

Utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza

Romić, Mirjana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:109:787952>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

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

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Mirjana Romić

**UTJECAJ VLAŽNOSTI ZAMJESA NA SVOJSTVA EKSTRUDIRANIH
BRAŠNA RAZLIČITIH SORTI KUKURUZA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2019.

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 2018./2019. održanoj 30. svibnja 2019.**Mentor:** doc. dr. sc. Antun Jozinović**Utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza***Mirjana Romić, 0113138460*

Sažetak: Jedinstvenost i praktičnost ekstruzijskog kuhanja pridonijele su popularnosti ovog procesa na tržištu. Proces ekstruzije omogućuje obradu različitih vrsta sirovina i dobivanje gotovih proizvoda u kratkom vremenskom periodu. U postupku ekstruzije najčešće se koriste sirovine bogate škrobom i proteinima, a jedna od najpopularnijih je kukuruzna krupica. Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti utjecaj vlažnosti zamjesa na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza dobivenih od Poljoprivrednog instituta Osijek. Korištene su vlažnosti od 30 i 35 %. Postupak ekstruzije bio je proveden na laboratorijskom jednopužnom ekstruderu te su ispitivani sljedeći parametri: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, indeks apsorpcije vode (WAI), indeks topljivosti u vodi (WSI) i reološka svojstva Brabenderovim Mikro-visko-amilografom. Rezultati su uspoređeni s rezultatima za neekstrudirana brašna kukuruza.

Dobiveni rezultati pokazali su da povećanje vlažnosti nije značajno utjecalo na porast eksponencijalnog omjera (EO) i nasipnu masu ekstrudata (BD). Proces ekstruzije i povećanje vlažnosti značajno je utjecalo na povišenje indeksa apsorpcije vode (WAI) i indeksa topljivosti ekstrudata u vodi (WSI). U usporedbi s neekstrudiranim uzorcima ekstrudirani uzorci su postigli tamniju i intenzivniju boju, te su svrstani u domenu crvene i žute boje. Procesom ekstruzije također je smanjena viskoznost vrha gotovo svih uzoraka te je potvrđena dobra stabilnost prilikom miješanja na visokim temperaturama, a najveću sklonost retrogradaciji pokazali su neekstrudirani uzorci.

Ključne riječi: ekstruzija, kukuruzna krupica, vlažnost**Rad sadrži:** 35 stranica
14 slike
2 tablice
0 priloga
18 literaturne reference**Jezik izvornika:** Hrvatski**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

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

Datum obrane: 12. rujna 2019.

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 technology
Subdepartment of Technology of Carbohydrates
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program: Food engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Technology of confectionery and related product

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VIII in 2018/2019 held on 30, May 10, 2019.

Mentor: Antun Jozinović, PhD, assistant prof.

Effect of the Moisture Content on the Properties of Extruded Flours of Different Corn Varieties

Mirjana Romić, 0113138460

Summary: Extrusion cooking is one of the most popular process in the market due to its uniqueness and convenience. The extrusion process enables processing of different types of raw materials and obtaining finished products in a short period of time. Raw materials rich in starch and protein are most commonly used in the extrusion process, and corn grits is one of the most popular. The aim of this thesis was to determine the influence of the moisture content on the properties of extruded flours of different corn obtained from the Agricultural Institute of Osijek. Moisture content of 30% and 35% were used. The extrusion process was performed on a laboratory single screw extruder and the following parameters were tested: expansion ratio, bulk density, color, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), and rheological properties using a Brabender Micro-visco-amylograph. The results were compared with those for non-extruded corn grits. The obtained results showed that the increase in moisture did not significantly influence the increase of the expansion ratio (EO) and the bulk density of the extrudate (BD). The extrusion process and the increase in moisture content significantly influenced the increase in the water absorption index (WAI) and the extrudate solubility index in water (WSI). Compared to non-extruded samples, extruded samples achieved a darker and more intense color and were classified as red and yellow. The extrusion process also reduced the peak viscosity of almost all the samples and confirmed good stability when mixed at high temperatures, with the highest tendency for retrogradation of the non-extruded samples.

Key words: extrusion, corn grits, moisture content

Thesis contains: 35 pages
14 figures
2 tables
0 supplements
18 references

Original in: Croatian

Defense committee:

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

Defense date: September 12, 2019

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

Od srca hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje i uz brata u svakom trenutku bili najveći oslonac i podrška. Veliko hvala i mom dečku koji je uvijek vjerovao u mene i u svakom trenutku bio najveći motivator. Nadalje, hvala mojim prijateljicama i prijateljima koji su uvijek bili spremni za suradnju i međusobnu pomoć, a najviše im hvala za nezaboravne uspomene koje su mi studiranje učinile najljepšim periodom u životu. Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Antunu Jozinoviću i tehničarki Danieli Paulik na nesebičnoj pomoći, savjetima i dostupnosti prilikom izrade ovog rada.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. Teorijski dio	3
2.1. EKSTRUZIJA	4
Definicija ekstruzije	5
Ekstruder	6
Podjela ekstrudera	7
Jednopusni ekstruderi	8
Dvopusni ekstruderi	9
2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA.....	11
Kukuruz.....	11
3. Eksperimentalni dio.....	13
3.1. ZADATAK	14
3.2. MATERIJALI I METODE	14
Materijali	14
Priprema uzoraka i provedba ekstruzije	14
4. REZULTATI	21
Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) i nasipna masa ekstrudeta (BD)	22
Određivanje boje kromametrom	23
Određivanje indeksa apsorpcije vode i indeksa topljivosti u vodi (WAI i WSI).....	24
Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom	25
5. RASPRAVA	26
6. ZAKLJUČCI.....	31
7. LITERATURA.....	33

1. UVOD

Praktična i jedinstvena svojstva ekstruzijskog kuhanja čine ovaj proces proizvodnje i prerade hrane sve popularnijim na tržištu. Osim u prehrambenoj industriji ekstruzija se primjenjuje u farmaceutskoj industriji, proizvodnji plastičnih materijala, bešavnih metalnih cijevi itd.

U prehrambenoj industriji ekstruzija ili ekstruzijsko kuhanje (engl. *extrusion cooking*) termički je i mehanički proces u kojemu se, prolaskom između jednog ili dva rotirajuća puža i kućišta ili pomoću klipa, materijal prisiljava na gibanje te prolaskom kroz sapnicu poprima specifični oblik (Lovrić, 2003).

Mali gubitci tijekom procesa proizvodnje, dobivanje različitih vrsta proizvoda u kratkom vremenu, visoka kvaliteta konačnih proizvoda samo su neke od prednosti ekstruzijskog kuhanja.

Najčešće se ekstruzija primjenjuje za proizvodnju različitih vrsta grickalica, RTE (engl. *ready to eat*) hrane na bazi žitarica i tjestenine, a sirovine koje se koriste za proizvodnju istih su uglavnom na bazi kukuruza, pšenice, riže, krumpira ili soje jer su bogate škrobom i proteinima. Osim za proizvodnju gotovih proizvoda ekstruzija se koristi i za modificiranje svojstava različitih vrsta brašna koja se primjenjuju u keksarstvu i pekarskoj industriji. Istodobnim djelovanjem visoke temperature, visokog tlaka i smicanja dolazi do promjena u strukturi i probavljivosti proteina i škroba kako u gotovim ekstrudiranim proizvodima tako i u sirovinama.

Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti utjecaj vlažnosti zamjesa (30 – 35 %) na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza dobivenih od Poljoprivrednog instituta Osijek.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Popularnost ekstruzijskog kuhanja posljednjih godina izuzetno je porasla. Zbog svoje svestranosti i učinkovitosti ekstruzija može zamijeniti mnoge konvencionalne procese u proizvodnji i preradi hrane. U usporedbi s drugim toplinskim procesima tijekom ekstruzijskog kuhanja materijal je podvrgnut intenzivnom mehaničkom smicanju, plastifikaciji te konačnom oblikovanju po prolasku kroz sapnicu te je samim time ekstruzija jedinstven proces (Lazou i Krokida, 2010).

Također, ekstruzijsko se kuhanje, osim u prehrambenoj industriji, primjenjuje u proizvodnji plastičnih materijala, bešavnih metalnih cijevi, farmaceutske industriji i u proizvodnji hrane za životinje.

Najpoznatiji proizvodi dobiveni ekstruzijom su:

- ekstrudirane grickalice, pahuljice od žitarica RTE (engl. *ready to eat*), različite namirnice proizvedene od žitarica koje se razlikuju po boji, obliku i okusu,
- tjestenina,
- dječja hrana, instant koncentрати, funkcionalne komponente, prethodno kuhana brašna,
- slatkiši, žvakaće gume,
- proizvodi za kemijsku, farmaceutsku, papirnu i pivarsku industriju,
- proizvodi od plastike,
- emulzije, paste,
- hrana za kućne ljubimce i dr. (Moscicki, 2011).

