Utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva eksturdiranih brašna pšenice i ječma

Blaž, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:109:660033

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

Nikolina Blaž

UTJECAJ VLAŽNOSTI ZAMJESA NA SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH BRAŠNA PŠENICE I JEČMA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

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

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda
Tema rada prihvaćena je na VIII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2015./2016. održanoj 30. svibnja 2016.
Mentor: *prof. dr. sc. Drago Šubarić*

UTJECAJ VLAŽNOSTI ZAMJESA NA SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH BRAŠNA PŠENICE I JEČMA

Nikolina Blaž, 333/DI

Sažetak:
Cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva pšeničnog i ječmenog brašna, modificiranih procesom ekstruzije. Pri temperaturnom profilu 70/90/110 °C ekstrudirane su smjese vlažnosti 25, 30 i 35 %. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna i reološka svojstva u odnosu na neekstrudirane uzorke. Brabenderovim viskoamilografom ispitana su reološka svojstva modificiranih brašna, zaključeno je da ekstruzija utječe na smanjenje *viskoznosti vrha*, gdje je vlaga zamjesa imala značajan utjecaj. Sedimentacijske vrijednosti ekstrudiranih uzoraka pšenice značajno su niže u odnosu na neekstrudirane uzorke. Vlažniji profil ekstruzije uzrokuje smanjenje broja padanja kod pšenice, dok kod ječma uzrokuje povećanje broja padanja. Farinografskim ispitivanjem utvrđeno je da postupak ekstruzije uzrokuje povećanje upijanja vode bez obzira na ispitivani uzorak pšenice ili ječma, dok kod otpora i razvoja dolazi do malih oscilacija kod vlažnosti od 30 %. Kod sirovih uzoraka pšenice farinografski broj kvalitete bio je veći u odnosu na ječam. Bez obzira na promjenu vlažnosti ekstrudirani uzorci spadali su u viši stupanj kvalitetne grupe u odnosu na sirove uzorke.

Ključne riječi: ekstruzija, vlažnost, pšenica, ječam

Rad sadrži: 44 stranice
20 slika
6 tablica
0 priloga
43 literaturne reference

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

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

Datum obrane: 28. rujna 2018.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

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

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Technology of carbohydrates and confectionary products
Thesis subject approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII., held on May 30th, 2016.
Mentor: *Drago Šubarić*, PhD, prof.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON PROPERTIES OF EXTRUDED WHEAT AND BARLEY FLOURS

Nikolina Blaž, 333/DI

Summary:
The aim of this paper was to examine the influence of moisture on the properties of wheat and barley flour, modified by extrusion process. Mixtures were extruded at temperature profile 70/90/110 °C, at moisture content of 25, 30 and 35%. The obtained extrudates were analyzed and physical and rheological properties of non-extruded and extruded samples were determined. Rheological properties were determined by Brabender's viscoamilograph and it was concluded that extrusion affects the reduction of peak viscosity, where the moisture of mixtures had a significant influence. The sedimentation values of extruded wheat samples are significantly lower than those of the non-extruded samples. The higher moisture content of mixtures causes a decrease in the number of falls in wheat, while in barley causes an increase. By farinographic testing it was found that the extrusion process causes an increase in water absorption indeks, while resistance and development results in low oscillations at a humidity of 30%. In raw wheat samples, the farine quality was higher in relation to barley. Regardless of the change in moisture content, the extruded samples were part of a higher quality group compared to the raw samples.

Key words: extrusion, moisture, wheat, barley

Thesis contains: 44 pages
20 figures
6 tables
0 supplements
43 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: September 28th, 2018

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. Najznačajnije primjene ekstruzije 5
      2.1.2. Ekstruzija kroz povijest 6
   2.2. Podjela ekstrudera 6
      2.2.1. Prema termodinamičkim uvjetima rada 7
      2.2.2. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 7
      2.2.3. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 8
   2.3. Zone (sekcije) ekstrudera 12
   2.4. Kemijske i nutritivne promjene koje se odvijaju tijekom ekstruzije 15
   2.5. Sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda 16
      2.5.1. Ječam 17
      2.5.2. Pšenica 18
3. EKSPERIMENTALNI DIO 20
   3.1. Zadatak 21
   3.2. Materijali i metode 21
      3.2.1. Materijali 21
4. REZULTATI 29
5. RASPRAVA 35
6. ZAKLJUČCI 39
7. LITERATURA 41

1. UVOD

Ekstruzija se ubraja u HTST (engl. *high temperature short time*) procese koji tijekom procesiranja namirnica uzrokuju minimalne promjene na proteinima, aminokiselinama, vitaminima, škrobu i enzimima (Móscicki, 2011).

Ekstruzija u prehrambenoj industriji bilježi sve veću primjenu, što je uglavnom uzrokovano praktičnim svojstvima tog procesa. Kada se uzme u obzir kako su različiti ugljikohidrati osnovna sirovina za proizvodnju ekstrudiranih proizvoda, to govori koliki potencijal ekstruzija ima u razvoju novih proizvoda (Lovrić, 2003).

Početci šire primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji povezani su prvenstveno s proizvodnjom tjestenine, zatim instant proizvoda na bazi cerealija (žitarica) i tzv. snack proizvoda.

To je izrazito učinkovit proces, primjenjiv u biotehnološkoj proizvodnji i prehrambenoj industriji, koju karakterizira skraćeno vrijeme proizvodnje i uštede u energiji, a time i niža konačna cijena gotovog proizvoda (Babić, 2011).

Cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva ekstrudiranih brašna pšenice i ječma, te ispitati reološka svojstva kao što su viskoznost, broj padanja, sedimentacija i farinograsko ispitivanje brašna.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Ekstruzija

Ekstruzija se definira kao proces u kojem se suha ili vlažna sirovina giba između rotirajućeg puža i stacionarnog kućišta, pri čemu se intenzivno miješa uz visoki tlak i temperaturu uz djelovanje sila smicanja, te u konačnici izlazi kroz sapnicu specifičnog oblika (Herceg, 2011). Proces ekstruzije uključuje:

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

U posljednja dva desetljeća popularnost je ekstruzijskog kuhanja porasla u odnosu na ostale metode procesiranje hrane, a razlog tome su:

- veliki energetski učinak zbog relativno niske vlažnosti materijala;
- kontinuiranost i automatizacija procesa uz mali utrošak radne snage;
- brza izmjena topline s HTST obilježjima (i prednostima);
- veliki kapacitet s obzirom na ulaganja i prostor;
- precizna kontrola trajanja i temperaturnog režima procesa, što se odražava u dobroj ujednačenosti proizvoda;
- mogućnost upotrebe različitih sastojaka i dobivanje širokog spektra proizvoda;
- minimalni nastanak otpada;
- niža vlažnost materijala (10 – 40 %) u usporedbi sa klasičnim postupcima proizvodnje određenih vrsta tijesta (Guy, 2001; Riaz, 2000).

U tehnologiji ekstrudiranja prehrambenih proizvoda razlikuju se tri postupka:

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

Glavne karakteristike suvremenih ekstrudera, posebice onih namijenjenih ekstruzijskom kuhanju su sljedeće:

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

Za preradu proizvoda koji su bogati škrobom ili proteinima najčešće se primjenjuje ekstruzijsko kuhanje. Iako je ta primjena pretežno ograničena na proizvode s niskom vlažnošću, novija su istraživanja usmjerena i na proizvode s većim sadržajem vode (40 – 80 %) (Cheftel, 1990).

Dva čimbenika koji najviše utječu na krajnja svojstva ekstrudiranog proizvoda su reološka svojstva namirnica, udio vode, agregatno stanje, kemijski sastav, pH vrijednost i procesni parametri (temperatura, tlak, dimenzije i konfiguracija pojedinih dijelova ektrudera, veličina smicanja).

2.1.1. Najznačajnije primjene ekstruzije

Ekstruzija se može primijeniti za preradu različitih sirovina, polugotovih i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda, a neki od tih proizvoda su:

- ekspandirani snack proizvodi,
- dječja hrana,
- prethodno kuhano brašno,

- instant koncentrati,
- funkcionalni dodaci,
- teksturirani biljni proteini,
- tjestenina, krekeri,
- krušne mrvice, emulzije i paste,
- konditorski proizvodi,
- hrana za kućne ljubimce i ribe,
- proizvodi od plastike i dr. (Jozinović, 2015).

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

2.1.2. Ekstruzija kroz povijest

Polovicom 30-ih godina dvadesetog stoljeća dolazi do ozbiljne primjene ekstruzije razvojem prvih dvopužnih ekstrudera. Osamdesetih godina 19. stoljeća u Engleskoj se prvi put spominje ovaj proces, kada ga je za proizvodnju sapuna i pasti upotrebio Joseph Bramah. Postupak ekstruzije našao je svoju primjenu godine 1950. i u proizvodnji hrane za kućne ljubimce. Proizvodnja ekspandiranih „snack" proizvoda na bazi kukuruza i riže razvija se nakon završetka II. Svjetskog rata u SAD-u. U Njemačkoj 1873. godine Phoenix Gummiwerke je razvio prvi jednopužni ekstruder koji se početku koristio za obradu gume (Riaz, 2000). U drugoj polovici dvadesetog stoljeća korištenjem jednopužnih ekstrudera u proizvodnji različitih vrsta „snack" proizvoda dolazi do velike ekpanzije ekstrudera (Brnčić i sur., 2008).

