ekstruderi

Kod pužnih (vijčanih) ekstrudera dolazi do smicanja, oslobađanja topline te se materijal značajno miješa zbog viskoznog gibanja materijala između puževa i između puževa i kućišta. Sila smicanja je veća što je niža vlažnost materijala te se oslobađa veća količina topline. Upotrebljavaju se u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal (Lovrić, 2003).

Pužni (vijčani) ekstruderi se s obzirom na konstrukcijsku izvedbu dijele na:

- jednopužne,
- dvopužne (Lovrić, 2003).

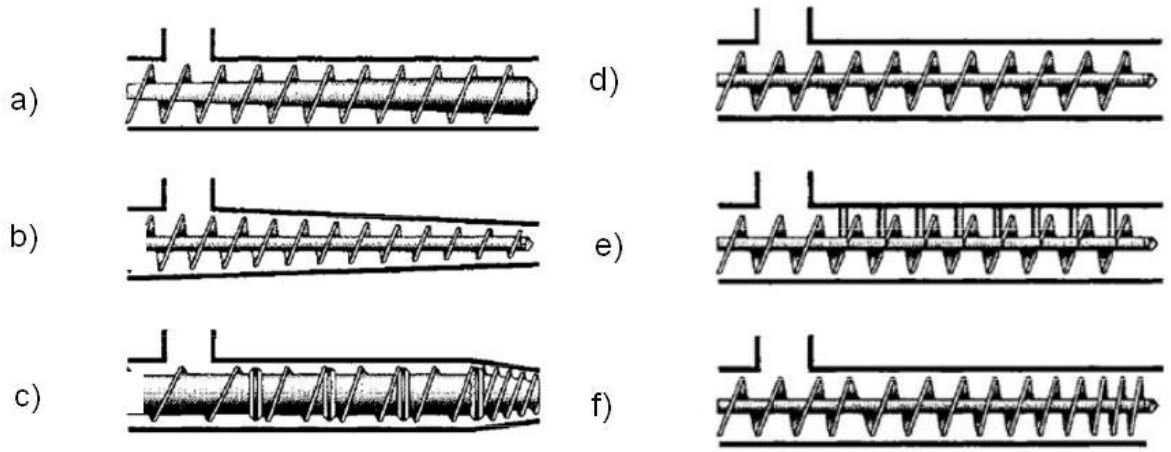
Osnovna razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta. Transport materijala kod jednopužnih ekstrudera se vrši zbog razlike sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužem i kućištem. Kod dvopužnih ekstrudera s uzajamno zahvaćenim puževima, okretanje materijala s pužnicom je onemogućeno. U tom slučaju je trenje od manjeg značaja, iako i geometrija puža ima određeni utjecaj (Lovrić, 2003).

Jednopužni ekstruderi

Jednopužni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova, ovisno o dužini pužnice, dubini žljebova, konfiguraciji puža i prividnoj viskoznosti materijala (Lovrić, 2003). Oni imaju i ograničenja jer ne mogu procesirati sirove materijale koji su ljepljivi i gumeni ili materijale koji postaju ljepljivi tijekom procesa zbog zagrijavanja (Riaz, 2000).

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

a) konstantan promjer kućišta, povećanje promjera puža,
b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, konstantan promjer puža,
c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža,
d) konstantan promjer kućišta i geometrija puža,
e) konstantan promjer kućišta s graničnicima, konstantna geometrija puža,
f) konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Riaz, 2000).



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, konstantna geometrija puža, f) konstantan promjer kućišta, konstantno suženje promjera navoja puža (Riaz, 2000.)

Dvopužni ekstruderi

Dvopužni ekstruderi imaju niz prednosti u odnosu na jednopužne ekstrudere, a to su:

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

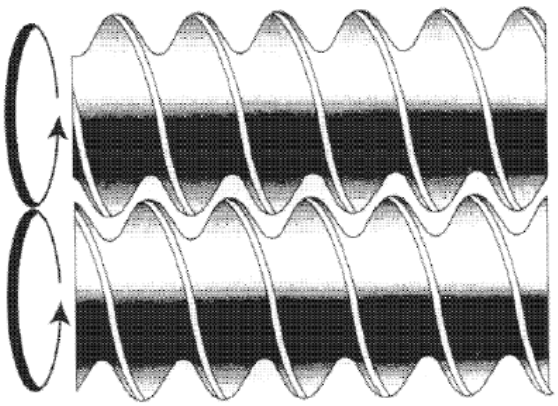
Osnovni nedostatci ovih ekstrudera su složenija instalacija i puštanje u rad, veća potrošnja energije te znatno veća cijena (60 – 100 % veća u odnosu na jednopužne ekstrudere) (Brennan i Grandison, 2012; Guy, 2001).

Dvopužni ekstruderi se s obzirom na smjer kretanja puža dijele na:

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

Ekstruderi s istosmjernim okretajima puža

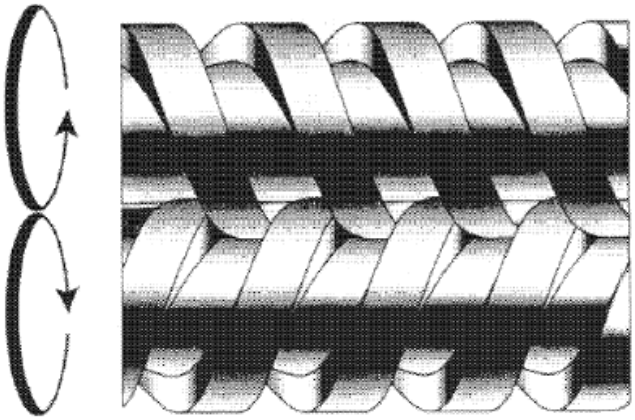
Ovaj tip ekstrudera se vrlo često koristi u prehrambenoj industriji, najviše za proizvodnju snack proizvoda. Karakterizira ga ujednačena kvaliteta proizvoda, visok stupanj prijenosa topline te visok učinak potiskivanja materijala (**Slika 2**) (Riaz, 2000).