Prednosti korištenja ekstruzije:

- Visoka kvaliteta proizvoda – primjenom visoke temperature u kratkom vremenu (HTST – engl. *High Temperature Short Time*) spriječena je razgradnja visokovrijednih nutrijenata, denaturacija proteina te nepoželjni učinci enzima i mikroorganizama;
- Različite karakteristike proizvoda – mogućnost dobivanja proizvoda različitih oblika, boja i tekstura koje nije lako dobiti primjenom drugih proizvodnih metoda;

- Niska cijena – u usporedbi s drugim tehnologijama kuhanja i oblikovanja, ekstruzija ima niske troškove proizvodnje te zahtijeva manje prostora po jedinici rada;
- Novi proizvodi – ekstrudiranjem se mogu proizvesti novi i jedinstveni prehrambeni proizvodi modifikacijom životinjskih i biljnih proteina, škroba i drugih prehrambenih materijala;
- Energetski učinak – potrebno je značajno kraće dosušivanje proizvoda jer ekstruderi rade s relativno niskom vlagom tijekom kuhanja prehrambenih proizvoda;
- Kontinuirani reaktor – ekstruder se u nekoliko zemalja koristi kao kontinuirani reaktor i na taj način uništava toksične spojeve u brašnu i uljaricama te deaktivira aflatoksin u proizvodima od kikirikija;
- Automatizirana kontrola i visoka produktivnost - ekstruder može biti u potpunosti automatiziran te osigurava kontinuiranu obradu visokog protoka;
- Vrlo malo gubitaka – ekstruzijom nastaju vrlo mali ili nikakvi gubitci;
- Lako poboljšanje procesa – kako bi se poboljšala proizvodnja ekstruderom mogu se koristiti podaci dobiveni na pilot postrojenjima (Riaz, 2000).

Definicija ekstruzije

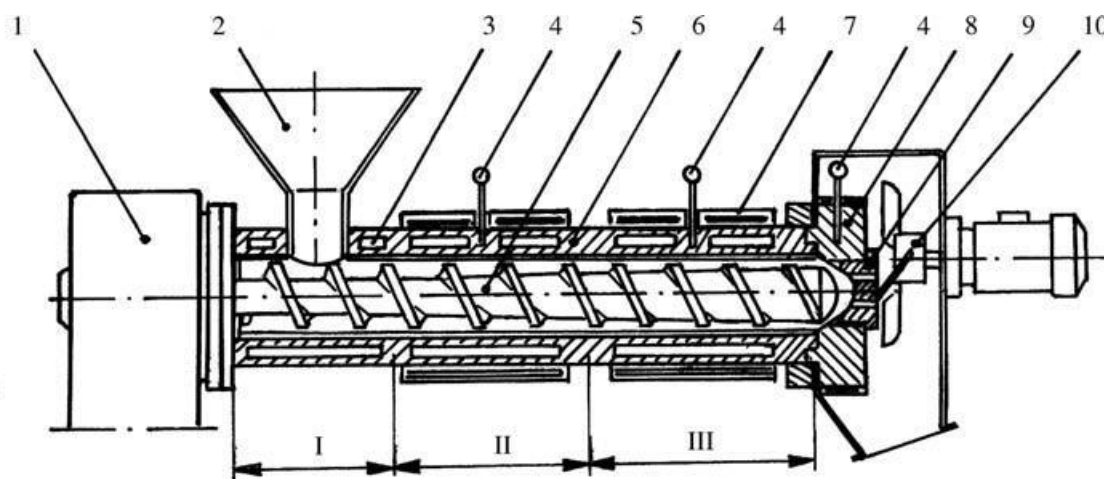
U prehrambenoj industriji ekstruzija ili ekstruzijsko kuhanje (engl. *extrusion cooking*) termički je i mehanički proces u kojemu se, prolaskom između jednog ili dva rotirajuća puža i kućišta ili pomoću klipa, materijal prisiljava na gibanje te prolaskom kroz sapnicu poprima specifični oblik (Lovrić, 2003).

Suvremeni se ekstruderi mogu smatrati kao HTST uređaji u kojima se različite sirovine mogu pretvoriti u modificirane sastojke hrane ili gotove proizvode. Osim oblikovanja i miješanja proizvoda imaju uvedene nove jedinične procese i operacije kao što su teksturiranje i kuhanje te njihovo povezivanje u jedinstveni kontinuirani proces (Lovrić, 2003).

U ekstruderu se odvija aglomeracija, denaturacija proteina, homogenizacija, uklanjanje plinova, želatinizacija, dehidratacija, pasterizacija ili sterilizacija, oblikovanje, promjena teksture proizvoda, termička obrada i usitnjavanje (Riaz, 2000).

Ekstruder

Kapacitet od mogućih 10 T/h, niska vlažnost (10 – 30 %), tlak koji ovisi o karakteristikama puža, a može iznositi 100 – 200 bara, kratko vrijeme obrade materijala (10 – 200 sekundi za 0,2 – 3 metra dužine kućišta), visoka temperatura (150 – 220 °C) te velika brzina smicanja jesu osnovne značajke suvremenih ekstrudera (Lovrić, 2003).



Slika 1 Presjek jednopužnog ekstrudera: 1-mehanizam za pokretanje, 2-lijevak za punjenje sirovine, 3-rashladni plašt, 4-termopar, 5-pužnica, 6-kućište, 7-grijaći plašt, 8-glava, 9-sapnica, 10-rezalica (Moscicki, 2011)

Na Slici 1 prikazan je poprečni presjek jednopužnog ekstrudera koji se koristi u prehrambenoj industriji te su istaknute tri zone:

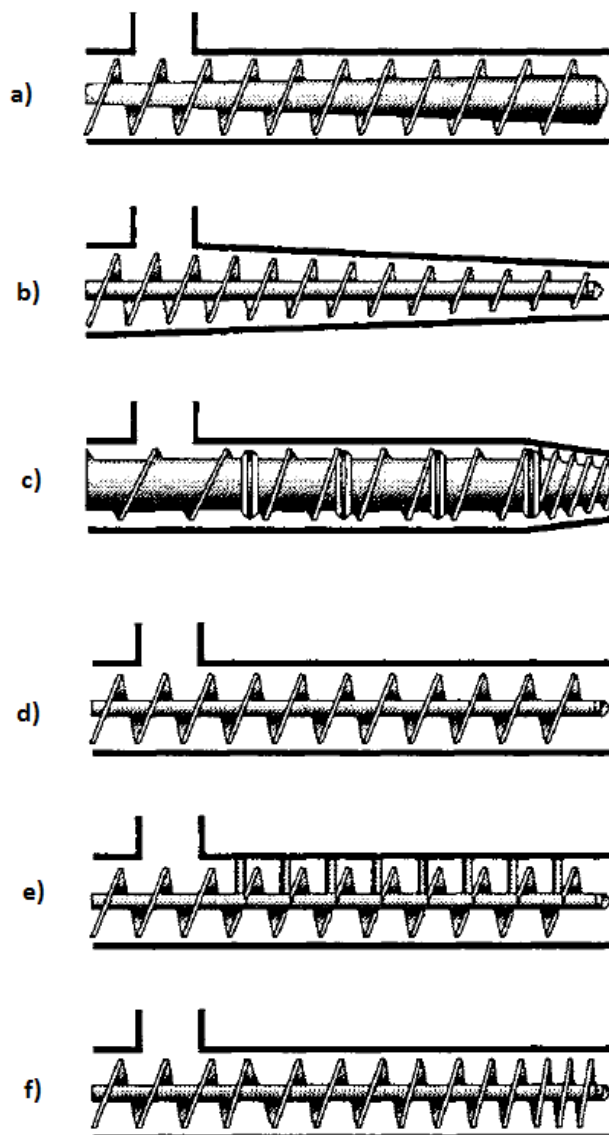
- I zona punjenja – prihvaćanje materijala i prijenos u drugu zonu (zona kompresije) pomoću puža. Određivanjem broja okretaja puža omogućeno točno doziranje sirovine;
- II zona kompresije (prijelaza) – pretvaranjem mehaničke energije u toplinsku raste temperatura zbog čega dolazi do kuhanja, sterilizacije i želatinizacije materijala te se samim time materijal, koji je u ekstruder uveden u praškastom ili granuliranom obliku, plastificira;
- III zona istiskivanja – zaprimanje, homogenizacija i istiskivanje materijala kroz sapnicu pod konstantnim tlakom (Jozinović, 2015).