2.2. Podjela ekstrudera

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

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

2.2.1. Prema termodinamičkim uvjetima rada

S obzirom na termodinamičke uvjete rada razlikuju se:

- autogeni (adijabatski) ekstruderi – ekstruderi koji rade pri približno adijabatskim uvjetima. Kod njih se toplina razvija konverzijom mehaničke energije prilikom gibanja materijala u uređaju te se u pravilu ne dovodi niti se odvodi toplina, a potrebna je niska vlažnost sirovina (8 – 14 %) (Pozderović, 2009),
- izotermni ekstruderi – obrađuju željeni materijal pri konstantnim uvjetima temperature cijelom dužinom kućišta i uglavnom se upotrebljavaju za oblikovanje (Riaz, 2000),
- politropski ekstruderi – u prehrambenoj industriji koristi se najviše ovaj tip ekstrudera, to su ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih uvjeta (Pozderović, 2009).

2.2.2. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

S obzirom na veličinu smicanja, razlikuju se:

- nisko-smični ekstruderi (ekstruderi hladnog oblikovanja) - glatko kućište, mala smicanja, male brzine okretaja puža te puževi s dubokim navojima su glavne karakteristike ovoga ekstrudera. Oni se primjenjuju u oblikovanju tijesta, keksa, mesnih proizvoda i određenih konditorskih proizvoda (Babić, 2011);
- srednje-smični ekstruderi - imaju puževe za postizanje visokih tlakova i kućište sa žljebovima kako bi se poboljšalo miješanje, a toplina se dovodi izvana. Koristi se za proizvodnju proizvoda mekane konzinstencije s povišenim udjelom vlage (Riaz, 2000);
- visoko-smični ekstruderi (Collet ekstruderi) - upotrebljavaju se u proizvodnji ekspandiranih ekstrudata kao što su snack proizvodi i žitarice za doručak. Tip ekstrudera koji imaju kućište sa žljebovima i puževe s plitkim navojima. Temperatura sirovina (sirovine s relativno niskim udjelom vlage – oko 12 %) brzo dosegne vrijednost iznad 175 °C, pri čemu dolazi do dekstrinizacije i želatinizacije škroba. Na izlazu iz ekstrudera dolazi do ekspanzije i sušenja proizvoda, što rezultira hrskavom i poroznom strukturom (Riaz, 2000).

2.2.3. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

- Ekstruderi viskozno-vlačnog toka - ovu vrstu ekstrudera najviše koristimo u konditorskoj industriji. Materijal tijekom gibanja u ovom ekstruderu se ponaša kao ne-newtonovski fluid, zbog toga dolazi do promjene svojstava gotovih proizvoda i svojstava ishodišnog materijala (Pozderović, 2009);
- ekstruderi direktnog tipa (pozitivnog tlaka) – u slučaju kada nije potrebna značajna promjena svojstava ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal (kobasica, čokolada, žvakaće gume) ovi ekstruderi se tada primjenjuju (Lovrić, 2003). Ekstruderi pozitivnog tlaka mogu biti: klipni ekstruderi i pužni (vijčani) ekstruderi.

2.2.3.1. Klipni ekstruderi

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

2.2.3.2. Pužni (vijčani) ekstruderi

Pužni ekstruderi u prehrambenoj industriji imaju najširu primjenu. Kod pužnih ekstrudera zbog viskoznog gibanja materijala između puževa te između puževa i kućišta dolazi do smicanja, oslobađanja topline te se materijal značajno miješa. Ovi ekstruderi se upotrebljavaju u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal kao što su flips i čokolada (Pozderović, 2009).

Osnovna podjela ekstrudera s obzirom na tehničku izvedbu:

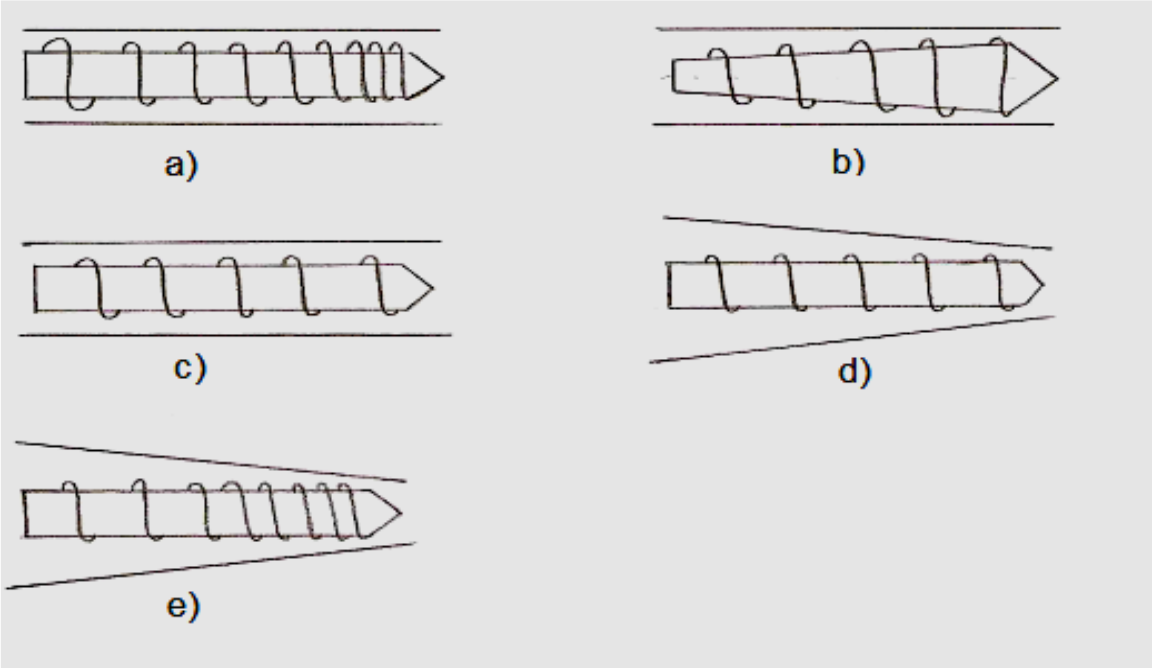
- jednopužni,
- dvopužni.

Razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta kroz uređaj. U jednopužnom ekstruderu transport materijala proizlazi iz razlika sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Jednopužni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih

tlakova. U dvopužnom ekstruderu s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom (Lovrić, 2003).

Jednopužni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova, ovisno o dužini pužnice, dubini kanala, usponu puža i prividnoj viskoznosti materijala, a prema izvedbi puža i kućišta razlikujemo jednopužne ektrudere:

- kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju,
- kod kojih se promjer puža povećava prema kraju,
- sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta,
- kod kojih se kućište konusno sužava,
- kod kojih se korak smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Lovrić, 2003.)



Slika 1 Tipovi puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera: a) Korak puža se smanjuje prema kraju; b) promjer puža se povećava prema kraju; c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta; d) kućište se konično sužava; e) korak puža se smanjuje prema kraju, a kućište se konično sužava (Šubarić, 2011)

Dvopužni ekstruderi imaju niz prednosti u odnosu na jednopužne:

- manje je izraženo pulsiranje materijala na izlazu,
- s obzirom na veličinu čestica, moguće je procesirati širok raspon materijala,
- vrlo lagano čišćenje i održavanje zbog svojstva samočišćenja,
- jednostavnije je održavanje,
- procesiranje sirovina s visokim udjelom svježeg mesa (do 35 %),
- mogu procesirati vrlo viskozne, ljepljive, masne ili vlažne materijale (do 25 % masti, za razliku od jednopužnih koji toleriraju do 17 % masti) (Guy, 2001; Riaz, 2000).

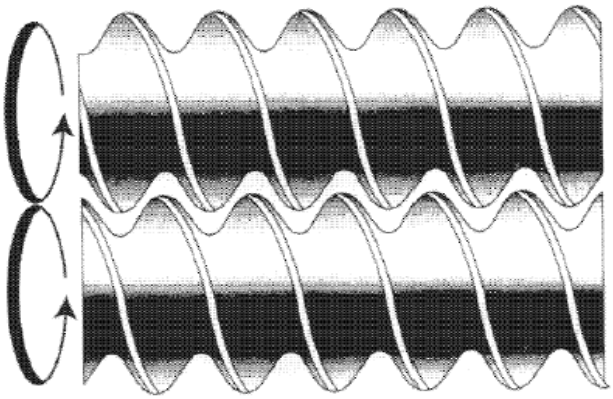
Kod dvopužnih ekstrudera nedostatak im je složena instalacija i puštanje u rad te veća potrošnja energije, a cijena mu je za razliku od jednopužnih veća za 6-10 % (Guy, 2001; Brennan i Grandison, 2012).

Osnovna podjela dvopužnih ekstrudera prema smjeru okretaja pužnice je sljedeća:

- istosmjerni okretaji pužnice,
- suprotni smjer okretaja pužnice.