Slika 2 Dvopužni ekstruder s istosmjernim okretajima puža (Riaz, 2000)

Ekstruderi sa suprotnim smjerom okretaja puža

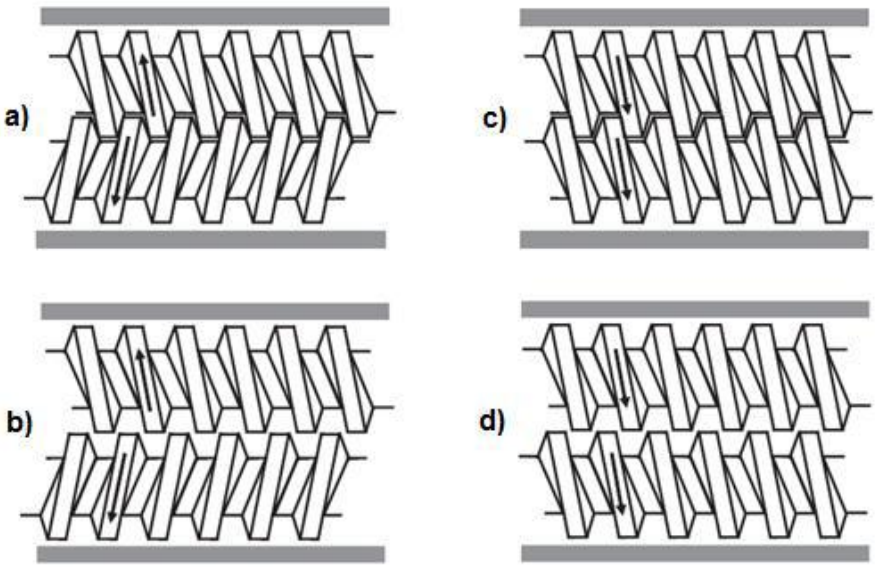
Ovaj tip ekstrudera nema široku primjenu u prehrambenoj industriji. Odlični su za transport materijala te za procesiranje relativno neviskoznih materijala koji ne zahtijevaju veliku brzinu rotacije puža. Koriste se u proizvodnji žele i gumenih bombona (**Slika 3**) (Riaz, 2000).



Slika 3 Dvopužni ekstruder sa suprotnim okretajima puža (Riaz, 2000)

S obzirom na poziciju puževa i njihov smjer rotacije moguća su četiri osnovna tipa konfiguracije (**Slika 4**):

a) suprotno rotirajući zahvaćeni puževi,
b) suprotno rotirajući nezahvaćeni puževi,
c) istosmjerno rotirajući zahvaćeni puževi,
d) istosmjerno rotirajući nezahvaćeni puževi (Bouvier i Campanella, 2014).

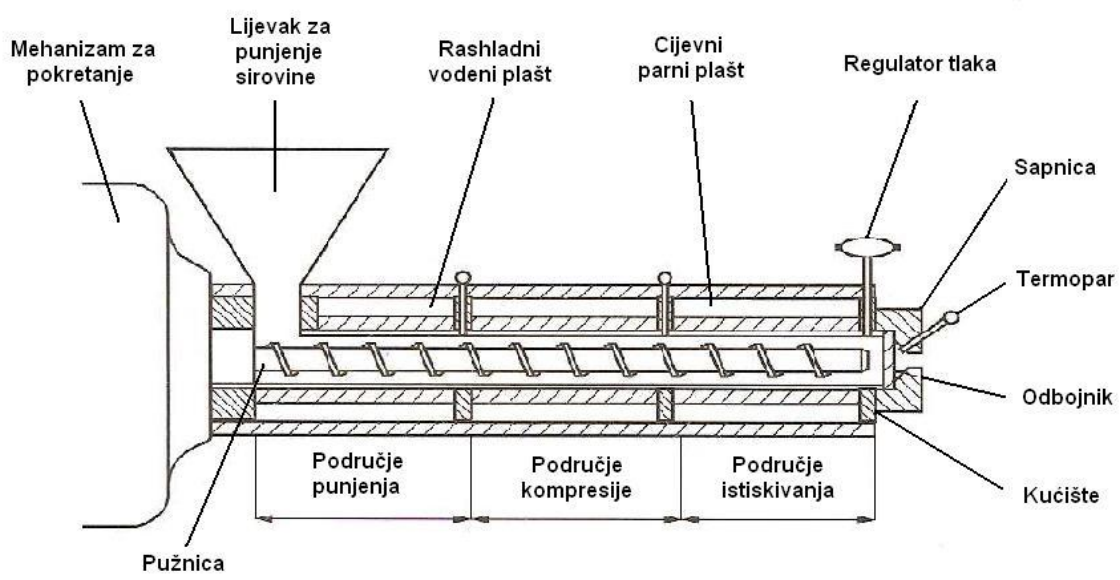


Slika 4 Osnovne konfiguracije puževa kod dvopužnih ekstrudera – a) suprotno rotirajući zahvaćeni puževi, b) suprotno rotirajući nezahvaćeni puževi, c) istosmjerno rotirajući zahvaćeni puževi, d) istosmjerno rotirajući nezahvaćeni puževi (Bouvier i Campanella, 2014)

2.3.PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Ekstruderi se sastoje od 3 osnovne zone (**Slika 5**):

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



Slika 5 Presjek jednopužnog ekstrudera sa odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003)

Zadaća zone uvlačenja (napajanja) je prihvatiti materijal te ga transportirati do zone kompresije. Uređaj za doziranje osigurava konstantno i jednolično doziranje materijala (Pozderović, 2009).

U zoni kompresije (prijelaza) provodi se kompresija materijala pri čemu se mehanička energija pretvara u toplinu, što dovodi do porasta temperature i plastificiranja materijala koji je na početku bio praškast ili u obliku granula. U ovoj zoni, zbog zagrijavanja, dolazi do želatinizacije, kuhanja i sterilizacije (Pozderović, 2009).

Zadaća zone istiskivanja je prihvatiti stlačeni materijal, homogenizirati ga te potiskivati kroz sapnicu pri konstantnom tlaku. Homogenizacija se postiže zbog sile smicanja i miješanja uslijed poprečnog i uzdužnog gibanja materijala kroz kućište (Pozderović, 2009).