Podjela ekstrudera

Postoji puno načina na koji se ekstruderi u prehrambenoj industriji mogu klasificirati, a neki od njih su:

1. Prema termodinamičkim uvjetima rada:
 - a) autogeni ekstruderi – toplina nastaje trenjem između uređaja i čestica materijala koje se kreću velikom brzinom, toplina se ne dovodi niti se odvodi;
 - b) izotermni ekstruderi – temperatura se zadržava odvođenjem topline odnosno hlađenjem;
 - c) politropski ekstruderi – najčešće korišten tip ekstrudera, kombinacija izotermnih i adijabatskih uvjeta (Lovrić, 2003).
2. Prema količini nastale mehaničke energije:
 - a) ekstruderi niskog tlaka koji proizvode ograničenu količinu smicanja;
 - b) ekstruderi visokog tlaka koji proizvode velike količine mehaničke energije i imaju visoko smicanje (Moscicki, 2011).
3. Prema načinu stvaranja tlaka:
 - a) ekstruderi direktnog tipa (pozitivni tlak):
 1. klipni ekstruderi – ekstruderi najjednostavnije građe; sastoje se od kućišta i klipa koji potiskuje materijal kroz njega prilikom čega dolazi do smicanja te se gotovom materijalu ne mijenjaju svojstva; klipni ekstruder se najčešće primjenjuje za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženog kukuruznog čipsa te za nadijevanja kobasica;
 2. vijčani (pužni) ekstruderi - značajno miješanje materijala i oslobađanje temperature izazvano viskoznom gibanjem materijala između puža odnosno puževa i kućišta; s obzirom na konstrukciju mogu se podijeliti na jednopužne i dvopužne ekstrudere;
 - b) Ekstruderi indirektnog tipa (viskozno-vlačni tok) – u ovim se ekstruderima materijal ponaša poput ne-Newtonske tekućine. Samim time bitno se mijenjaju svojstva materijala te gotovi proizvod ima nova svojstva; u konditorskoj industriji najčešće se primjenjuju ekstruderi indirektnog tipa (Jozinović, 2015).

Jednopusni ekstruderi



Slika 2 Konfiguracije pužnice i kućišta jednopusnog ekstrudera (Riaz, 2000)

Na Slici 2 prikazani su tipovi jednopusnih ekstrudera s obzirom na izvedbu kućišta i pužnice:

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

Geometrijska konfiguracija ključnih elemenata ekstrudera uvelike utječe na karakteristike uređaja (Lovrić, 2003).

Građa jednopužnih ekstrudera je relativno jednostavna. Uloga puža (vijka) je taljenje, plastificiranje, komprimiranje, transport materijala te tlačenje kroz sapnicu na kraju uređaja. Kako bi se nesmetano gibao kroz kućište ekstrudera materijal mora imati pravilan protok i ne smije se lijepiti za površine elemenata uređaja. To se sprječava trenjem koje nastaje dodiranjem materijala s pužnicom i kućištem te je sve to dodatno olakšano uzdužnim ili spiralnim utorima (žljebovima) na kućištu. Uloga utora je usmjeriti protok materijala te povećanje otpora prijanjanja (Moscicki, 2011).

Jednopužni ekstruderi se najčešće koriste za jednostavne materijale, kao što su rižina ili kukuruzna krupica, jer one imaju visoki koeficijent trenja te se mogu ekstrudirati pod tlakom od oko 15 – 20 MPa (Moscicki, 2011).

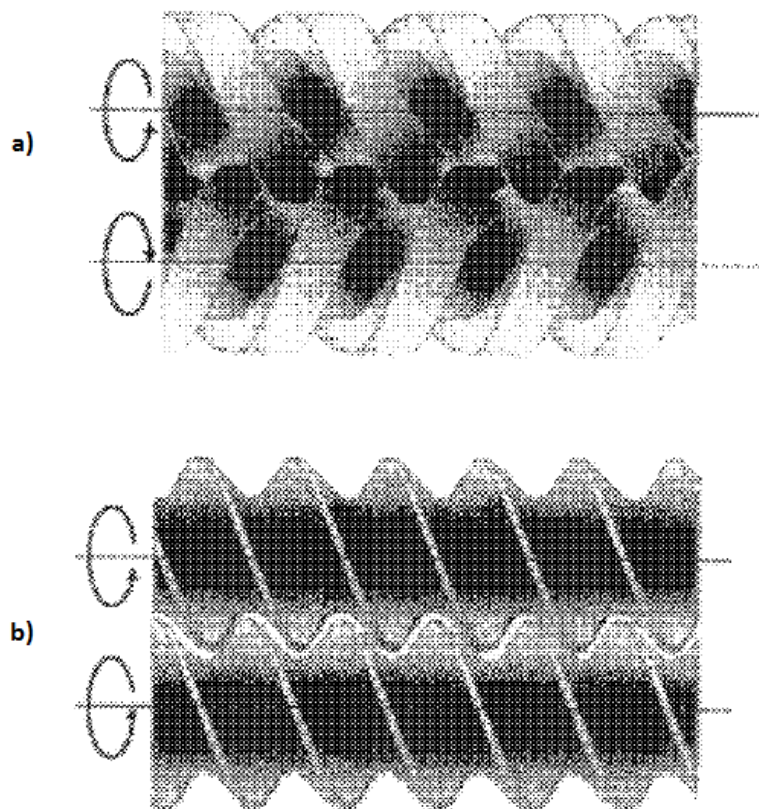
S jedne strane jednopužni ekstruderi, ovisno o dubini žljebova, usponu puža, dužini pužnice i prividnoj viskoznosti materijala, lako postižu visoke tlakove (Lovrić, 2003). No s druge strane, glavni nedostatak jednopužnih ekstrudera je slabo miješanje materijala te je zbog toga potrebno promiješati materijal prije punjenja ekstrudera. Osim toga, jednopužni ekstruderi imaju ograničenu učinkovitost kada se koriste višekomponentne sirovine (Moscicki, 2011).

Dvopužni ekstruderi

Dvopužni i jednopužni ekstruderi se razlikuju u mehanizmu transporta. Kod dvopužnih ekstrudera sa uzajamno zahvaćenim puževima se materijal ne može okretati s pužnicom te zbog toga, za razliku od jednopužnih ekstrudera, trenje nema poseban značaj (Lovrić, 2003).

Zbog svoje sposobnosti obrade širokog raspona materijala, uključujući viskozne i tvrde materijale, manje potrošnje energije i dobivanja raznovrsnih konačnih proizvoda, dvopužni ekstruderi su dosegili veliku popularnost.

Za razliku od jednopužnog, dvopužni ekstruderi vrlo dobro miješaju materijal te mogu postići i do 700 okretaja u minuti te samim time ove ekstrudere karakterizira dobra učinkovitost transporta materijala (Moscicki, 2011). Nedostatak ovih ekstrudera je znatno veća cijena u odnosu na jednopužne (60 – 100 %) te složenija instalacija i puštanje u rad (Jozinović, 2015).



Slika 3 Dvopužni ekstruderi sa istaknutim smjerom kretanja pužnica (Riaz, 2000)

Na Slici 3 su prikazani su položaji pužnica i njihov smjer kretanja:

- a) Suprotni smjer kretanja pužnica – ovaj tip ekstrudera karakterizira odličan transport materijala i uspješno procesiranje neviskozni materijala koji ne zahtijevaju veliki broj okretaja pužnica te se zbog toga najčešće koristi za proizvodnju gumenih i žele bombona;
- b) Isti smjer kretanja pužnica – visoka učinkovitost potiskivanja materijala, visoki stupanj prijenosa topline te ujednačena kvaliteta proizvoda čine ovaj ekstruder popularnim u prehrambenoj industriji, najviše u proizvodnji snack proizvoda (Riaz, 2000).

Važno je naglasiti da se navoji pužnica mogu djelomice ili u potpunosti zahvaćati ili uopće ne zahvaćati, a podjela je sljedeća:

- a) suprotno rotirajuće zahvaćene pužnice,
- b) suprotno rotirajuće nezahvaćene pužnice,
- c) istosmjerne zahvaćene pužnice,
- d) istosmjerne nezahvaćene pužnice (Bouvier i Campanella, 2014).

2.2. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

U postupku ekstruzije najčešće se koriste sirovine bogate škrobom i proteinima, a to su najčešće proizvodi dobiveni od kukuruza, riže, pšenice te krumpira.