Ekstruderi s istosmjernim okretajima pužnice

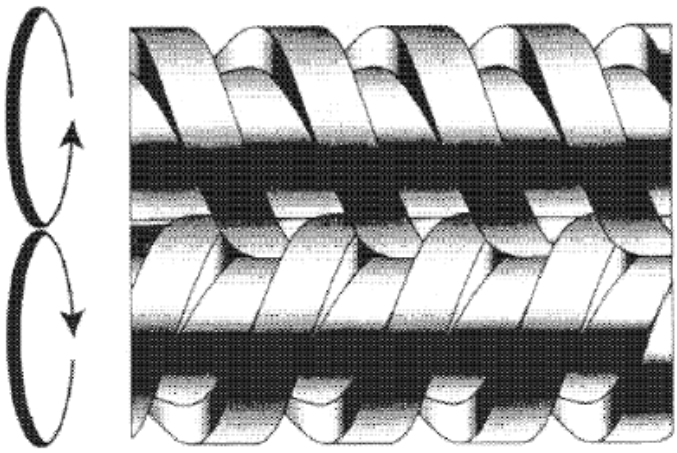
U prehrambenoj industriji ovaj tip ekstrudera koristi se često najviše za proizvodnju snack proizvoda. Karakterizira ga ujednačena kvaliteta proizvoda, visok stupanj prijenosa topline te visok učinak potiskivanja materijala (**Slika 2**) (Babić, 2011).



Slika 2 Dvopužni ekstruder s istosmjernim okretajima puža (Babić, 2011)

Ekstruderi sa suprotnim smjerom okretaja puža

Ovaj tip ekstrudera nema široku primjenu u prehrambenoj industriji. Koriste se u proizvodnji žele i gumenih bombona (**Slika 3**) (Babić, 2011).



Slika 3 Dvopužni ekstruder sa suprotnim okretajima puža (Babić, 2011)

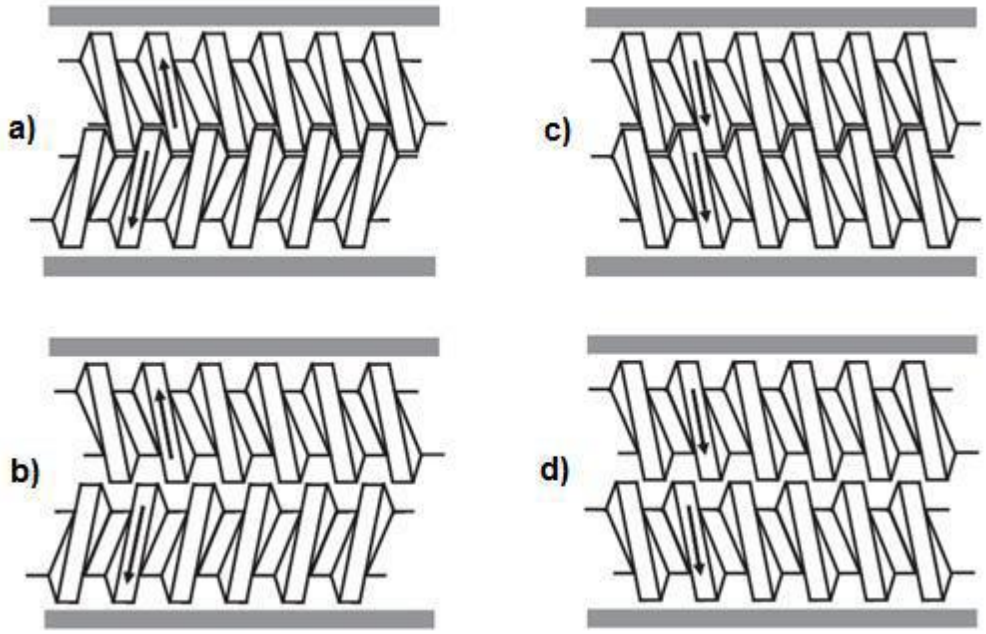
Današnji dvopužni ekstruderi imaju modularnu konstrukciju (**Slika 4**), što znači da su pužnice izgrađene od nekoliko različitih elemenata, montiranih na osovinu. Ovi elementi provode transport, miješanje, kompresiju i taljenje. Pravilnim postavljanjem ovih elemenata mogu se kontrolirati fizikalne i kemijske promjene materijala unutar ekstrudera (Móscicki, 2011).



Slika 4 Modularna konstrukcija puževa kod dvopužnih ekstrudera (Móscicki, 2011)

S obzirom na poziciju pužnica i njihov smjer rotacije, moguća su četiri osnovna tipa konfiguracije (**Slika 5**):

- suprotno rotirajuće zahvaćene pužnice,
- suprotno rotirajuće nezahvaćene pužnice,
- korotirajuće zahvaćene pužnice,
- korotirajuće nezahvaćene pužnice.

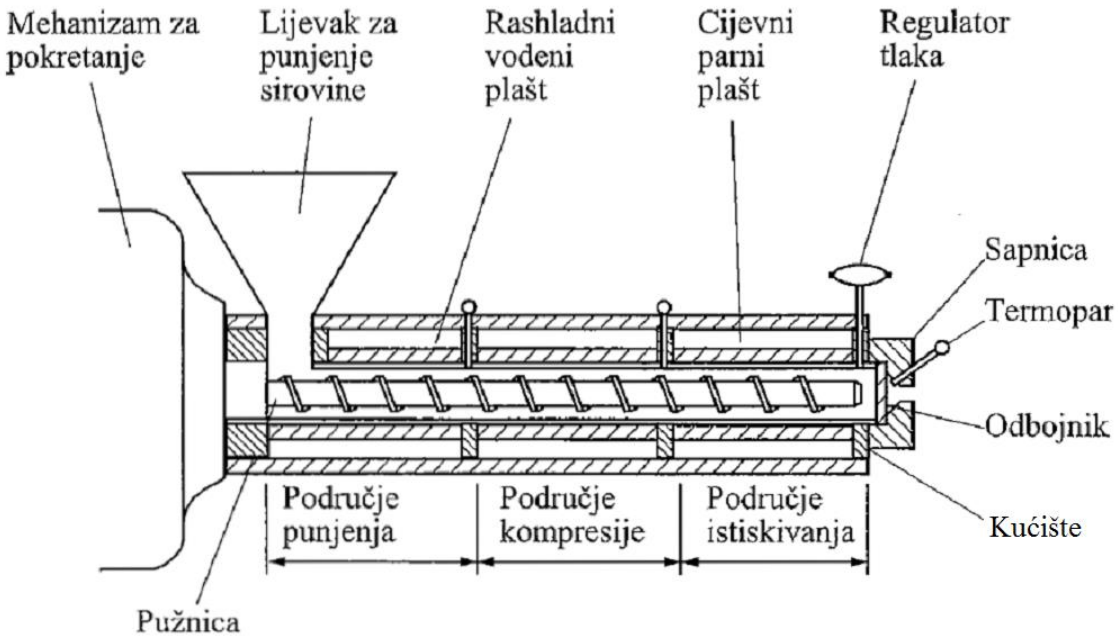


Slika 5 Osnovne konfiguracije puževa kod dvopužnih ekstrudera (Bouvier i Campanella, 2014)

2.3. Zone (sekcije) ekstrudera

Proces ekstruzije odvija se kroz tri zone (sekcije):

- zonu uvlačenja materijala,
- zonu komprimiranja materijala,
- istisnu zonu (Lovrić, 2003).



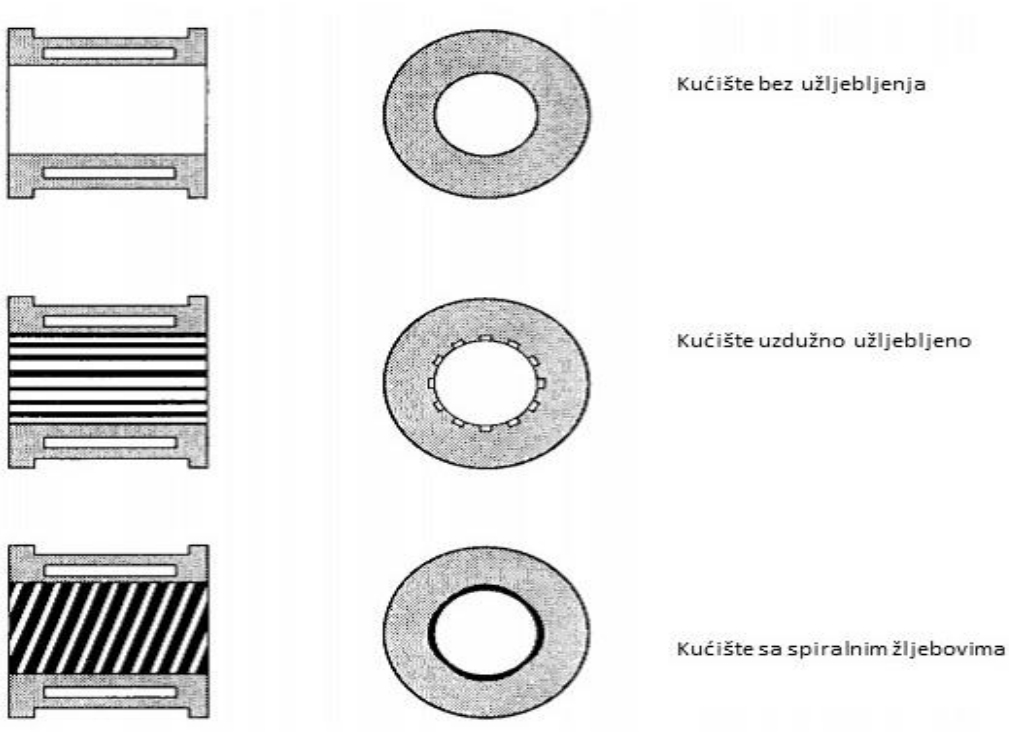
Slika 6 Presjek jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003)

Zona napajanja - Uloga zone napajanja je prihvaćanje materijala i transport istog do zone kompresije (Pozderović, 2009).