Maksimalan tlak u ekstruderu postiže se pri kraju puža pri čemu kod izlaska materijala iz sapnice 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 dehidratacije materijala (Babić, 2011).

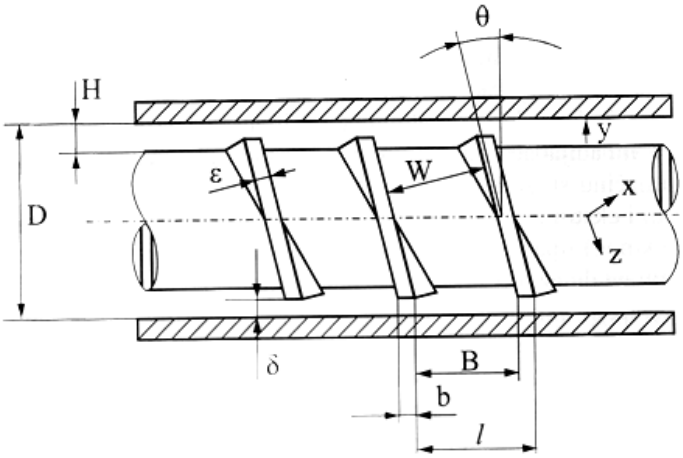
Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

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

Karakteristike ekstrudera

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

Na **Slici 6** prikazani su neki osnovni geometrijski parametri koji definiraju značajke rada pužnog ekstrudera: kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W). Sve to definira tzv. omjer kompresije koji se obično kreće u rasponu od 1:1 do 5:1 (Lovrić, 2003.).



Slika 6 Parametri karakteristični za geometrijsku konfiguraciju pužnog ekstrudera- kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W) (Lovrić, 2003)

2.4. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Najčešće primjenjivane sirovine za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda su proizvodi dobiveni iz kukuruza, pšenice, krumpira i riže. Proizvodi drugih žitarica, dobiveni od ječma, raži, heljde i zobi koriste se u manjim količinama, u svrhu nutritivnog obogaćivanja ili s ciljem poboljšanja okusa ili funkcionalnih karakteristika ekstrudata (Móscicki, 2011). U novije vrijeme ekstrudirani proizvodi se obogaćuju dodatkom sušenog povrća i raznih nusprodukata prehrambene industrije. Neki primjeri za to su trop jabuke zaostao nakon proizvodnje soka jabuke, trop piva zaostao nakon kuhanja piva, izluženi repini rezanci, prah mrkve, prah rajčice i sl. (Obradović, 2014; Jozinović, 2015).

Za dobivanje ekstrudiranih proizvoda upotrebljavaju se i biljni proteini, sjemenke suncokreta, pšenični gluten i drugi (Babić, 2011).

Pod utjecajem topline i vode tijekom ekstruzije se razbijaju dugi lanci škroba te on postaje ljepljiviji i probavljiviji. Tijekom ekstruzije dolazi do denaturacije proteina što se očituje znatnim smanjenjem njihove topljivosti, pri čemu poboljšavaju elastičnost i sposobnost zadržavanja plinova (Pozderović, 2009).

Različitost među proizvodima postiže se određenim osobinama koje posjeduju sirovine. Neke od tih osobina podrazumijevaju:

- formiranje određene teksture proizvoda,
- utjecaj na viskoznost materijala i na njegovu plastičnost,
- olakšavanje fizikalnih preinaka sirovine tijekom ekstruzije,
- olakšavanje homogenizacije sastojaka u tjestastim materijalima,
- ubrzavanje otapanja škroba i ubrzavanje želatinizacije,
- poboljšavanje okusa i boje proizvodima (Móscicki, 2011).

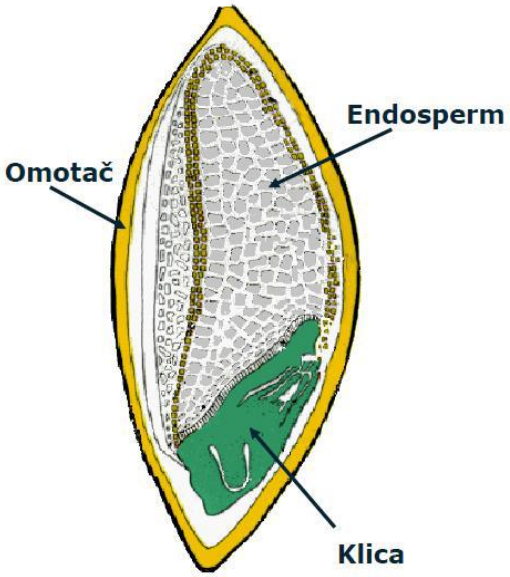
Prilikom odabira odgovarajuće sirovine potrebno je pozornost usmjeriti na:

- nutritivnu vrijednost (primarni čimbenik),
- cijenu (sekundarni čimbenik),
- dostupnost sirovine (Babić, 2011).

2.4.1.Ječam

Ječam (*Hordeum sativum*), ovisno o vrsti (poznato je preko 25 vrsta), je jednogodišnja ili dvogodišnja biljka. Potječe iz jugoistočne Azije i Etiopije (Gagro, 1997).

Zrno ječma ima duguljasto vretenasti izgled. Tri osnovna dijela (**Slika 7**) zrna su: klica (embrio), endosperm i omotač (pljevica) (Ister, 2010).



Slika 7 Dijelovi zrna ječma (Ugarčić-Hardi i sur., 2011)

Zrno može biti s pljevicom ili bez nje (golozrni ječam). Boja zrna s pljevicom je slamnato žuta ili sivo-zelena, samo zrno bez pljevice je bijele ili žućkaste boje, a boja golozrnog ječma je većinom žuta (Ugarčić-Hardi i sur., 2011).

Kemijski sastav ječma:

- Proteini: 7 – 20 %,
- Škrob: 45 – 66 %,
- Pentozani: 8,8 – 12,6 %,
- Celuloza: 4 – 7 %,
- Masti: 2 – 3 % (Ugarčić-Hardi i sur., 2011).

Zbog male količine glutena u ječmu, kruh od ječmenog brašna težak je za probavu, zbijen i lako pokvarljiv (Newman i Newman, 2006).