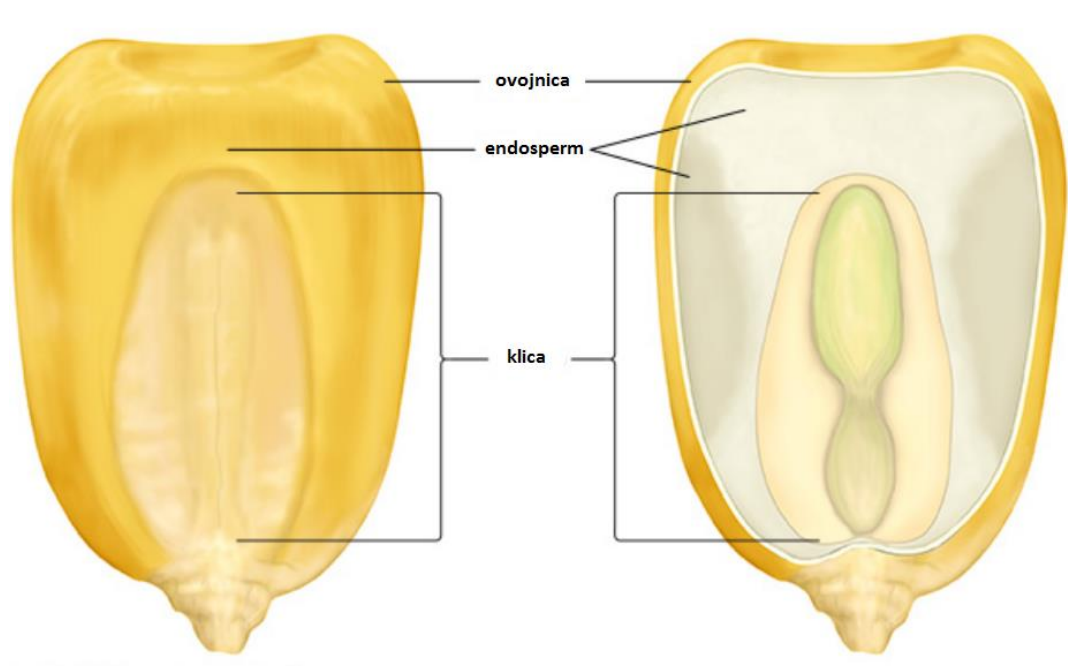
Kako bi konačni proizvod imao poboljšani okus, poboljšana funkcionalna svojstva te bio nutritivno bogatiji ponekad se koriste proizvodi dobiveni od heljde, zobi, ječma i raži, ali u manjim količinama.

Određene karakteristike sirovina, koje se koriste u ekstruziji, pridonose različitosti među konačnim proizvodima, a neke od tih karakteristika jesu:

- ubrzavanje otapanja i želatinizacije škroba,
- olakšavanje fizikalnih transformacija tijekom ekstruzijskog kuhanja,
- formiranje određene strukture proizvoda,
- poboljšavanje okusa i boje proizvoda,
- utjecaj na plastičnost i viskoznost materijala,
- olakšavanje homogenizacije sastojaka u tjestastim materijalima (Moscicki, 2011).

Kukuruz

Botanički naziv kukuruza je *Zea Mays* L. Klip kukuruza sadrži do 1000 zrna, a svako zrno sastoji se od endosperma (brašnasti i staklasti), omotača (ovojnica) i klice (Slika 4). Najveći dio zrna zauzima endosperm (od 82 do 83 %), on sadrži najviše škroba te je zbog toga najvažniji dio zrna. U brašnastom endospermu škrobne granule imaju tanku proteinsku mrežu i veće su. S druge strane, staklasti endosperm ima krupna i zbijena škrobna zrnca. Omjer brašnastog i staklastog endosperma ovisi o udjelu proteina u zrnu te najčešće iznosi 1:2 (Eckhoff i Watson, 2009). Na bazi endosperma nalazi se klica koja se sastoji od klicinog korjenčića i klicinog pupoljka. Klica može biti različite dužine, a cijelu unutrašnjost zrna štiti omotač (ovojnica) koji sadrži pigmente koji mu daju boju (Medvecki, 2015).



Slika 4 Poprečni presjek zrna kukuruza (web 1)

Kukuruz je jedna od najvažnijih žitarica na svijetu, a proizvodi mljevenja zrna (brašna i krupice) široko se obrađuju ekstruzijom. Visoki udio škroba zrno čini idealnim izvorom energije (Kljak i sur., 2015).

U prehrambenoj industriji zastupljeno je više sorti kukuruza koje se mogu općenito podijeliti na tvrde i meke. Najčešće se koriste za proizvodnju brašna i krupice, gdje veličine granule škroba u oba tipa kukuruza iznose od 5 – 20 μm , ali ovisno o udjelu amilopektina i amiloze imaju različitu formu. Sorte voštanog kukuruza imaju nizak udio amiloze (1 %), no sorte koje se često koriste u prehrambenoj industriji imaju od 25 do 30 % amiloze (Jozinović, 2015).

Kukuruz s različitim genotipovima može varirati u značajkama koje utječu na ekstruziju. Danas je u proizvodnji i preradi hrane česta upotreba komercijalnih hibrida koji nemaju velike razlike u kemijskim i fizikalnim svojstvima. Međutim, razlike između komercijalnih hibrida postoje, one uzrokuju različite procese koji se događaju tijekom ekstruzije te određuju različitu nutritivnu vrijednost i kvalitetu konačnih proizvoda, što uvelike olakšava odabir hibrida za dobivanje ekstrudata sa željenim karakteristikama (Kljak i sur., 2015).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza dobivenih od Poljoprivrednog instituta Osijek. Postupak ekstruzije bio je proveden na laboratorijskom jednopužnom ekstruderu uz primjenu sljedećih uvjeta: temperaturni profil ekstruzije – 80/100/120 °C; promjer sapnice – 4 mm; konfiguracija puža – 4:1. Dobivenim ekstrudatima, nakon sušenja na sobnoj temperaturi, određeni su sljedeći parametri: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, indeks apsorpcije vode, indeks topljivosti u vodi i reološka svojstva Brabenderovim mikro-visko-amilografom. Rezultati su uspoređeni s rezultatima za neekstrudirana brašna kukuruza.

3.2. MATERIJALI I METODE

Materijali

Za istraživanje je korišteno 5 različitih sorti kukuruza pod imenima: OS 5518, OS635, DRAVA 404, OS 515, LILA, RUDOLF 60, darovanih od Poljoprivrednog instituta Osijek iz žetve 2018. godine.

Priprema uzoraka i provedba ekstruzije

Uzorci kukuruza su prvo samljeveni pomoću mlina Molino Trita Pianta, E0585 (Slika 5) kroz sito otvora 3 mm (Slika 6) te se prosijavanje uzoraka izvršilo na uređaju za trešnju sita Retsch AS 200 (Slika 7). Za istraživanje je korištena frakcija veličine čestica 500 do 800 µm. Dio uzoraka je zapakiran u PVC vrećice sa zatvaračem i čuvan pri 4 °C do analize, a ostatak uzoraka je korišten za postupak ekstrudiranja.

Za ekstrudiranje je pripremljen zamjes tako što je kukuruznoj krupici dodana voda do udjela vlažnosti od 30 i 35 % pri čemu je korišten laboratorijski mikser prikazan na Slici 8. Nakon miješanja zamjes je zapakiran u PVC vrećice te ostavljen preko noći na 4 °C kako bi se vlaga ravnomjerno rasporedila.

Pripremljeni zamjes je ekstrudiran u jednopužnom laboratorijskom ekstruderu 19/20 DN, Brabender GmbH, Dusiburg, Njemačka pri temperaturnom profilu od 80/100/120 °C.



Slika 5 Mlin – Molino Trita Piante, E0585



Slika 6 Sito mlina Molino Trita Piante, E0585 (3 mm)



Slika 7 Uređaju za trešnju sita Retsch AS 200



Slika 8 Laboratorijski mikser

Određivanje fizikalnih svojstava ekstrudata

- a) EKSPANZIJSKI OMJER EKSTRUDATA (EO) – Osušanim ekstrudatima izmjeren je promjer pomoću pomičnog mjerila (u milimetrima) (Slika 9). Provedeno je pet paralelnih mjerenja za svaki uzorak te je izračunat ekspanzijski omjer prema jednadžbi (1) (Brnčić i sur., 2008):

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

gdje je:

EO – ekspanzijski omjer

d_e – promjer ekstrudata [mm]

d_s – promjer sapnice [mm]

Dobiveni rezultati izraženi su kao srednja vrijednost uz prikaz standardne devijacije mjerenja i prikazani su grafički.



Slika 9 a) Mehaničko pomično mjerilo; b) Elektroničko pomično mjerilo

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

$$(1) \quad BD = \frac{4m}{\pi d^2 L} \quad (2)$$

gdje je:

BD – nasipna masa ekstrudata [gcm^{-3}]

m – masa ekstrudata [g]

d – promjer ekstrudata [cm]

L – dužina ekstrudata [cm]

Određivanje boje kromametrom

Za određivanje boje kukuruzne krupice i samljevenih ekstrudata korišten je kromametar Konica Minolta CR-300 s nastavkom za praškaste materijale. Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh sustavima, kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je 5 mjerenja u sustavima Lab i LCh te je određena srednja vrijednost. Ukupna promjena boje računata je prema formuli (3):

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (b - b_0)^2 + (a - a_0)^2} \quad (3)$$

Pri čemu parametri s indeksom „0“ označavaju vrijednosti boje za kontrolirani neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice.