Zona kompresije - Glavna karakteristika ove zone je kompresija materijala, pri čemu dolazi do pretvorbe mehaničke u toplinsku energiju, što dovodi do plastificiranja materijala, koji je u početku bio praškast ili u vidu granula, a dolazi i do povećanja temperature (Lovrić, 2003).

Zona istiskivanja - Stlačeni materijal iz zone kompresije dospijeva u završnu zonu istiskivanja gdje se materijal homogenizira i potiskuje kroz sapnicu pri konstantnom tlaku (Pozderović, 2009).

Unutrašnja površina kućišta ekstrudera može biti glatka ili ožljebljena (**Slika 7**). Ožljebljena površina koristi se kako bi se smanjilo proklizavanje materijala do kojeg dolazi kada smično naprezanje postane veće od adhezije materijala uz stjenke kućišta.



Slika 7 Tipične konfiguracije kućišta ekstrudera (Rokey, 2000)

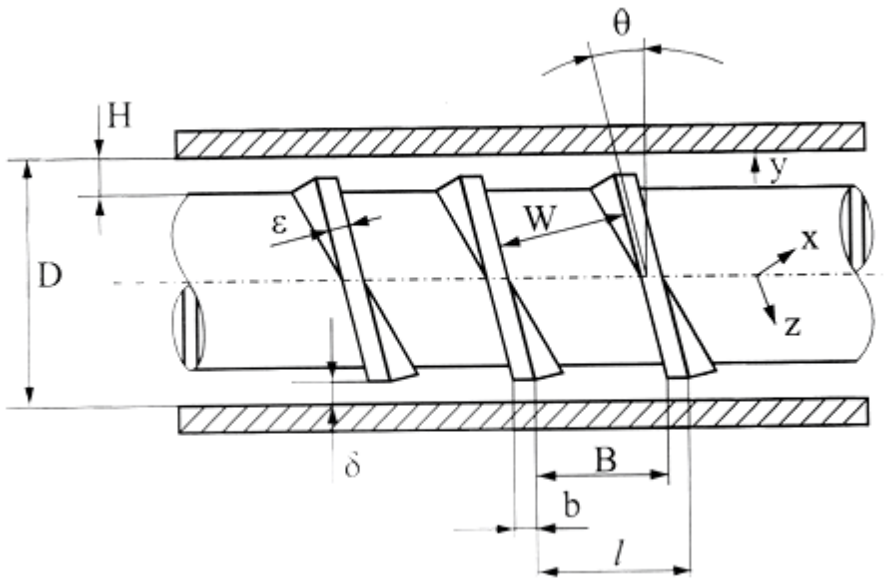
Na kraju ekstrudera nalazi se sapnica koja je izrađena tako da oblikuje ili ekspanzijom suši proizvod, a oblik sapnice određuje veličinu i oblik ekstrudiranog proizvoda. Brzina istjecanja materijala kroz sapnicu ovisi o:

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

Ukoliko u ekstruderu vladaju visoka temperatura i visoki tlakovi, nakon izlaska iz sapnice na atmosferski tlak, stlačeni materijal naglo ekspandira. Pri tome voda naglo izlazi, odnosno isparava iz materijala, zbog čega dolazi do povećanja volumena materijala i dehidratacije materijala, odnosno ekspanzijskog sušenja (flips i slični proizvodi) (Babić, 2011).

Karakteristike ekstrudera u velikoj mjeri ovise o geometrijskoj konfiguraciji ključnih elemenata uređaja, kao što su geometrija puža i kućišta (cilindra). Na **Slici 8** prikazani su neki osnovni

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



Slika 8 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. Kemijske i nutritivne promjene koje se odvijaju tijekom ekstruzije

Tijekom ekstruzije dolazi do pet glavnih fizikalno-kemijskih promjena koje su prikazane u **Tablici 1**.

Tablica 1 Osnovne promjene do kojih dolazi tijekom procesa ekstruzije (Carmine, 2000)

Osnovne promjene do kojih dolazi tijekom procesa ekstruzije	Cijepanje molekula
	Gubitak prirodne konfiguracije
	Rekombinacija fragmenata i njihovo povezivanje
	Termička degradacija
	Izdvajanje ulja, isparavanje vode i lako hlapivih komponenti

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

Tablica 2 Čimbenici koji utječu na promjene tijekom ekstruzije (Carmine, 2000)

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

2.5. Sirovine u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda

Sirovine koje se koriste za ekstrudiranje se zovu biopolimeri, a to su tvari bogate škrobom i/ili proteinima (Pozderović, 2009). U proizvodnji ekstrudiranih proizvoda najznačajnije i najzastupljenije sirovine su žitarice, kao što su kukuruz, zob, pšenica, riža, ječam, tapioka i raž. Zajedničko je da u svom sastavu imaju velike količine škroba koji tijekom procesa ekstruzije značajno mijenja svoja svojstva i tako utječe na kakvoću i teksturu gotovog proizvoda (Jukić i sur., 2010). Druga osnovna komponenta ekstrudiranih proizvoda su proteini, a koriste se biljni proteini (sojini, sjemenki suncokreta, pšenični gluten, i dr.). Tijekom ekstruzije procesiraju se tjestaste smjese, brašna žitarica ili proteinskih smjesa pri čemu se škrob želatinizira, a proteini poboljšavaju elastičnost i zadržavanje plinova. Nutritivna vrijednost primarni je čimbenik kod odabira sirovina, 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).

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).

2.5.1. Ječam

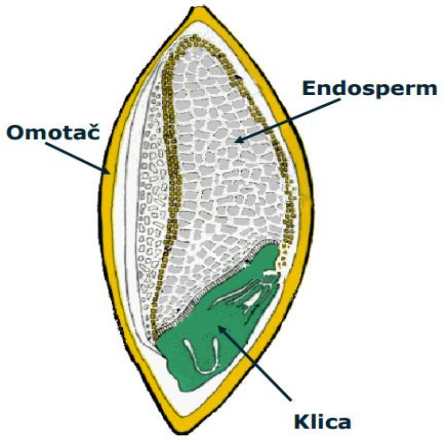
Ječam (*Hordeum sativum* ili *Hordeum vulgare*) ima najveće područje rasprostranjenosti među žitaricama (kozmopolitska kultura), što je omogućeno kratkom vegetacijom te postojanjem jarih i ozimih sorti. Ječam spada u najstarije kulturne vrste. Uzgajan je prije 6-7 tisuća godina u Egiptu, a prije 5 tisuća godina u Indiji i Kini (Kovačević i Rastija, 2011).

Ovisno o rasporedu zrna u klasu ova vrsta se dijeli u tri podvrste:

- *Hordeum vulgare* L. convar. *hexastichon* (šesteroredni ječam),
- *Hordeum vulgare* L. convar. *distichon* (dvoredni ječam),
- *Hordeum vulgare* L. convar. *intermedium* (nepravilni ječam) (Kumlehn i Stein, 2014).

Zrno ječma se sastoji od embrionalnog dijela, endosprema i omotača. U embrionalnom dijelu se nalazi embrio sa začecima lisne klice i korjenčića te on predstavlja živi dio zrna iz kojeg klijanjem nastaje nova biljka.
Najveći udio predstavljaju:

- proteini (34 %),
- topljivi šećeri (20 – 25 %),
- lipidi (14 – 17 %) te
- mineralne tvari (5 – 10 %) (Marić, 2000; Šimić, 2009).



Slika 9 Presjek zrna ječma (Ugarčić-Hardi i sur., 2011)

S obzirom na namjenu, potrebno je razlikovati dvije vrste ječma:

- ječam namijenjen industriji slada i piva (pivski ječam),
- ječam za hranidbu stoke (krmni ili stočni ječam).

Pivarski ječam mora udovoljavati uvjetima koje postavlja industrija slada, kao što su okruglo i dobro ispunjeno zrno, fino naborana pljevica, visoka masa 1000 zrna, visok udio zrna prve klase, visoka klijavost te odgovarajući parametri kakvoće slada, dok ječam namijenjen za hranidbu stoke mora imati odgovarajuću količinu bjelančevina, sastav i udio esencijalnih aminokiselina (Marić, 2000; Šimić 2009).