Ječam je nutritivno vrlo vrijedna namirnica, kuhana prekrupa ječma sadrži 123 kcal a cijelo zrno 207 kcal. Također obiluje mineralima i vitaminima: kalijem, fosforom, magnezijem, cinkom, željezom, selenom, vitaminima B skupine, a u manjim količinama i drugim vitaminima (A, E i K).

Ječam se koristi:

- za proizvodnju slada, najvećim dijelom u proizvodnji piva i alkoholnih pića, te kao prehrambeni slad koji se dodaje sirupima, snack proizvodima i bombonima,
- u prehrambenoj industriji za proizvodnju kruha, dječje hrane, proizvoda bez glutena,
- kao stočna hrana (Newman i Newman, 2006).

2.4.2.Trop jabuke

Trop jabuke glavni je nusproizvod koji zaostaje tijekom proizvodnje soka nakon usitnjavanja i prešanja. Trop predstavlja 30 % od cijelog ploda te je vrlo podložan biorazgradnji i zbog toga predstavlja ozbiljan problem proizvođačima koji trebaju zbrinuti ekstremno velike količine takvog otpada na dnevnoj bazi (Grigoras i sur., 2013).

Trop jabuke je mokar nusproizvod koji se najčešće koristi kao stočna hrana ili gnojivo, ali i kao izvor pektina, prehrambenih vlakana i polifenola. Trop jabuke je uz koru citrusa glavna sirovina za proizvodnju pektina (Schieber i sur., 2004). Jedan od postupaka iskorištenja tropa jabuke je njegova upotreba kao sastojka hrane zbog komponenata koje sadrži, posebno u pekarskoj industriji gdje se najčešće koristi u proizvodnji keksa (Royer i sur., 2006), a moguća je i primjena u proizvodnji flipsa (Jozinović, 2015.)

Trop jabuke sadrži oko 0,5 % pepela, 10,8 % vlage i 51,1 % prehrambenih vlakana (Sudha i sur., 2006).

Kvaliteta tropa jabuke se procjenjuje na temelju komponenata koje se nalaze u plodu i koje zaostaju nakon prešanja. Osim polifenola i terpenoida, u tropu se nalaze veće količine pektina, 13 – 39 % (izraženo na suhu tvar) (Royer i sur., 2006).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1.ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke (omjer ječmeno brašno : trop jabuke = 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.

3.2.MATERIJALI I METODE

3.2.1.Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

1) Ječmeno brašno – uzorci ječma prikupljeni su iz sortnih pokusa Poljoprivrednog instituta Osijek 2015. godine,
2) Trop jabuke – proizveden na ručnoj preši 2015. godine, osušen u sušioniku Memmert (UFE 500), Schwabach, Njemačka, na temperaturi 60 °C.

3.2.2.Metode

3.2.2.1.Ekstruzija smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke

Pripremljenim smjesama ječmenog brašna i tropa jabuke (ječmeno brašno : trop jabuke = 85:15, 70:30, 55:45) najprije je podešena vlažnost na 30 % nakon čega su čuvane u plastičnim vrećicama na 4 ^{o}C preko noći, a zatim ekstrudirane u laboratorijskom jednopužnom Ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/20 DN, GmbH,Duisburg, Njemačka (**Slika 8**) 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 8 Laboratorijski jednopužni ekstruder Brabender 19/20 DN

3.2.2.2.Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom

Određivanje viskoznosti brašna provedeno je Brabenderovim Mikro visko-amilografom, tip 803202, Brabender Gmbh & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 9**). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.



Slika 9 Brabenderov Mikro-visko amilograf

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

1) zagrijavanje od 30 do 92 ^{o}C, brzina zagrijavanja 7,5 ^{o}Cmin^{-1},
2) izotermno na 92 ^{o}C, 5 minuta,
3) hlađenje od 92 do 50 ^{o}C, brzina hlađenja 7,5 ^{o}Cmin^{-1},
4) izotermno na 50 ^{o}C, 1 minuta.

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

1) početna temperatura želatinizacije škroba [^{o}C],
2) viskoznost vrha – označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU],
3) vrijednost viskoznosti pri 92 ^{o}C [BU],
4) vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 ^{o}C [BU],

5) vrijednost viskoznosti pri 50 ^{o}C [BU],
6) vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja na 50 ^{o}C [BU],
7) kidanje – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 ^{o}C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 ^{o}C) [BU],
8) „setback“ – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 ^{o}C od vrijednosti viskoznosti pri 50 ^{o}C. Ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

3.2.2.3.Određivanje broja padanja

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

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. Broj padanja se izražava u sekundama.

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 skine 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.

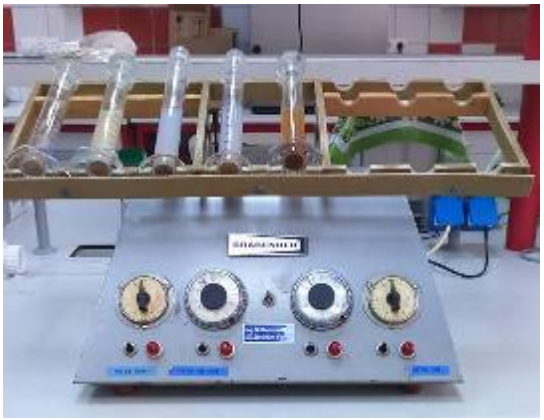
Broj padanja odnosno FN (skraćeno od eng. *„falling number*“) je međunarodna standardna metoda za određivanje α-amilaze u žitaricama i brašnu, te sličnim proizvodima koji sadrže škrob, npr. pšenici, ječmu i raži. Ovom metodom određuje se aktivnost α-amilaze u škrobu ispitivanog uzorka. Metoda se temelji na brzoj 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 (Koceva Komlenić i sur., 2014).

Prema vrijednosti broja padanja brašno se dijeli :

1) FN ispod 150 sekundi, visoka aktivnost α-amilaze,
2) FN između 200 i 300 sekundi, optimalna aktivnost α-amilaze,
3) FN iznad 300 sekundi, niska aktivnost α-amilaze (Koceva Komlenić i sur.,2014).