Određivanje indeksa apsorpcije vode i indeksa topljivosti u vodi (WAI i WSI)

WAI i WSI su određeni prema metodi za žitarice (Anderson, Conway, Pfeifer and Griffin, 1969).

Odvaže se 2,5 g samljevenog uzorka u tariranu kivetu za centrifugiranje (volumena 50 mL). U svaki uzorak se doda 30 mL destilirane vode, ispirući stjenke kivete te se uzorci ostave 30 min stajati uz povremeno miješanje (svakih 5 min). Nakon toga se uzorci centrifugiraju na 3000 rpm tijekom 15 min. Supernatant se dekantira u prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje i suši pri 105 °C do konstantne mase.

WAI je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici mase suhe tvari početnog uzorka.

WSI predstavlja masu suhe tvari u supernatantu izraženu kao postotak suhe tvari u početnom uzorku.

$$\text{WAI} \left[\frac{g}{g} \right] = \frac{\text{masa gela}}{\text{masa suhe tvari u početnom uzorku}} \quad (5)$$

$$\text{WSI} [\%] = \frac{\text{masa suhe tvari u supernatantu}}{\text{masa suhe tvari u početnom uzorku}} \times 100 \quad (6)$$

Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom

Određivanje viskoznosti brašna provedeno je Brabenderovim mikro-visko-amilografom, Brabender, Duisburg, Njemačka (Slika 10), prema metodi Jozinović i sur. (2012). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.



Slika 10 Brabenderov mikro-visko-amilograf

Uzorak neekstrudiranih zamjesa, odnosno samljevenih ekstrudata izvaže se u posudu Brabenderovog mikro-visko-amilografa, kako bi se pripravilo 115 g vodene suspenzije s 14 %

suhe tvari. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

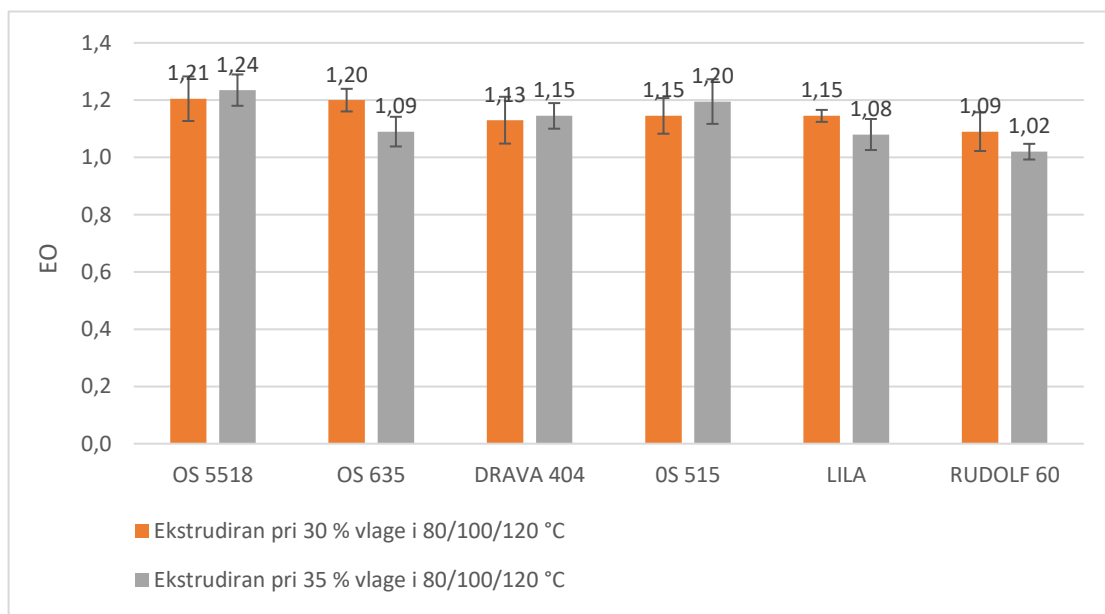
- Zagrijavanje 30 - 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5°Cmin⁻¹;
- Izotermno zadržavanje na 92 °C, 5 minuta;
- Hlađenje 92 – 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °Cmin⁻¹;
- Izotermno zadržavanje na 50 °C, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 okretaja u minuti, pri čemu se dobiju sljedeći parametri:

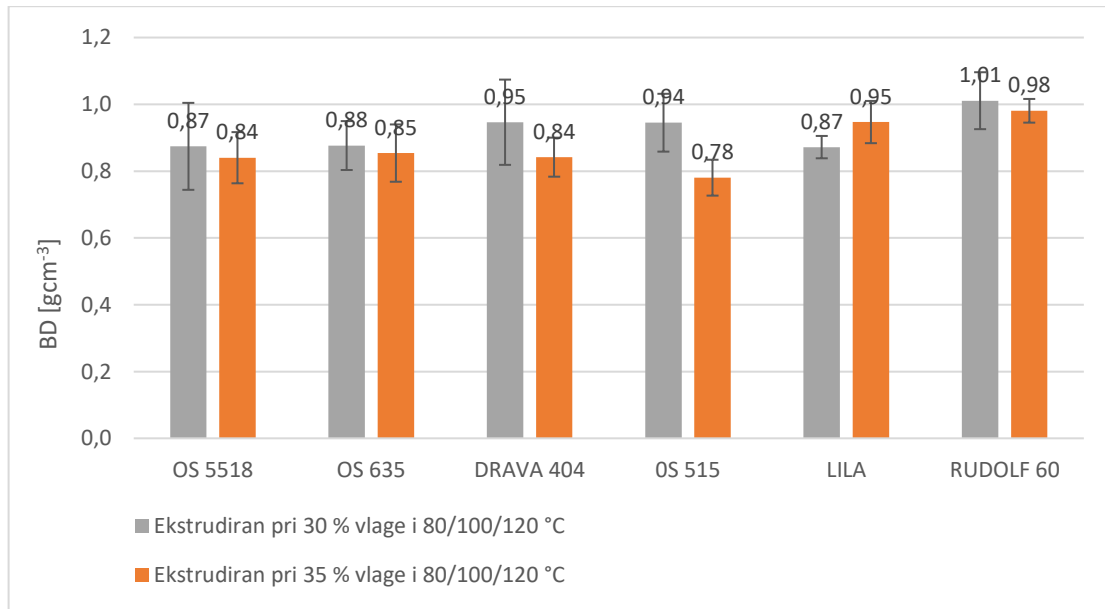
1. Početna temperatura želatinizacije škroba [°C];
2. Viskoznost vrha – označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C [BU];
4. Vrijednost viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C [BU];
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C [BU];
6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 min miješanja na 50 °C [BU];
7. Kidanje – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) [BU];
8. „Setback“ – izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 min miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

4. REZULTATI

Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) i nasipna masa ekstrudeta (BD)



Slika 11 Utjecaj vlažnosti kukuruzne krupice (30 i 35 %) različitih sorti kukuruza na ekspanzijski omjer ekstrudata



Slika 12 Utjecaj vlažnosti kukuruzne krupice (30 i 35 %) različitih sorti kukuruza na nasipnu masu ekstrudata

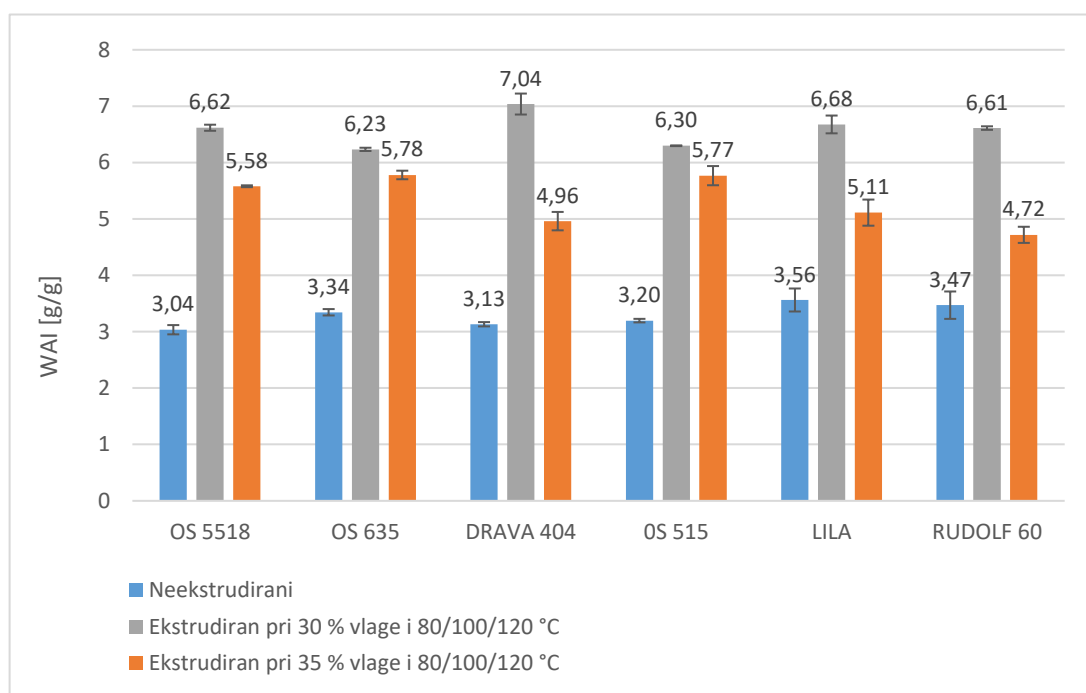
Određivanje boje kromametrom

Tablica 1 Utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa na boju kukuruzne krupice različitih sorti kukuruza