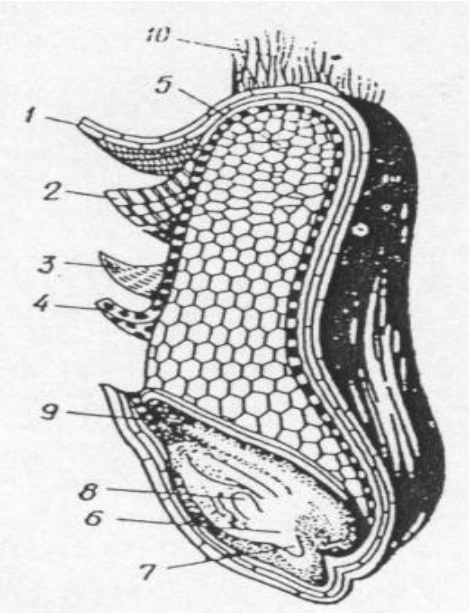
2.5.2. Pšenica

Prema pronađenim zapisima i nalazima utvrđeno je kako je pšenica poznata više od 10 000 godina, kada je uzgajana u Iraku, Maloj Aziji, Kini i Egiptu. Prije 5 000 godina uzgajana je u istočnom dijelu Europe, a nakon otkrića Amerike i Australije počeo je uzgoj pšenice na tim kontinentima (Pomeranz, 1998; Ačkar, 2010).

Pšenica je druga žitarica po uzgoju u svijetu, iza kukuruza. Ona je jednogodišnja biljka vrste *Triticum* koja se ubraja u porodicu *Poaceae*, a može biti ozima i jara. O kakvoći pšenice ovisi njena upotrebna vrijednost kao sirovine za preradu u mlinske proizvode za ljudsku prehranu. Ona je određena botaničkom pripadnošću, organoleptičkim svojstvima, količinom i vrstom primjesa,

sadržajem vode, određenim fizikalnim svojstvima, hektolitarskom težinom, prisutnošću mikroorganizama, kukaca i pesticida (Đaković, 1980).

Zdrave, zrele biljke su obično zlatnožute boje, a razlikuju se prema visini (60-120 cm), što ovisi o količini vlage, dužini dnevnog svjetla i količini gnojiva tijekom uzgoja te o genetskim osobinama svake vrste (Ugarčić-Hardi, 1999).



Slika 10 Presjek pšeničnog zrna (1-3. Omotač ploda i sjemena, 4. Aleuronski sloj, 5. Endosperm, 6. Klica, 7. Začetak korjenčića, 8. Pupoljak, 9. Štitić, 10. Brazdica) (Novaković, 2008)

Kemijski sastav pšenice:

- proteini – 11,7 %;
- voda – 13,2 %;
- lipidi – 2,2 %;
- ugljikohidrati – 59,6 %;
- vlakna – 13,3 %;
- minerali – 1,5 % (Ugarčić- Hardi i sur., 2011).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Zadatak

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj različitih vlažnih profila ekstruzije na svojstva pšeničnog i ječmenog brašna. Svojstva brašna ekstrudirana 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:

- Golozrni ječam 10 i Golozni ječam 11 – uzorci prikupljeni iz sortnih pokusa Poljoprivrednog instituta Osijek 2015. godine,
- Pšenica 1 (Kraljica) i Pšenica 2 (Olimpija) – uzorci prikupljeni iz sortnih pokusa Poljoprivrednog instituta Osijek 2015. godine.

Pšeničnom i ječmenom brašnu najprije je podešena vlažnot na 25 %, 30 % i 35 %, nakon čega su čuvane u plastičnim vrećicama na 4 °C tijekom noći, a nakon toga ekstrudirane u jednopužnom Ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/20 DN, GmbH, Duisburg, Njemačka (**Slika 11**) pri sljedećim režimima:

- konfiguracija puža 1:1;
- sapnica: 5 mm;
- ispitivane vlažnosti zamjesa: 25, 30, 35 %;
- temeraturni profil: 70/90/110 °C.

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



Slika 11 Laboratorijski jednopužni ekstruder Brabender 19/20 DN

3.2.2.2. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom

Na uređaju Brabender Gmbh & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 12**) određivala su se reološka svojstva brašna, prema metodi Jozinović i sur. (2012b). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.



Slika 12 Brabenderov Mikro-visko amilograf

U posudu Brabenderovog Mikro-visko amilografa doda se uzorak samljevenog ekstrudata kako bi se pripravilo 100 g 10 % suspenzije. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

- zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °Cmin^{-1};
- izotermno na 92 °C, 5 minuta;
- hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °Cmin^{-1};
- izotermno na 50 °C, 1 minuta.

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

- početna temperatura želatinizacije škroba [°C];
- viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU];
- vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja pri 92 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
- vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja pri 50 °C. Označava stabilnost pri 50 °C [BU];
- kidanje - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja pri 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU];
- „setback“ - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 5 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

3.2.2.3. Određivanje broja padanja (FALLING NUMBER)

Određivanje broja padanja provedeno je na uređaju Falling Number 1500, Perten Instruments AB, Švedska (**Slika 13**) prema metodi AACC 56-81B.



Slika 13 Uređaj za određivaje broja padanja

Broj padanja je međunarodna standardna metoda za određivanje aktivnosti α-amilaze u žitaricama i brašnu te sličnim proizvodima koji sadrže škrob, npr. pšenici i raži. 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).

Broj padanja odnosno FN (skraćeno od engl. *falling number*) se definira kao 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 izražava se u sekundama.

Prema vrijednosti broja padanja, pšenica se može podijeliti u tri razreda:

- FN < 150 s visoka aktivnost α-amilaze, pšenica je proklijala, kruh od ovog brašna imat će ljepljivu i vlažnu sredinu,
- FN = 150 – 300 s optimalna aktivnost α -amilaze, brašno pogodno za proizvodnju kruha; optimalan raspon vrijednosti broja padanja je između 250 i 300 s, optimalna aktivnost α-amilaze može se podesiti dodatkom sladnog brašna pšeničnom brašnu,
- FN > 300 s niska aktivnost α-amilaze, pšenica je uglavnom bez proklijalih zrna, fermentacija tijesta od takvog brašna je slaba pa se ono miješa sa dodatkom enzima ili sa pšenicom (brašnom) visoke amilolitičke aktivnosti, kruh od ovog brašna bit će malog volumena, suhe i mrvljive sredine (Ugarčić-Hardi i sur., 2011).

3.2.2.4. Određivanje sedimentacije

Određivanje sedimentacijske vrijednosti provedeno je na uređaju za sedimentaciju (mućkalica) Brabender, Njemačka (**Slika 14**), prema metodi AACC 56-61.02.



Slika 14 Mućkalica

Test se zasniva na proizvodnji brašna iz prekrupe čiji sastav u velikoj mjeri ovisi o sadržaju vlage u pšenici u trenutku usitnjavanja. Ova ovisnost je manja kod mekih pšenica s nižim sadržajem proteina. Dobiveno brašno suspendira se u otopini mliječne kiseline tijekom standardnog vremenskog intervala. 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.

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 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).

3.2.2.5. Farinografsko ispitivanje svojstava brašna

Ispitivanje je provedeno na farinografu, Farinograph, Brabender, Njemačka (**Slika 15**) prema metodi AACC 54-21.02.



Slika 15 Brabenderov farinograf

Farinograf je uređaj pomoću kojeg se određuju svojstva i ponašanje tijesta pri miješanju, odnosno služi za mjerenje jačine mehaničkog otpora koje tijesto pruža u mješalici. Farinograf radi na

principu mjerenja otpora koje pruža tijesto pri miješanju u vremenu od trenutka formiranja tijesta pa do punog razvoja te tijekom daljnjeg miješanja do zaustavljanja miješalice (Đaković, 1980). Pomoću farinografa mogu se proučavati promjene fizičkog stanja tijesta ne samo u toku zamjesivanja nego i u procesu vrenja pa se mogu dobiti i podatci o enzimskim, odnosno proteolitičkim djelovanjima u tijestu. Temperatura na kojoj se radi je obično 30 °C. Odvaže se 50 ± 0,1 g brašna i stavi se u mijesilicu, mijesilica se poklopi, a bireta napuni vodom temperature 30 °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; Upute za laboratorijske vježbe, 2010).

3.2.2.6. Ekstenzograf

Za ispitivanje fizičkih svojstava tijesta, rastezljivosti i otpora pri rastezanju koristi se ekstenzograf (**Slika 16**). Primjenom sile konstantne veličine pri istoj brzini i smjeru djelovanja tijesto se deformira preko granice svoje rastezljivosti i kida se. Otpor koji tijelo pruža djelovanju sile registrira se u obliku krivulje – ekstenzograma (Jukić i Koceva Komlenić, 2015).



Slika 16 Ekstenzograf

U farinografskoj mjesilici zamijesi se tijesto od 300 g brašna. Miješanje traje 5 minuta, a sredina krivulje treba se nalaziti na 500 ± 10 FJ. Ako konzistencija ne odgovara traženoj onda se ponavlja postupak u 5 minuta. Izvažu se dva komada tijesta od po 150 g. Svaki dio se odvojeno stavlja u homogenizator, okrene dvadeset puta, izvadi iz homogenizatora, malo pospe škrobom, stavi na sredinu valjka i oblikuje. Tri pisaljke napune se crvenom, zelenom i plavom bojom. Plava pisaljka se postavlja na nultu točku linije rastezanje. Crvena linija ispisuje rastezanje zamjesa nakon 90 minuta, dok se zelenom ispisuje rastezanje 135 minuta nakon zamjesa. Ova krivulja ide preko dvije prethodne krivulje.