3.2.2.4.Određivanje sedimentacije

Određivanje sedimentacijske vrijednosti provodi se na uređaju za sedimentaciju (mućkalica), Brabender, Njemačka (**Slika 11**), prema metodi AACC 56-61.02.



Slika 11 Mućkalica za sedimentaciju

U mjerni cilindar od 100 cm^3 odvaže se 3,2 g brašna, doda 50 cm^3 otopine brom fenol-plavog te se zatvori cilindar. Brašno i reagens se dobro promiješaju mućkanjem u horizontalnom položaju 5 s, i to lijevo i desno u rasponu od 18 cm, 12 puta u oba smjera. Ovim postupkom brašno se mora u potpunosti suspendirati. Cilindar namjestiti na mućkalicu i mućkati 5 minuta. Nakon toga cilindar se skine s mućkalice, dopuni s 25 cm^3 mliječne kiseline za sedimentacijski test i ponovno se mućka na mućkalici 5 minuta. Potom se cilindar izvadi iz mućkalice, ostavi 5 minuta uspravno te očita volumen sedimenta u cm^3 s točnošću od 0,1 cm^3. 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).

Brzina sedimentacije suspenzije brašna, u otopini mliječne kiseline, ovisi o svojstvima proteina, odnosno viši sadržaj glutena i njegova bolja kvaliteta dovode do sporije sedimentacije i viših vrijednosti sedimentacijskog testa.

3.2.2.5.Farinografsko ispitivanje svojstava brašna

Ispitivanje je provedeno na farinografu, Farinograph, Brabender, Njemačka (**Slika 12**) prema metodi AACC 54-21.02.



Slika 12 Brabenderov farinograf

Farinograf je uređaj kojim se određuju osobine i ponašanje tijesta tijekom miješanja na temelju otpora koje tijesto pruža pri miješanju u vremenu od trenutka formiranja tijesta do punog razvoja i tijekom miješanja do zaustavljanja miješalice (Kljusurić, 2000).

Termostat uređaja i cirkulacijsku pumpu potrebno je uključiti najmanje sat vremena prije mjerenja. Izvaže se 50 g ± 0,1 g brašna koje se stavi u mijesilicu, mijesilica se poklopi, a bireta napuni vodom temperature 30 ^{o}C. Pisaljka se napuni tintom, uključi se uređaj i praznim hodom mijesilice podesi da pisaljka bilježi nultu vrijednost 1 minutu. 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 ± 10 BU (Brabenderovih jedinica). Nakon što se postigne linija konzistencije 500 BU, mijesenje traje 15 minuta (AACC 54-21.02).

Farinograf daje informacije o sposobnosti upijanja vode, razvoju tijesta, stabilnosti, otpornosti tijesta, stupnju 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

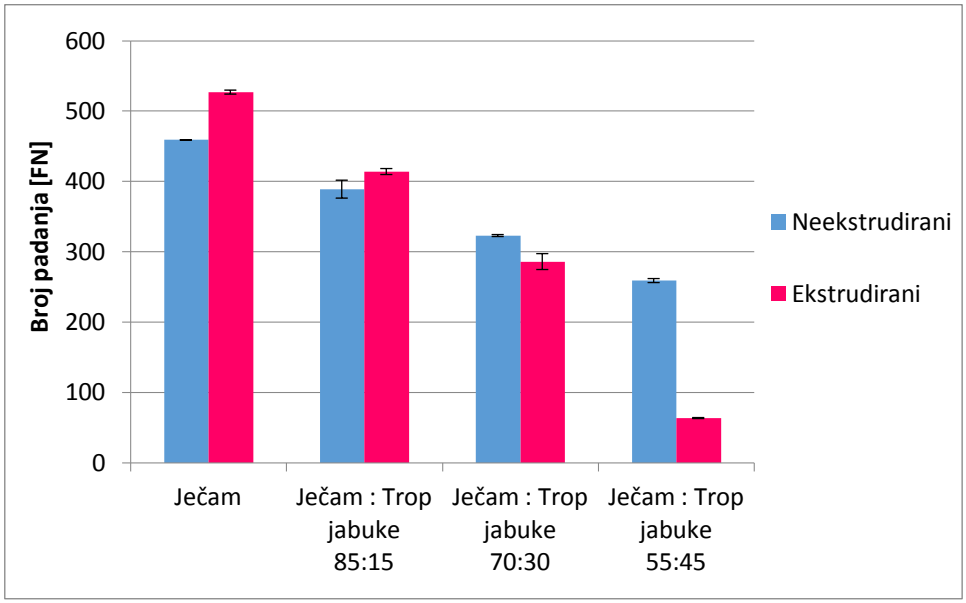
Statistička obrada podataka napravljena je primjenom programa Statistica 12 (StatSoft) i Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft). Prilikom obrade rezultata u programu Statistica 12 korištene su analiza varijance (ANOVA) i Fischer-ov test najmanje značajne razlike (LSD) s faktorom značajnosti na razini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

4. REZULTATI

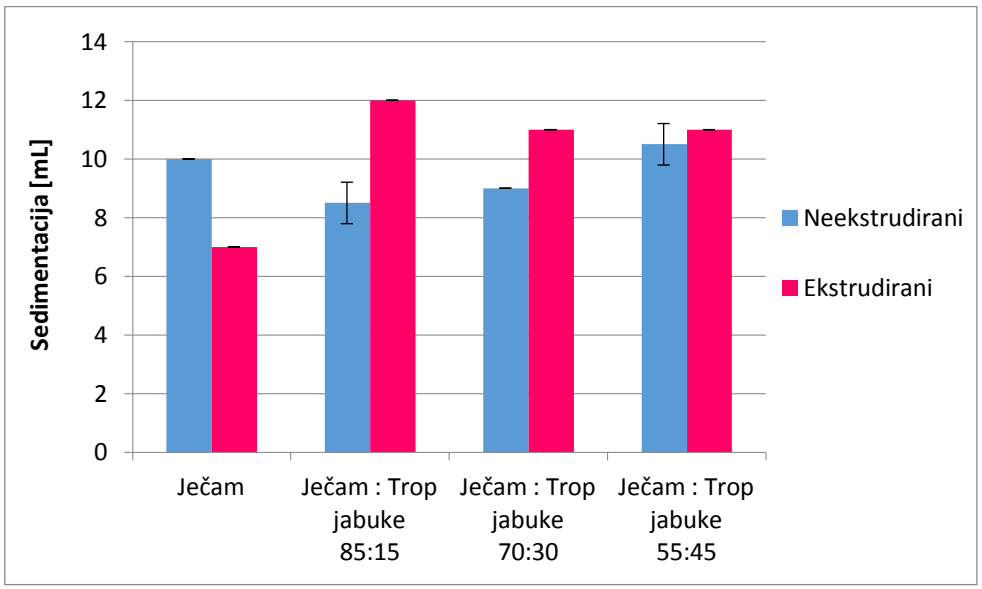
Tablica 1 Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost ječmenog brašna i smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke