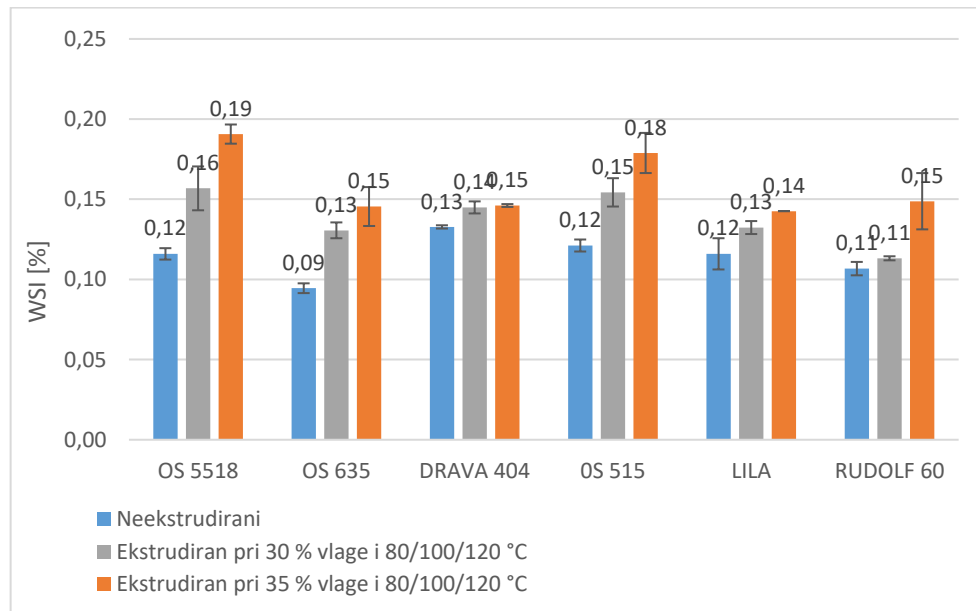
Uzorak	Neekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
OS 5518	79,19 ± 0,04 ^b	1,40 ± 0,05 ^b	27,03 ± 0,18 ^e	27,06 ± 0,18 ^e	87,03 ± 0,11 ^c	
OS 635	78,72 ± 0,08 ^d	-0,25 ± 0,06 ^d	35,04 ± 0,16 ^a	35,04 ± 0,16 ^a	90,41 ± 0,11 ^a	
DRAVA 404	75,66 ± 0,04 ^e	2,92 ± 0,09 ^a	33,71 ± 0,14 ^b	33,83 ± 0,13 ^b	85,12 ± 0,16 ^d	
OS 515	78,86 ± 0,06 ^c	0,59 ± 0,05 ^c	27,08 ± 0,15 ^e	27,09 ± 0,15 ^e	88,83 ± 0,18 ^b	
LILA	80,37 ± 0,03 ^a	0,65 ± 0,04 ^c	31,58 ± 0,12 ^c	31,59 ± 0,11 ^c	88,87 ± 0,09 ^b	
RUDOLF 60	75,01 ± 0,05 ^f	1,44 ± 0,07 ^b	29,29 ± 0,10 ^d	29,33 ± 0,10 ^d	87,04 ± 0,32 ^c	
Uzorak	Ekstrudiran pri 30 % vlage i 80/100/120 °C					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
OS 5518	73,82 ± 0,04 ^c	0,66 ± 0,05 ^d	34,65 ± 0,02 ^d	34,66 ± 0,02 ^d	88,90 ± 0,08 ^c	9,36
OS 635	75,19 ± 0,01 ^a	-0,26 ± 0,03 ^f	38,07 ± 0,02 ^a	38,07 ± 0,02 ^a	90,40 ± 0,04 ^a	4,65
DRAVA 404	71,23 ± 0,02 ^f	1,70 ± 0,04 ^c	35,85 ± 0,05 ^b	35,89 ± 0,05 ^b	87,28 ± 0,06 ^d	5,07
OS 515	72,21 ± 0,04 ^d	2,10 ± 0,06 ^a	33,34 ± 0,05 ^f	33,41 ± 0,05 ^f	86,40 ± 0,11 ^f	9,26
LILA	71,79 ± 0,03 ^e	1,80 ± 0,06 ^b	33,91 ± 0,10 ^e	33,96 ± 0,10 ^e	86,96 ± 0,10 ^e	8,97
RUDOLF 60	74,49 ± 0,04 ^b	0,40 ± 0,02 ^e	35,54 ± 0,02 ^c	35,54 ± 0,02 ^c	89,36 ± 0,04 ^b	6,36
Uzorak	Ekstrudiran pri 35 % vlage i 80/100/120 °C					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
OS 5518	73,90 ± 0,03 ^c	0,79 ± 0,04 ^e	33,44 ± 0,03 ^e	33,44 ± 0,02 ^e	88,64 ± 0,06 ^b	8,34
OS 635	76,42 ± 0,05 ^a	-0,65 ± 0,04 ^f	36,39 ± 0,04 ^a	36,40 ± 0,04 ^a	91,03 ± 0,06 ^a	2,69
DRAVA 404	74,08 ± 0,02 ^b	1,56 ± 0,02 ^b	33,57 ± 0,03 ^d	33,60 ± 0,03 ^d	87,33 ± 0,03 ^e	2,09
OS 515	71,52 ± 0,06 ^f	2,35 ± 0,04 ^a	33,54 ± 0,09 ^d	33,62 ± 0,09 ^d	85,99 ± 0,07 ^f	9,94
LILA	73,64 ± 0,03 ^d	1,23 ± 0,04 ^c	34,54 ± 0,04 ^c	34,56 ± 0,03 ^c	87,97 ± 0,08 ^d	7,37
RUDOLF 60	73,50 ± 0,02 ^e	0,95 ± 0,02 ^d	35,21 ± 0,03 ^b	35,22 ± 0,03 ^b	88,46 ± 0,02 ^c	6,12

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

Određivanje indeksa apsorpcije vode i indeksa topljivosti u vodi (WAI i WSI)



Slika 13 Utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na indeks apsorpcije vode (WAI)



Slika 14 Utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na indeks topljivosti ekstrudata u vodi (WSI)

Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim mikro-visko-amilografom

Tablica 2 Utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na viskoznost kukuruzne krupice različitih sorti kukuruza