Iz ekstenzografske krivulje očitavaju se sljedeći podaci:

- energija – predstavlja površinu koju ograničava ekstenzografska krivulja s apscisom. Dobije se planimetriranjem i izražava se u cm^2,
- otpor tijesta – predstavlja visinu krivulje nakon 5 cm od početka registriranja otpora tijesta, izražava se u ekstenzografskim jedinicama EJ,
- maksimalni otpor tijesta predstavlja maksimalnu visinu krivulje, izražava se u EJ,
- rastezljivost je razmak od početka rastezanja do trenutka kada tijesto puca, odnosno dužina dijagrama mjerena po apscisi. Izražava se u milimetrima,
- odnos otpora rastezanja i rastezljivosti je rezultat dijeljenja brojčane vrijednosti otpora tijesta i rastezljivosti (Upute za laboratorijske vježbe, 2010).

3.2.2.7. Statistička obrada podataka

U programu Statistica 12 (StatSoft) i Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft) napravljena je statistička obrada podataka. 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 vlažnosti zamjesa i procesa ekstruzije na viskoznost uzoraka Pšenica 1 i Pšenica 2

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]
PŠENICA 1							
Sirovo brašno	568,5 ± 4,95^{f}	560,5 ± 2,12^{f}	423,5 ± 4,95^{e}	808,5 ± 6,36^{f}	804,5 ± 2,12^{f}	144,5 ± 0,71^{f}	376,0 ± 11,31^{d}
Ekstrudirano pri 25 % vlage	492,0 ± 0,00^{e}	484,0 ± 4,24^{e}	392,5 ± 0,71^{d}	775,0 ± 4,24$^{e, f}$	784,5 ± 6,36^{f}	99,5 ± 0,71^{e}	375,0 ± 5,66^{d}
Ekstrudirano pri 30 % vlage	407,0 ± 0,00^{d}	392,0 ± 9,90^{d}	340,0 ± 1,41^{c}	688,0 ± 2,83^{d}	683,5 ± 7,78^{d}	65,5 ± 2,12^{d}	338,5 ± 0,71^{c}
Ekstrudirano pri 35 % vlage	315,5 ± 16,26^{b}	243,0 ± 29,70$^{a, b}$	280,0 ± 11,31^{b}	585,5 ± 13,44^{b}	562,0 ± 15,56^{b}	34,0 ± 26,87$^{b, c}$	296,5 ± 2,12$^{a, b}$
PŠENICA 2							
Sirovo brašno	500,0 ± 12,73^{e}	329,5 ± 65,76$^{c, d}$	422,5 ± 13,44^{e}	797,0 ± 8,49^{f}	796,5 ± 9,19^{f}	77,0 ± 1,41$^{d, e}$	366,0 ± 21,21^{d}
Ekstrudirano pri 25 % vlage	417,5 ± 19,09^{d}	342,5 ± 14,85^{d}	376,0 ± 14,14^{d}	743,0 ± 35,36^{e}	747,0 ± 19,80^{e}	41,5 ± 6,36^{c}	364,5 ± 16,26$^{c, d}$
Ekstrudirano pri 30 % vlage	343,5 ± 2,12^{c}	271,5 ± 0,71$^{b, c}$	332,5 ± 2,12^{c}	647,5 ± 17,68^{c}	636,0 ± 12,73^{c}	11,5 ± 4,95$^{a, b}$	309,0 ± 15,56^{b}
Ekstrudirano pri 35 % vlage	255,5 ± 4,95^{a}	197,5 ± 26,16^{a}	251,5 ± 0,71^{a}	534,5 ± 0,71^{a}	513,0 ± 5,66^{a}	4,5 ± 4,95^{a}	276,0 ± 1,41^{a}

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

Tablica 4 Utjecaj vlažnosti zamjesa i procesa ekstruzije na viskoznost uzoraka Ječam GZ - 10 i Ječam GZ - 11

Uzorak*	viskoznost vrha [BU]	viskoznost pri 92 °C [BU]	viskoznost nakon miješanja na 92 °C [BU]	viskoznost pri 50 °C [BU]	viskoznostnakon miješanja na 50 °C [BU]	kidanje [BU]	„setback“ [BU]
JEČAM GZ-10							
Sirovo brašno	781,0 ± 7,07^{f}	770,5 ± 17,68^{f}	506,0 ± 4,24^{f}	913,5 ± 4,95^{f}	893,0 ± 5,66^{g}	273,5 ± 12,02$^{c, d}$	397,5 ± 0,71^{d}
Ekstrudirano pri 25 % vlage	658,5 ± 6,36^{c}	594,0 ± 45,25^{d}	454,0 ± 2,83^{d}	825,0 ± 16,97^{d}	816,5 ± 0,71^{d}	206,0 ± 7,07^{b}	363,5 ± 17,68^{c}
Ekstrudirano pri 30 % vlage	690,0 ± 5,66^{d}	289,0 ± 31,11^{a}	489,0 ± 1,41^{e}	842,0 ± 11,31$^{d, e}$	835,5 ± 10,61$^{e, f}$	200,5 ± 4,95^{b}	345,5 ± 12,02$^{a, b, c}$
Ekstrudirano pri 35 % vlage	534,5 ± 2,12^{a}	531,5 ± 6,36^{c}	360,0 ± 2,83^{a}	691,5± 2,12^{a}	686,5 ± 0,71^{a}	172,5 ± 2,12^{a}	321,5 ± 2,12^{a}
JEČAM GZ-11							
Sirovo brašno	766,5 ± 0,71^{e}	738,0 ± 21,21$^{e, f}$	483,0 ± 9,90^{e}	852,0 ± 7,07^{e}	850,0 ± 2,83^{f}	283,0 ± 11,31^{d}	360,0 ± 4,24^{c}
Ekstrudirano pri 25 % vlage	699,5 ± 2,12^{d}	697,0 ± 2,83^{e}	433,0 ± 2,83^{c}	790,5 ± 2,12^{c}	783,5 ± 7,78^{c}	264,5 ± 0,71^{c}	349,0 ± 0,00$^{b, c}$
Ekstrudirano pri 30 % vlage	692,0 ± 2,83^{d}	389,0 ± 5,66^{b}	479,5 ± 0,71^{e}	847,0 ± 19,80$^{d, e}$	831,5 ± 12,02$^{d, e}$	212,5 ± 3,54^{b}	360,5± 21,92^{c}
Ekstrudirano pri 35 % vlage	563,5 ± 2,12^{b}	560,0 ± 7,07$^{c, d}$	387,0 ± 2,83^{b}	728,0 ± 9,90^{b}	737,0 ± 9,90^{b}	175,0 ± 1,41^{a}	332,5± 10,61$^{a, b}$

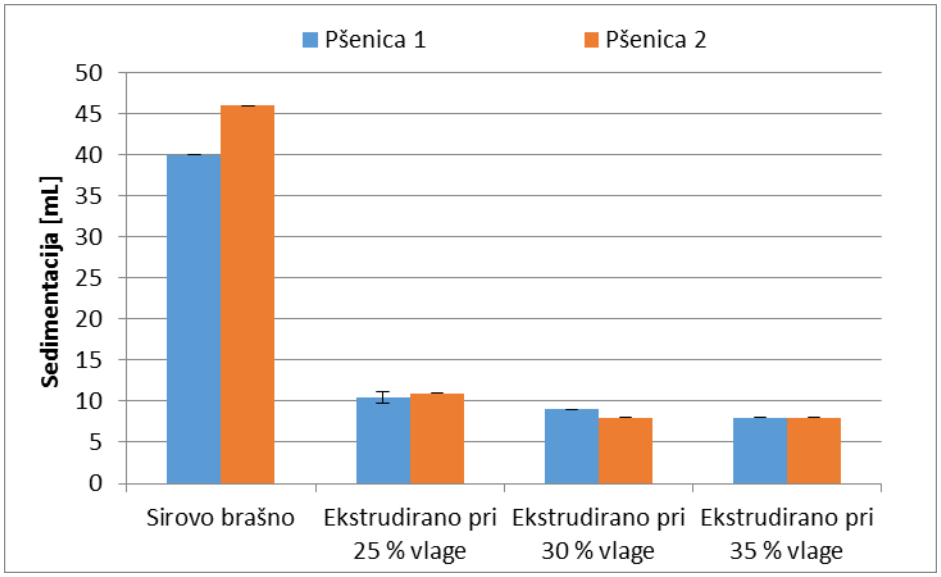
*Vrijednosti s različitim slovima u stupcima statistički se značajno razlikuju ($p<0,05$)

Tablica 5 Rezultati farinografskog ispitivanja uzoraka brašna Pšenica 1 i Pšenica 2