Uzorci	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							
Ječam	766,5 ± 0,71 ^{e}	738,0 ± 21,21 ^{h}	483,0 ± 9,9 ^{f}	852,0 ± 7,07 ^{f}	850,0 ± 2,83 ^{g}	283,0 ± 11,31 ^{f}	360,0 ± 4,24 ^{e}
Ječam : Trop jabuke 85:15	672,5 ± 14,85 ^{d}	626,5 ± 12,02 ^{g}	315,0 ± 1,41 ^{e}	569,5 ± 2,12 ^{e}	552,0 ± 4,24 ^{e}	356,5 ± 13,44 ^{g}	248,0 ± 1,41 ^{d}
Ječam : Trop jabuke 70:30	460,0 ± 21,21 ^{c}	419,0 ± 8,49 ^{e}	203,5 ± 7,78 ^{c}	396,0 ± 11,31 ^{c}	385,0 ± 12,73 ^{c}	254,5 ± 13,44 ^{e}	187,0 ± 4,24 ^{b}
Ječam : Trop jabuke 55:45	306,0 ± 0,00 ^{b}	272,5 ± 3,54 ^{b}	129,5 ± 2,12 ^{a}	255,0 ± 4,24 ^{a}	249,5 ± 2,12 ^{a}	176,0 ± 1,41 ^{c}	121,5 ± 0,71 ^{a}
EKSTRUDIRANI							
Ječam	692,0 ± 2,83 ^{d}	389,0 ± 5,66 ^{d}	479,5 ± 0,71 ^{f}	847,0 ± 19,80 ^{f}	831,5 ± 12,02 ^{f}	212,5 ± 3,54 ^{d}	360,5 ± 21,92 ^{e}
Ječam : Trop jabuke 85:15	447,5 ± 0,71 ^{c}	447,0 ± 1,41 ^{f}	271,0 ± 2,83 ^{d}	504,0 ± 4,24 ^{d}	489,0 ± 4,24 ^{d}	174,5 ± 2,12 ^{c}	227,0 ± 1,41 ^{c}
Ječam : Trop jabuke 70:30	316,5 ± 9,19 ^{b}	309,0 ± 11,31 ^{c}	195,5 ± 7,78 ^{c}	380,5 ± 10,61 ^{c}	370,0 ± 7,07 ^{c}	121,0 ± 1,41 ^{b}	181,5 ± 3,54 ^{b}
Ječam : Trop jabuke 55:45	198,0 ± 2,83 ^{a}	186,0 ± 2,83 ^{a}	147,5 ± 2,12 ^{b}	286,5 ± 2,12 ^{b}	281,0 ± 2,83 ^{b}	50,0 ± 1,41 ^{a}	136,0 ± 0,00 ^{a}

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



Slika 13 Rezultati određivanja broja padanja ječmenog brašna i smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke



Slika 14 Rezultati određivanja sedimentacije ječmenog brašna i smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke

Tablica 1 Rezultati farinografskog ispitivanja ječmenog brašna i smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke

Uzorak	Upijanje vode (%)	Razvoj (min)	Stabilnost (min)	Otpor (min.)	Stupanj omekšanja (FJ)	Farinografski broj kvalitete (FBK)	Skupina kvalitete
NEEKSTRUDIRANI							
Ječam	61	1,1	0,4	1,5	105	24	B2
Ječam : Trop jabuke 85:15	55,9	1,5	0	1,5	83	16	B2
Ječam : Trop jabuke 70:30	59,7	15,5	0	15,5	7	156	A1
Ječam : Trop jabuke 55:45	61,5	3,2	0	3,2	93	32	B2
EKSTRUDIRANI							
Ječam	82,5	20	0	20	0	200	A1
Ječam : Trop jabuke 85:15	79,7	6,3	0	6,3	100	67	B1
Ječam : Trop jabuke 70:30	77,2	12,1	0	12,1	220	121	B1
Ječam : Trop jabuke 55:45	75,8	19,6	0	19,6	214	198	A1

5. RASPRAVA

Zadatak ovoga rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke te odrediti mogu li se ekstrudirane smjese koristiti kao modificirana brašna u prehrambenoj industriji.

U **Tablici 1** prikazani su rezultati mjerenja viskoznosti na Brabenderovom Mikro visko-amilografu. Dobiveni rezultati pokazuju statistički značajan ($p<0,05$) pad vrijednosti viskoznosti vrha (koja označava maksimalnu viskoznost nakon želatinizacije škroba) nakon provedene ekstruzije kod svih uzoraka. Pad vrijednosti viskoznosti vrha vidljiv je i kod dodatka tropa jabuke, što je veći udio tropa jabuke viskoznost vrha je manja i kod neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka. Najvišu vrijednost viskoznosti vrha (766,5 ± 0,71 BU) imalo je neekstrudirano ječmeno brašno, a najnižu vrijednost viskoznosti vrha (198,0 ± 2,83 BU) ekstrudirana smjesa ječam : trop jabuke = 55 : 45.