	OS 5518	OS 635	DRAVA 404	OS 515	LILA	RUDOLF 60
Neekstrudirani uzorci						
viskoznost vrha [BU]	238,0 ± 14,14 ^a	194,5 ± 27,58 ^{a, b}	137,5 ± 43,13 ^{b, c}	137,5 ± 43,13 ^{b, c}	147,5 ± 14,85 ^{b, c}	107,5 ± 6,36 ^c
viskoznost pri 92 °C [BU]	189,0 ± 14,14 ^a	1,5 ± 2,12 ^c	52,0 ± 12,73 ^b	54,5 ± 24,75 ^b	53,5 ± 3,54 ^b	0,0 ± 0,00 ^c
nakon miješanja na 92 °C [BU]	216,5 ± 0,71 ^a	99,0 ± 12,73 ^b	137,5 ± 37,48 ^b	113,5 ± 9,19 ^b	142,0 ± 14,14 ^b	100,0 ± 15,56 ^b
viskoznost pri 50 °C [BU]	482,0 ± 31,11 ^a	275,0 ± 0,00 ^c	309,5 ± 14,85 ^{b, c}	288,0 ± 8,49 ^c	334,0 ± 16,97 ^b	269,0 ± 9,90 ^c
nakon miješanja na 50 °C [BU]	513,5 ± 4,95 ^a	280,5 ± 0,71 ^c	310,0 ± 15,56 ^c	292,5 ± 3,54 ^c	348,0 ± 16,97 ^b	278,0 ± 22,63 ^c
kidanje [BU]	21,5 ± 13,44 ^b	95,5 ± 14,85 ^a	0,0 ± 5,66 ^b	24,0 ± 21,21 ^b	5,5 ± 0,71 ^b	7,5 ± 9,19 ^b
„setback“ [BU]	265,5 ± 31,82 ^a	176,0 ± 12,73 ^b	172,0 ± 22,63 ^b	174,5 ± 0,71 ^b	192,0 ± 2,83 ^b	169,0 ± 5,66 ^b
Ekstrudirani pri 30 % vlage i 80/100/120 °C						
viskoznost vrha [BU]	110,0 ± 1,41 ^a	134,5 ± 6,36 ^a	84,5 ± 9,19 ^b	87,0 ± 5,66 ^b	77,0 ± 7,07 ^b	123,5 ± 6,36 ^a
viskoznost pri 92 °C [BU]	95,0 ± 2,83 ^a	120,5 ± 10,61 ^a	68,0 ± 8,49 ^b	77,5 ± 0,71 ^b	65,5 ± 6,36 ^b	106,0 ± 1,41 ^a
nakon miješanja na 92 °C [BU]	85,0 ± 4,24 ^b	108,0 ± 2,83 ^a	57,0 ± 8,49 ^c	63,5 ± 7,78 ^c	59,0 ± 7,07 ^c	116,0 ± 2,83 ^a
viskoznost pri 50 °C [BU]	206,5 ± 3,54 ^b	251,0 ± 7,07 ^a	161,0 ± 8,49 ^c	155,5 ± 6,36 ^c	156,5 ± 9,19 ^c	245,5 ± 3,54 ^a
nakon miješanja na 50 °C [BU]	220,0 ± 2,83 ^b	267,0 ± 7,07 ^a	173,5 ± 9,19 ^c	166,0 ± 5,66 ^c	167,0 ± 7,07 ^c	259,5 ± 3,54 ^a
kidanje [BU]	25,0 ± 2,83 ^a	26,5 ± 3,54 ^a	27,5 ± 0,71 ^a	23,5 ± 13,44 ^{a, b}	18,0 ± 0,00 ^{a, b}	7,5 ± 9,19 ^b
„setback“ [BU]	121,5 ± 0,71 ^c	143,0 ± 4,24 ^a	104,0 ± 0,00 ^d	92,0 ± 1,41 ^f	97,5 ± 2,12 ^e	129,5 ± 0,71 ^b
Ekstrudirani pri 35 % vlage i 80/100/120 °C						
viskoznost vrha [BU]	164,5 ± 26,16 ^a	146,5 ± 2,12 ^{a, b}	154,0 ± 8,49 ^{a, b}	126,0 ± 5,66 ^b	156,0 ± 22,63 ^{a, b}	158,0 ± 4,24 ^{a, b}
viskoznost pri 92 °C [BU]	151,0 ± 28,28 ^a	143,5 ± 0,71 ^{a, b}	144,5 ± 10,61 ^{a, b}	116,0 ± 5,66 ^b	128,0 ± 11,31 ^{a, b}	135,0 ± 1,41 ^{a, b}
nakon miješanja na 92 °C [BU]	130,0 ± 28,28 ^a	132,0 ± 2,83 ^a	122,5 ± 3,54 ^{a, b}	96,0 ± 5,66 ^b	126,0 ± 1,41 ^a	142,5 ± 2,12 ^a
viskoznost pri 50 °C [BU]	296,0 ± 31,11 ^a	283,0 ± 2,83 ^a	270,5 ± 9,19 ^a	210,5 ± 3,54 ^b	271,5 ± 14,85 ^a	299,0 ± 0,00 ^a
nakon miješanja na 50 °C [BU]	317,0 ± 28,28 ^a	300,0 ± 2,83 ^{b, c}	292,0 ± 7,07 ^{b, c}	226,0 ± 4,24 ^c	287,0 ± 1,41 ^{b, c}	313,5 ± 0,71 ^b
kidanje [BU]	34,5 ± 2,12 ^a	14,5 ± 0,71 ^a	31,5 ± 4,95 ^a	30,0 ± 0,00 ^a	30,0 ± 24,04 ^a	15,5 ± 2,12 ^a
„setback“ [BU]	166,0 ± 2,83 ^a	151,0 ± 0,00 ^{a, b}	148,0 ± 5,66 ^b	114,5 ± 2,12 ^c	145,5 ± 13,44 ^b	156,5 ± 2,12 ^{a, b}

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

5. RASPRAVA

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati utjecaj vlažnosti zamjesa (30 – 35 %) na svojstva ekstrudiranih brašna različitih sorti kukuruza dobivenih od Poljoprivrednog instituta Osijek.

Na **Slici 11** prikazan je utjecaj vlažnosti kukuruzne krupice ekstrudirane pri 30 i 35 % vlage na ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) pri temperaturnom profilu 80/100/120 °C. Iz prikazanih rezultata vidljivo je da se dobivene vrijednosti značajno ne razlikuju bez obzira na primijenjenu vlažnost. Dobivene vrijednosti su niske i kreću se u rasponu od najmanje 1,09 (uzorak OS 5518) do najveće 1,24 (uzorak OS635). Dobiveni ekstrudati su samo oblikovani tj. nisu ekspandirali, kao što je slučaj kada se vrši proizvodnja pri nižoj vlažnosti i višoj temperaturi, gdje su vrijednosti EO značajno veće, što se poklapa sa istraživanjem Onwulata i Konstance (2006) koji su utvrdili da je ekspanzija veća pri nižem sadržaju vlage.

Utjecaj vlažnosti kukuruznih krupica (30 i 35 %) na nasipnu masu ekstrudata (BD) pri temperaturnom profilu 80/100/120 °C prikazan je na **Slici 12**. Priloženi rezultati prikazuju da se postignute vrijednosti međusobno ne razlikuju previše bez obzira na primijenjenu vlažnost. Najnižu vrijednost od 0,78 gcm⁻³ imao je uzorak OS 515 (35 % vlage), a najvišu, 1,01 gcm⁻³ postigao je uzorak Rudolf 60. Dobivene vrijednosti su izrazito visoke, jer uzorci nisu ekspandirali zbog visokog sadržaja vlage, što je sukladno istraživanju koje su proveli Garber i sur. (1997) koji su utvrdili da je nasipna masa veća kod uzoraka s višim sadržajem vlage. Svi uzorci (OS 5518, OS 635, DRAVA 404, OS 515, RUDOLF 60) osim uzorka LILA imali veću vrijednost nasipne mase pri manjoj vlažnosti (30 %). Uzorak LILA imao je veću vrijednost nasipne mase pri većem udjelu vlage (35 %) te je taj uzorak jedini dao rezultate sukladne istraživanju Hagenimana i sur. (2006) koji su istraživanjem također zaključili da se nasipna masa povećava povećanjem sadržaja vlage.

Kromametrom u CIELab i LCh sustavima određena je boja neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka s različitim udjelom vlage (30 i 35 %) pri temperaturnom profilu 80/100/120 °C. U **Tablici 1** su prikazane vrijednosti parametara L*, a*, b*, C, h° i ΔE. Iz dobivenih rezultata je vidljiva značajna razlika između ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka. Kod svakog uzorka se vrijednost parametra L* smanjila nakon ekstrudiranja. Parametar L* se koristi za opisivanje svjetline uzorka, a rezultati ukazuju na to da je procesom ekstruzije došlo do potamnjenja uzorka. Istraživanjem koje su proveli Morini i Maga (1995) utvrđeno je da pri povišenoj temperaturi ekstruzije dolazi do potamnjenja ekstrudata odnosno smanjivanja vrijednosti parametra L* te su rezultati navedeni u **Tablici 1** sukladni njihovoj tezi. Također su utvrdili i da

su uzorci s većom vlažnosti tamniji nakon procesa ekstruzije. Dobivenim rezultatima utvrđeno je da udio vlage utječe na svjetlinu boje jer uzorci OS 635, OS 515, RUDOLF 60 s udjelom vlage 35 % imaju manju vrijednost parametra L^* od istih ekstrudiranih uzoraka s udjelom vlage od 30 %. Pozitivne vrijednosti parametra a^* ukazuju na to da se uzorak nalazi u domeni crvene boje, a negativne vrijednosti parametra a^* ukazuju na to da se uzorak nalazi u domeni zelene boje. Rezultati istraživanja ukazuju na to da su svi uzorci imali pozitivnu vrijednost parametra a^* te su u domeni crvene boje, a izuzetak je uzorak OS 635 koji je, i neekstrudirani i ekstrudirani, u domeni zelene boje. Svi uzorci imaju pozitivnu vrijednost parametra b^* što ukazuje na to da su svi uzorci u domeni žute boje. Parametar C se koristi za opisivanje zasićenosti boje. Vrijednosti parametra C su se povećale nakon procesa ekstruzije te su različite vrijednosti ekstrudata s manjim udjelom vlage (30 %) od onih ekstrudata s većim udjelom vlage (35 %). Kod svih uzoraka došlo je do smanjenja vrijednosti parametra C povećanjem udjela vlage, osim kod ekstrudata OS 515 i LILA kod kojih se vrijednost parametra C povećala povećanjem udjela vlage. Parametar h° ukazuje na ton boje. Kreće se u rasponu od 0° (crvena), 90° (žuta), 180° (zelena), 270° (plava) te natrag do 0° . Dobivene vrijednosti za h° pokazuju da je boja uzoraka u domeni žute boje. Ukupna promjena boje ekstrudiranih uzoraka (ΔE) je veća kod uzoraka koji imaju manji udio vlage (30 %) osim kod uzorka OS 515 koji veću vrijednost ukupne promjene boje ima kod većeg udjela vlage (35 %).