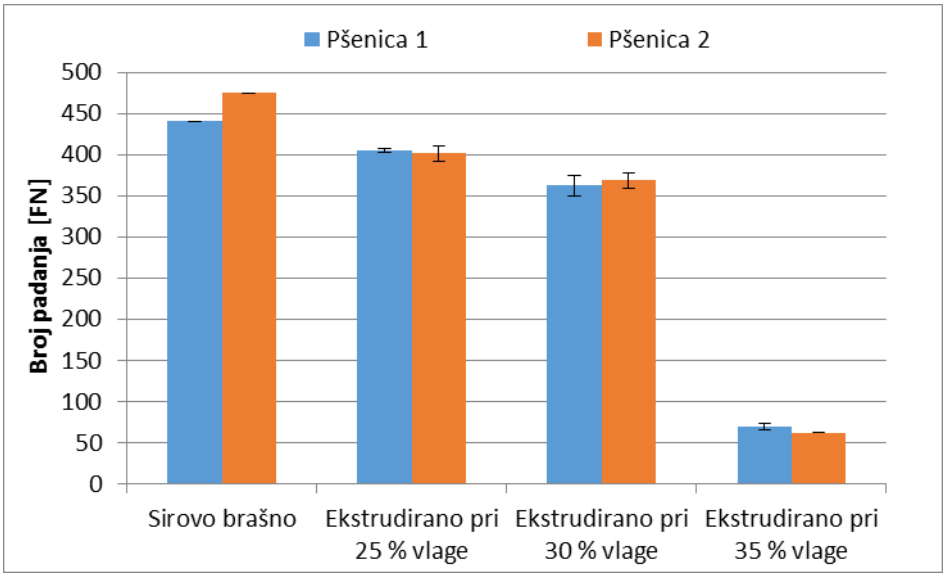
Uzorak	Upijanje vode (%)	Razvoj (min.)	Stabilnost (min.)	Otpor (min.)	Stupanj omekšanja (FJ)	Farinografski broj kvalitete (FBK)	Skupina kvalitete
PŠENICA 1							
Sirovo brašno	60,8	5,8	0,5	6,3	74	87	A2
Ekstrudirano pri 25 % vlage	77,6	6,3	8,9	15,2	0	200	A1
Ekstrudirano pri 30 % vlage	91,6	7,6	3,8	11,3	0	200	A1
Ekstrudirano pri 35 % vlage	115	6,3	7,3	13,6	87	200	A1
PŠENICA 2							
Sirovo brašno	60,4	6,7	2,1	8,8	5	168	A1
Ekstrudirano pri 25 % vlage	74,7	14,7	4,7	19,3	11	200	A1
Ekstrudirano pri 30 % vlage	93,1	10,5	0	10,5	58	109	A1
Ekstrudirano pri 35 % vlage	112,6	9,8	1,1	10,8	91	156	A1

Tablica 6 Rezultati farinografskog ispitivanja uzoraka brašna Ječam GZ - 10 i Ječam GZ -11

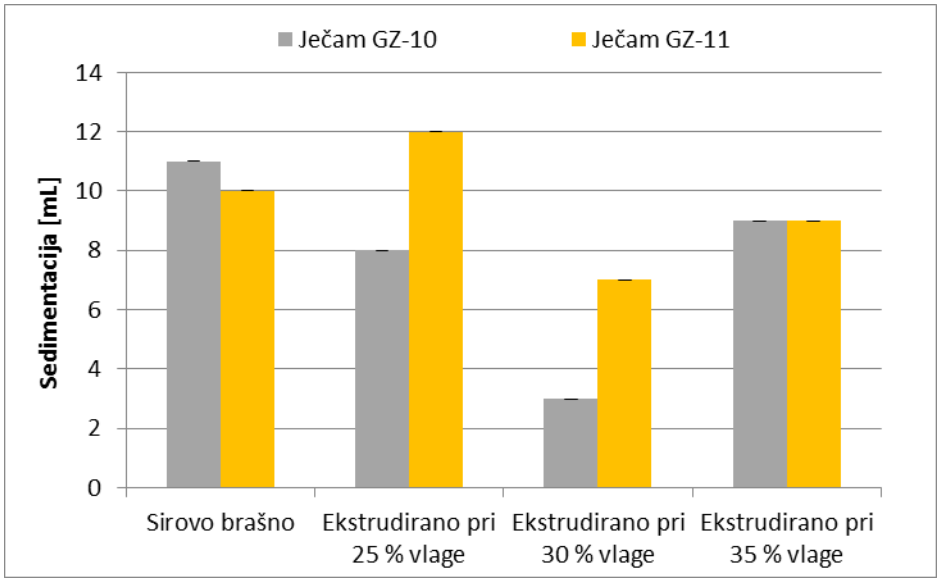
Uzorak	Upijanje vode (%)	Razvoj (min.)	Stabilnost (min.)	Otpor (min.)	Stupanj omekšanja (FJ)	Farinografski broj kvalitete (FBK)	Skupina kvalitete
JEČAM GZ-10							
Sirovo brašno	59,1	1,2	0,4	1,6	110	21	C1
Ekstrudirano pri 25 % vlage	87	15,7	0	15,7	84	157	A1
Ekstrudirano pri 30 % vlage	89,2	9,1	0,1	9,2	57	93	A2
Ekstrudirano pri 35 % vlage	102,1	10,9	0,4	11,3	52	130	A1
JEČAM GZ-11							
Sirovo brašno	61	1,1	0,4	1,5	105	24	B2
Ekstrudirano pri 25 % vlage	88,4	5,7	1,5	7,2	37	107	A2
Ekstrudirano pri 30 % vlage	82,5	20	0	20	0	200	A1
Ekstrudirano pri 35 % vlage	103	18,6	1,3	20	115	200	A1



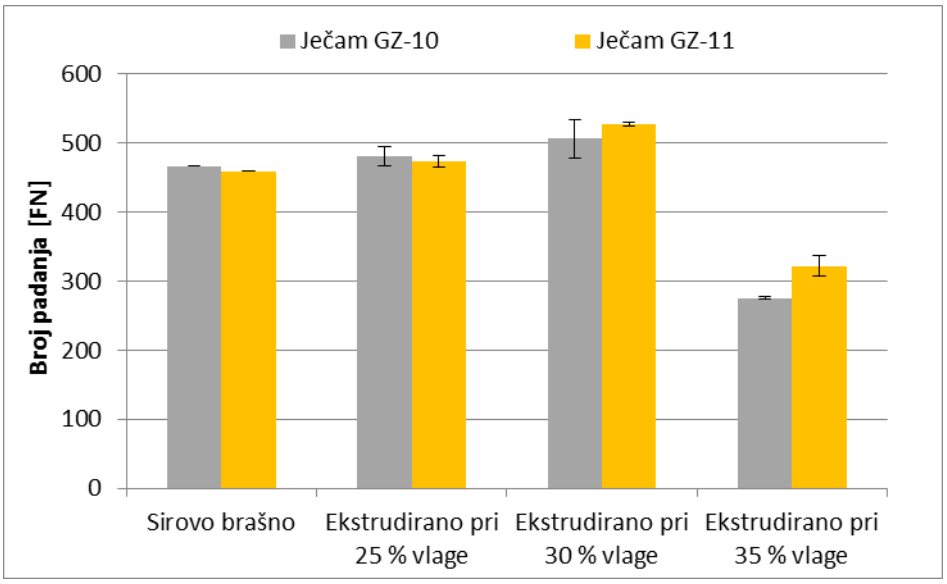
Slika 17 Rezultati određivanja sedimentacije brašna Pšenice 1 i Pšenice 2



Slika 18 Rezultati određivanja broja padanja brašna Pšenice 1 i Pšence 2



Slika 19 Rezultati određivanja sedimentacije brašna Ječma GZ – 10 i Ječma GZ – 11



Slika 20 Rezultati određivanja broja padanja brašna Ječma GZ – 10 i Ječma GZ – 11

5. RASPRAVA

Zadatak ovoga rada bio je utvrditi utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva ekstrudiranih brašna pšenice i ječma.

U **Tablicama 3** i **4** mjerena je viskoznost neekstrudirnih i ekstrudiranih brašna pšenice i ječma pomoću Brabenderog viskoamilografa. Dobiveni rezultati pokazuju da djelovanjem ekstruzije dolazi do sniženja viskoznosti vrha (maksimalna viskoznost nakon želatinizacije škroba). Do istog zaključka su došli i brojni drugi autori (Jozinović i sur., 2012a; Jozinović, 2015; Gupta i sur., 2008; Hegenimana i sur., 2006). Osim toga, ovim istraživanjem utvrđeno je kako dolazi do smanjenja viskoznosti vrha povećanjem vlažnosti zamjesa, pa se tako viskoznost sirovog uzorka Pšenice 1 sa 568,5 ± 4,95 BU, smanjila na 315,5 ± 16,26 BU kod ekstrudiranog uzorka pri vlažnosti 35 %. Povećanjem vlažnosti zamjesa za 5 % viskoznost se smanjivala za otprilike 100 BU, kod svih uzoraka brašna pšenice i ječma. Ačkar i sur. (2014) su u svom radu kod ekstruzije pšenične krupice na 15 % i 20 % vlage i temperaturnom profilu 135/170/170 °C zaključili kako ekstruzija uzrokuje porast viskoznosti vrha pšenične krupice s izraženijim utjecajem kod primjene niže vlažnosti.

Viskoznost uzoraka se smanjila zagrijavanjem na temperaturu od 92 °C, a na toj temperaturi sa zadržavanjem od 5 minuta uz miješanje se nastavilo smanjenje viskoznosti. Rezultat toga su više vrijednosti kidanja (kidanje = viskoznost vrha – viskoznost na 92 °C / 5 minuta), što je pokazatelj njihove nestabilnosti na visokim temperaturama.