Zagrijavanjem na temperaturu od 92 ^{o}C, viskoznost uzoraka se smanjila, a zadržavanjem 5 minuta na toj temperaturi uz miješanje smanjenje viskoznosti se nastavilo. Rezultat toga su više vrijednosti kidanja (kidanje = viskoznost vrha – viskoznost na 92 ^{o}C / 5 minuta), što je pokazatelj njihove nestabilnosti na visokim temperaturama. Ekstrudirani uzorci su pokazali veću stabilnost, jer im je vrijednost kidanja uglavnom približno upola niža u odnosu na neekstrudirane uzorke.

Hlađenjem na 50 ^{o}C dolazi do znatnog povećanja viskoznosti kod svih uzoraka kao rezultat retrogradacije škroba. Viskoznost nakon hlađenja veća je od viskoznosti vrha kod ekstrudiranih uzoraka. Kod neekstrudiranih uzoraka viskoznost nakon hlađenja je manja od viskoznosti vrha. Viskoznost se nakon miješanja 5 minuta na 50 ^{o}C neznatno smanjila i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka. Sklonost retrogradaciji može se očitati iz vrijednosti podataka za „setback“ (setback = viskoznost na 50 ^{o}C – viskoznost na 92 ^{o}C / 5 minuta). Iz rezultata je vidljivo da se sklonost retrogradaciji nije statistički značajno promijenila ($p<0,05$) nakon ekstruzije. Najviše vrijednosti „setback“ imaju uzorci ječmenog brašna, a vrijednosti se smanjuju povećanjem udjela tropa jabuke u smjesi.

Smanjenje parametara viskoznosti povećanjem udjela tropa jabuke, moglo bi se povezati s manjim udjelom škroba u smjesi. Smanjenje viskoznosti nakon provedenog procesa

ekstruzije rezultat je značajno većeg stupnja oštećenosti škroba u ekstrudiranim uzorcima u usporedbi s neekstrudiranim uzorcima.

Smanjenje viskoznosti nakon procesa ekstruzije pokazalo se i u drugim istraživanjima (Jozinović i sur., 2012; Jozinović, 2015). Do istog zaključka došli su i Gupta i sur. (2008) te Hegenimana i sur. (2006).

Na **Slici 13** prikazani su rezultati određivanja broja padanja. Dobiveni rezultati pokazuju da se vrijednost broja padanja smanjuje što je veći udio tropa jabuke u smjesi. Vrijednost broja padanja najviša (527 s) je kod ekstrudiranog uzorka ječma, a najniža (63,5 s) kod ekstrudirane smjese ječam : trop jabuke = 55 : 45. Ekstrudirani ječam ima viši broj padanja u odnosu na neekstrudirani. Dodatak tropa jabuke rezultirao je proporcionalnim smanjenjem FN. Broj padanja opada dodatkom tropa jer je manji udio škroba u smjesi, odnosno manje je supstrata za aktivnost enzima (Kaluđerski i Filipović, 1998). Broj padanja iznad 350 s označava nisku aktivnost α-amilaze, što znači da nema proklijalih zrna i da bi u pekarstvu kruh od takvog brašna bio malog volumena i suhe i mrvljive sredine (Kaluđerski i Filipović, 1998). Primjenom ekstruzije snižavaju se vrijednosti broja padanja na ispod 150 s, što je granica za visoku aktivnost α-amilaze. Kent i Evers (1994) navode da se ekstruzija može primjenjivati za povećanje aktivnosti α-amilaze kako bi se brašna koja nisu pogodna za tradicionalnu pekarsku proizvodnju mogla primjenjivati u proizvodnji grickalica, keksa i sl.

Na **Slici 14** prikazani su rezultati sedimentacije ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka iz kojih je vidljivo da veću vrijednost sedimentacije imaju ekstrudirane smjese ječam : trop jabuke. Udio tropa ne utječe značajno na sedimentaciju ekstrudiranih smjesa, a u odnosu na kontrolni uzorak vrijednost sedimentacije ekstrudiranih smjesa je veća. Kod neekstrudiranih smjesa vrijednost sedimentacije se povećava povećanjem udjela tropa jabuke, u odnosu na kontrolni uzorak čije su vrijednosti slične vrijednosti smjese ječam : trop jabuke = 55 : 45. Kontrolni uzorak ječma pokazuje veću vrijednost sedimentacije u neekstrudiranom uzorku nego u ekstrudiranom. Sva brašna imaju dosta nisku sedimentacijsku vrijednost, što pokazuje da je mali sadržaj proteina u sastavu, odnosno da je lijepak slab (Jukić i Koceva Komlenić, 2015). To je logično, budući da se procesom ekstruzije narušava gluten (denaturacija proteina), koji je važna stavka za proizvodnju kruha i peciva (Arĕas, 1992).

Rezultati farinografskih ispitivanja prikazani su u **Tablici 2**. Iz njih se može zaključiti da ekstrudirani uzorci imaju veću sposobnost upijanja vode. Sposobnost upijanja vode se smanjuje kako se povećava udio tropa jabuke kod ekstrudiranih uzoraka. Stojceska i sur. (2010) u svom istraživanju su također ustanovili smanjenje apsorpcije vode povećanjem udjela tropa jabuke. Kod neekstrudiranih uzoraka, sposobnost upijanja vode se povećava s povećanjem udjela tropa jabuke. Najviše vode (82,5 %) upija ekstrudirani uzorak ječma, a najmanje (55,9 %) neekstrudirani uzorak smjese ječam : trop jabuke = 85 : 15.

Razvoj tijesta kod ekstrudiranih uzoraka je značajno duži nego kod neekstrudiranih, a povećava se većim udjelom tropa jabuke. Najduži razvoj (20 min) ima ekstrudirani ječam, a najkraći (1,1 min) neekstrudirani ječam. Dulji razvoj tijesta upućuje da su u pitanju jaka brašna.

Stabilnost je kod svih uzoraka 0, osim kod neekstrudiranog ječma (0,4 min). Budući da je gluten narušen, nije bilo moguće razviti klasično tijesto, te je zbog toga stabilnost 0.

Najveći stupanj omekšanja uočava se kod ekstrudirane smjese ječam : trop jabuke = 55 : 45. Stupanj omekšanja se povećava s povećanjem udjela tropa jabuke i kod ekstrudiranih i kod neekstrudiranih uzoraka.

Farinografski broj kvalitete značajno je veći kod ekstrudiranih uzoraka, a povećava se s povećanjem udjela tropa jabuke. Prema tome ekstrudirana brašna spadaju u A1 i B1 kvalitetne grupe, što znači da se mogu koristiti kao poboljšivači u prehrambenoj industriji. Zbog dugog razvoja tijesta i loše stabilnosti, brašna se ne mogu koristiti samostalno u proizvodnji kruha i peciva, ali bi se mogli primijeniti u proizvodnji, keksa, čajnih peciva, tjestenine i sl.

6. ZAKLJUČCI

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

1. Proces ekstruzije značajno smanjuje viskoznost vrha ječmenog brašna. Dodatak tropa jabuke dodatno smanjuje viskoznost ekstrudata. Ekstrudirani uzorci pokazali su značajno veću stabilnost tijekom miješanja pri visokoj temperaturi od neekstrudiranih, što se može zaključiti iz nižih vrijednosti kidanja. „Setback“ vrijednosti pokazuju da se sklonost retrogradaciji neznatno promijenila nakon procesa ekstruzije, a vrijednosti se smanjuju povećanjem udjela tropa jabuke.

2. Vrijednosti broja padanja se smanjuju kako se povećava udio tropa jabuke u smjesi. Broj padanja je manji dodatkom tropa, jer je manji udio škroba u smjesi, odnosno manje je supstrata za aktivnost enzima.

3. Sedimentacijska vrijednost uvelike ovisi o dodatku tropa jabuke, pri čemu se povećanjem udjela tropa jabuke povećava i sedimentacijska vrijednost kod neekstrudiranih uzoraka. Kod ekstrudiranih uzoraka nema velike razlike u sedimentacijskoj vrijednosti s obzirom na udio tropa jabuke.

4. Iz farinografskih ispitivanja može se zaključiti da se nakon ekstruzije povećava sposobnost upijanja vode. Kod ekstrudiranih smjesa ječmenog brašna i tropa jabuke, sposobnost upijanja vode se smanjuje kako se povećava udio tropa jabuke. Kod neekstrudiranih uzoraka sposobnost upijanja vode se povećava s povećanjem udjela tropa jabuke u smjesi. Razvoj tijesta kod ekstrudiranih uzoraka je značajno duži nego kod neekstrudiranih, a povećava se većim udjelom tropa jabuke. Stabilnost svih uzoraka je 0, zbog narušenog glutena, odnosno njegovog malog sadržaja u smjesi. Stupanj omekšanja se povećava s povećanjem udjela tropa jabuke i kod ekstrudiranih i kod neekstrudiranih uzoraka. Farinografski broj kvalitete značajno je veći kod ekstrudiranih uzoraka, a povećava se s povećanjem udjela tropa jabuke. Prema tome ekstrudirana brašna spadaju u A1 i B1 kvalitetne grupe, što znači da se mogu koristiti kao poboljšivači u prehrambenoj industriji. Zbog dugog razvoja tijesta i loše stabilnosti, brašna se ne mogu koristiti

samostalno u proizvodnji kruha i peciva, ali bi se mogli primijeniti u proizvodnji, keksa, čajnih peciva, tjestenine i sl.

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 [19.9.2016.]

AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, *AACC Method* 56-81.03 Determination of Falling Number. http://methods.aaccnet.org/sumaries/56-81-03.aspx [19.9.2016.]

AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, *AACC Method* 56-61.02 Sedimentation Test for Wheat. http://methods.aaccnet.org/summaries/56-61-02.aspx [19.9.2016.]

Arěas JAG: Extrusion of food proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 32:365-392, 1992.

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

Bouvier JM, Campanella OH: *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*. WILEY Blackwell, John Wiley and Sons, Ltd., UK, 2014.

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

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.

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

Grigoras GC, Destandau E, Fougère L, Elfakir C: Evaluation of apple pomace extracts as a source of bioactive compounds. *Industrial crops and products,* 49:794-804, 2013.

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

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

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

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

Ister A: Udio β-glukana u različitim sortama ječma uroda 2008./2009. godine i utjecaj ječmenog brašna na reološka svojstva tijesta. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2010.

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, 2012.

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

Jukić M, Koceva Komlenić D: Materijali sa predavanja na kolegiju Tehnologija proizvodnje i prerade brašna Pekarstvo. Prehrambeno tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2015.

Kaluđerski G, Filipović N: Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda. Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad, 1998.

Kent NL i Evers AD: *Kent's Technology of Cereals*, 257 str, Pergamon , 1994.

Kljusurić S: *Uvod u tehnologiju mljevenja pšenice.* Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2000.

Koceva Komlenić D, Jukić M, Kosović I, Kuleš A: Tehnologija proizvodnje i prerade brašna. Upute za laboratorijske vježbe. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2014.

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

Móscicki L: *Extrusion - Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*. WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 2011.

Newman CW, Newman RK: a Brief History of Barey Foods. *Cereal Food World*, vol 51, NO.1 January/February 2006.

Obradović V: Utjecaj temperature i dodataka na fizikalna, kemijska i senzorska svojstva kukuruznih ekstrudata. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2014.

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

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

Royer G, Madieta E, Symoneaux R, Jourjon F: Preliminary study of the production of apple pomace and quince jelly. *LWT – Food Science and Technology*, 9(9):1022-1025, 2006.

Schieber A, Hilt P, Berardini N, Carle R: Recovery of Pectin and Polyphenolics from Apple Pomace and Mango Peels. U *Total food 2004, exploiting coproducts minimising waste* (Waldron K, Faulds C, Smith A, ur.). Institute of Food Research, Norwich, 144–149, 2004.

Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş: The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry,* 121:156-164, 2010.

Sudha ML, Baskaran V, Leelavathi K: Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry.* 104: 686-692, 2006.

Ugarčić-Hardi Ž, Koceva Komlenović D, Jukić M: Materijali sa predavanja na kolegiju Sirovine biljnog podrijetla. Prehrambeno tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2011.

Upute za laboratorijske vježbe. Kemija i tehnologija žitarica. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, 2010.