Hlađenjem na 50 °C došlo je 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 °C neznatno smanjila i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka. Razlog tomu je preželatinizacija škroba tijekom ekstruzije (Gupta i sur., 2008) i oštećenje škroba tijekom ekstruzije (Ačkar i sur., 2014).

Sklonost retrogradaciji škroba očituje se iz vrijednosti „setback“ (setback = viskoznost na 50 °C – viskoznost na 92 °C / 5 minuta). Najviše vrijednosti „setback“ imaju uzorci neekstrudiranog pšeničnog brašna, koji su znatno skloniji retrogradaciji za razliku od ječmenog brašna. Ekstruzija uzrokuje oštećenje granula škroba te stoga gelovi ekstrudiranih proizvoda imaju manju viskoznost u odnosu na neekstrudirane uzorke (Dokić i sur., 2009; Chiang i sur., 1977).

Iz **tablica 5 i 6** može se zaključiti da su kod ispitivanih neekstrudiranih uzoraka pšenice vrijednosti upijanja vode, razvoja, stabilnosti, otpora i farinografskog broja kvalitete bili veći u odnosu na neekstrudirane uzorke ječma, dok je stupanj omekšanja bio veći kod neekstrudiranih uzoraka ječma.

Kod sirovih uzoraka pšenice razvoj tijesta je značajno duži u odnosu na sirove uzorke ječma, zbog višeg sadržaja i kvalitete glutena. Najduži razvoj ima Pšenica 2 (6,7 min), a najkraći razvoj ima Ječam GZ – 11 (1,1 min).

Bez obzira na primijenjenu vlažnost ekstrudirani uzorci spadaju u viši stupanj kvalitetne grupe u odnosu na sirove uzorke. U najbolji uzorak spada Pšenica 2 zbog dužeg razvoja i stabilnosti koji može biti primjenjivan u prehrambenoj industiji za proizvodnju kruhova i peciva. Za ostale uzorke može se reći da su slabije kvalitete i ne mogu se samostalno koristiti.

Rezultati određivanja broja padanja kod pšenice i ječma prikazani su na **Slici 18** i **20**. Najviši broj padanja 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 je kod ekstrudiranih brašna s 35 % vlage. Slični rezultati su dobiveni i kod ječma za neekstrudirana brašna, dok je kod ekstrudiranih došlo do porasta broja padanja nakon ekstruzije pri vlažnosti zamjesa 25 % i 30 %, dok je kod vlažnosti brašna od 35 % došlo do naglog smanjenja broja padanja u odnosu na druge uzorke.

Kod uzoraka ekstrudiranog brašna pšenice s 35 % vlage, broj padanja se snižava na vrijednost ispod 150 s primjenom ekstruzije, što je granica za visoku aktivnost α-amilaze.

Kako bi se brašna koja nisu pogodna za tradicionalnu pekarsku proizvodnju mogla primjenjivati u proizvodnji grickalica, keksa i sl., Kent i Evers (1994) navode da primjenom ekstruzije dolazi do povećanje aktivnosti α-amilaze što bi kao i sam rezultat bio poboljšanje proizvodnje.

Na **Slici 17** i **19** prikazani su rezultati određivanja sedimentacije kod pšenice i ječma. S obzirom na to da se ova metoda temelji na sposobnosti bubrenja bjelančevina glutena pod utjecajem mliječne kiseline, sedimentacijska vrijednost ovisi o količini i kakvoći bjelančevina pšenice, što znači da viši sadržaj glutena dovodi do sporije sedimentacije i viših vrijednosti testa. Zbog malog

sadržaja proteina u svom sastavu sva brašna imaju dosta nisku sedimentacijsku vrijednost, odnosno lijepak je slab (Jukić i Koceva Komlenić, 2015). Najveću sedimentaciju (46 mL) imalo je neekstrudirano pšenično brašno uzorka Pšenice 2, 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. S obzirom na to da sadržaj glutena i sedimentacijska vrijednost imaju pozitivnu koleraciju, može se zaključiti kako se procesom ekstruzije narušava gluten (denaturacija proteina), koji je važna stavka za proizvodnju kruha i peciva (Arĕas, 1992).

6. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata istraživanja i provedene rasprave u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Ekstruzija ima značajan utjecaj na reološka svojstva pšenice i ječma, pri čemu je došlo do smanjenja vrijednosti *viskoznosti vrha* nakon provedenog procesa ekstruzije. Nadalje, bez obzira na ispitivani uzorak pšenice i ječma ekstrudirani uzorci bili su manje skloni retrogradaciji.
- Vlažnost uzoraka imala je značajan utjecaj na reološka svojstva, osobito na viskoznost, gdje je kod ekstrudiranih uzoraka pri višoj vlažnosti došlo do značajnijeg pada viskoznosti u odnosu na neekstrudirane uzorke.
- Farinografskim ispitivanjem utvrđeno je da postupak ekstruzije uzrokuje povećanje upijanja vode bez obzira na ispitivani uzorak pšenice ili ječma, dok kod otpora i razvoja dolazi do malih oscilacija kod vlažnosti od 30 %.
- Kod sirovih uzoraka pšenice farinografski broj kvalitete bio je veći u odnosu na ječam. Bez obzira na promjenu vlažnosti ekstrudirani uzorci spadali su u viši stupanj kvalitetne grupe u odnosu na sirove uzorke.
- Vrijednost broja padanja smanjila se kod ekstrudiranih uzoraka pšenice u usporedbi s neekstrudiranim uzorcima, što je bio slučaj i kod ekstrudiranih uzoraka ječma ekstrudiranim pri 35 % vlage.
- Sedimentacijske vrijednosti ekstrudiranih uzoraka pšenice bile su značajno niže u odnosu na neekstrudirane uzorke, dok je kod ječma ekstrudiranog pri 25 % vlažnosti došlo do povećanja sedimentacijske vrijednosti.

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 [20.9.1017.]

AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, AACC Method 56-81.B. *Determination of Falling Number.* http://methods.aaccnet.org/sumaries/56-81- 03.aspx [20.9.1017.]

AACC International Approved Methods Physicochemical Tests, AACC Method 56-61.02. *Sedimentation Test for Wheat*. http://methods.aaccnet.org/summaries/56-61- 02.aspx [20.9.1017.]

Ačkar Đ: Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2010.

Ačkar Đ, Jozinović A, Šubarić D, Babić J, Jokić S , Vračević R: Utjecaj vlažnosti pšenične krupice na svojstva ekstrudata. *Glasnik zaštite bilja,* 4, 2014.

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.

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

Brnčić M, Karlović S, Bosiljkov T, Tripalo B, Ježek D, Cugelj I, Obradović V: Obogaćivanje ekstrudiranih proizvoda proteinima sirutke. *Mljekarstvo*, 58 (3) 275-295, 2008.

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

Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. *In Extruders in Food Applications.* CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.

Cheftel JC: Extrusion cooking: Operation Principles, Research Trends and Food Applications. U *Processing and Quality of Foods* (Zeuten P, ur.). Elsevier, London and New York, 1990.

Chiang BY, Johnson JA: Gelatinization of starch in extruded *products*. Cereal Chemistry, 54:436-443, 1977.

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

Đaković Lj: *Pšenično brašno.* Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1980

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.

Herceg Z: *Procesi u prehrambenoj industriji*, Prehrambeno-procesno inženjerstvo 1. Plejada, Zagreb, 2011.

Jozinović A, Šubarić D, Ačkar Đ, Babić J, Klarić I: Influence of buckwheat and chestnut flour addition on properties of corn extrudates. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 4(1):26-33, 2012a.

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

Jozinović A: Utjecaj ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s heljdinim i kestenovim brašnom. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2011.

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

Jukić M, Ugarčić Hardi Ž, Koceva Komlenić D, Gorički Z, Kuleš A: Utjecaj različitih vrsta žitarica i količine dodane vode u procesu ekstruzije na strukturu žitarica za doručak. *Croatian Journal of Food Science & Technology*, 2:1-10, 2010.

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

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

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

Kovačević V, Mirta R: *Ekološko ratarstvo i hortikultura*, Osijek, 2011.

Kumlehn J, Stein N: *Biotechnological Approaches to Barley Inprovement*. Leibniz Institute of Plan Genetics and crop plant research (IPK), Gatersleben, Germany, 2014.

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

Marić V: *Biotehnologija i sirovine.* Stručna i poslovna knjiga, Zagreb, 2000.

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

Novaković A: *Amiloza i Amilopektin*, Novi Sad, 2008.

Pomeranz Y: Wheat: *Chemistry and Technolog, Volume II. American Association of Cereal Chemists*, Inc., St. Paul, Minesota, USA, 2000.

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.

Rokey GJ: *Single-Screw Extruders. U Extruders in Food Applications (Riaz MN, ur.).* Technomic Publishing Co.: Lancaster,2000.

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

Šimić G: Utjecaj genotipa i okolišnih uvjeta na parametre sladarske kakvoće ozimog ječma (*Hordeum vulgare L.). Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2009.

Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: *Materijali s predavanja na kolegiju: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda.* Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2011.

Ugarčić-Hardi Ž: Tehnologija proizvodnje i prerade brašna, Opći dio i skladištenje žitarica, Interna skripta. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 1999.

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.