Na **Slici 13** prikazan je utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na indeks apsorpcije vode (WAI). Iz grafičkog prikaza je vidljivo da se provedbom ekstruzije povećala vrijednost indeksa apsorpcije vode (WAI), a povećanje je veće pri vlažnosti od 30 %. Najveće povećanje imao je uzorak DRAVA 404 s vrijednosti $7,04 \text{ gg}^{-1}$, a najmanje RUDOLF 60 s vrijednosti od $4,72 \text{ gg}^{-1}$. Istraživanjem koje su proveli Reyes-Jáquez i sur. (2012) utvrđeno je da povećanje sadržaja vlage rezultira višim WAI zbog povećanja dostupnosti granula škroba, uz to pri visokoj temperaturi lanci amiloze i amilopektina formiraju neuređen sustav uzrokovan ekspanzijom koji omogućava veći kapacitet zadržavanja vode.

Utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na indeks topljivosti ekstrudata u vodi (WSI) pri temperaturnom profilu 80/100/120 prikazan je na **Slici 14**. Graf prikazuje porast vrijednosti indeksa topljivosti ekstrudata (WSI) nakon provedenog procesa ekstruzije i povećanja vlažnosti. Vidljivo je da uzorci s 35 % udjela vlage imaju veći porast, a najvišu vrijednost 0,19 % imao je uzorak OS 5518. Dobiveni rezultati su sukladni istraživanju

koje su proveli De Mesa i sur. (2009) koji navode da se povećanje vrijednosti indeksa topljivosti u vodi (WSI) odvija zbog depolimerizacije molekula škroba tijekom procesa ekstruzije.

Tablica 2 prikazuje utjecaj procesa ekstruzije pri različitoj vlažnosti zamjesa (30 i 35 %) na viskoznost kukuruznih krupica različitih sorti kukuruza. Ovom analizom dobivene su vrijednosti za viskoznost vrha, viskoznost pri 92 °C (topla viskoznost), viskoznost nakon 5 minuta miješanja na 92 °C te vrijednosti za hladnu viskoznost (50 °C). Također su u prikazanim rezultatima vidljive vrijednosti za *kidanje*, koje označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama (92 °C) te vrijednosti „setback“ koja označava sklonost škrobne paste retrogradaciji. Dobivene vrijednosti su izražene u Brabenderovim jedinicama (BU).

Provedbom procesa ekstruzije i povećanjem vlažnosti najveću vrijednost viskoznosti vrha su postigli uzorci RUDOLF 60 ($123,5 \pm 6,36$ BU) pri udjelu vlage od 30 % i uzorak OS 5518 ($164,5 \pm 26,16$ BU) pri udjelu vlage od 35 %. U usporedbi s neekstrudiranim uzorcima vrijednost uzorka RUDOLF 60 se povećala, a vrijednost uzorka OS 5518 se smanjila.

Kod tople viskoznosti, odnosno viskoznosti pri 92 °C vrijednosti su se kod svih uzoraka povećale u usporedbi s neekstrudiranim uzorcima osim kod uzorka OS 5518 kod kojeg su se vrijednosti smanjile, no najvišu vrijednost tople viskoznosti ekstrudiranih uzoraka ima upravo uzorak OS 5518 (35 % vlage) te ona iznosi $151,0 \pm 28,28$ BU. Nakon miješanja na temperaturi od 92 °C dobiveni rezultati prikazuju da su vrijednosti uzorka OS 635 i RUDOLF 60 veće u usporedbi s neekstrudiranim uzorcima, a ostalim uzorcima se vrijednost smanjila.

Nadalje, vrijednosti viskoznosti pri 50 °C i viskoznosti nakon miješanja na istoj temperaturi su smanjene nakon ekstruzije i povećanja vlažnosti kod svih uzoraka osim kod uzorka OS 635 (35 % vlage) i RUDOLF 60 (35 % vlage) gdje su se vrijednosti povećale. Upravo su ti uzorci imali i najviše vrijednosti hladne viskoznosti: OS 635 (30 % vlage) $\rightarrow 251,0 \pm 7,07$ BU te RUDOLF 60 (35 % vlage) $\rightarrow 299,0 \pm 0,00$ BU.

Niske vrijednosti *kidanja* (*kidanje* = viskoznost vrha – viskoznost pri 92 °C / 5 min) rezultat su zagrijavanja na temperaturi od 92 °C u trajanju od 5 minuta zbog čega dolazi do pada viskoznosti kod svih uzoraka. Neekstrudirani uzorak RUDOLF 60 imao je jednaku vrijednost kao i isti taj ekstrudirani uzorak pri vlažnosti od 30 % ($7,5 \pm 9,19$ BU), no vrijednost se povisila povećanjem vlažnosti na 35 % ($15,5 \pm 2,12$ BU).

Vrijednosti sklonosti škrobne paste retrogradaciji odnosno „setback“ („setback“ = viskoznost pri 50 °C – viskoznost na 92 °C / 5 min) su najviše kod neekstrudiranih uzoraka. Postupkom ekstruzije i povećanjem vlažnosti ta se vrijednost smanjila. Najniže vrijednosti imali su uzorci s 30 % vlage te su oni najmanje podložni retrogradaciji. Dobiveni rezultati se mogu objasniti tvrdnjom Dokić i sur. (2009) koji su naveli da se procesom ekstruzije oštećuje granula škroba te stoga gelovi ekstrudiranih proizvoda imaju manju viskoznost u odnosu na neekstrudirane uzorke.

6. ZAKLJUČCI

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

1. Primijenjene vlažnosti nisu značajno utjecale na povećanje ekspanzijskog omjera ekstrudata (EO). Dobiveni ekstrudati nisu ekspandirali, već su se samo oblikovali.
2. Različiti udjeli vlage u zamjesima nisu uzrokovali značajnu razliku u postignutim vrijednostima za nasipnu masu (BD) ekstrudata.
3. Nakon provedenog procesa ekstruzije snizila se vrijednost parametra L^* što znači da su ekstrudati potamnili. Uzorcima se povećala zasićenost boje te su prešli u domenu crvene i žute boje.
4. Provedbom ekstruzije i povećanjem sadržaja vlage značajno se povećao indeks apsorpcije vode (WAI). Povećanjem vlažnosti povećao se i indeks topljivosti ekstrudata u vodi (WSI) i to značajno pri udjelu vlage od 35 %.
6. Reološka svojstva kukuruzne krupice su se značajno promijenila procesom ekstruzije. U odnosu na neekstrudirane uzorke vrijednosti kidanja su niže kod ekstrudiranih uzoraka, što ukazuje na dobru stabilnost prilikom miješanja na visokim temperaturama. Vrijednosti „setback“ su se snizile procesom ekstruzije i povećanjem vlažnosti te tako potvrdile da su neekstrudirani uzorci najskloniji retrogradaciji.

7. LITERATURA

- Babić J: Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2011.
- Bouvier JM, Campanella OH: *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*. WILEY Blackwell, John Wiley and Sons, Ltd., UK, 2014.
- De Mesa NJ, Alavi S, Singh N, Shi V, Dogan H, Sang Y: Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90:262-270, 2009.
- Dokić LJP, Bodroža-Solarov MI, Hadnađev MS, Nikolić IR: Properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. *Biblid*, 40: 17-24, 2009.
- Eckhoff SR, Watson SA: Corn and sorghum starches: Production. U *Starch: Chemistry and technology* (BeMiller J, Whistler R, ur.). Academic Press, USA, 373-439, 2009.
- Garber BW, Hsieh F, Huff HE: Influence of Particle Size on the Twin-Screw Extrusion of Corn Meal. *Cereal Chem.*, 74(5): 656–661, 1997.
- Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1):38-46, 2006.
- 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.
- Jozinović A: Svojstva kukuruznih snack proizvoda obogaćenih s nusproizvodima prehrambene industrije. Disertacija. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2015.
- Kljak K, Šarka E, Dostalek P, Smrčkova P, Grbeša D: Influence of physicochemical properties of Croatian maize hybrids on quality of extrusion cooking, 2015.
- Lazou A, Krokida M: Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43: 609–616, 2010.

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

Medvecki A: Agrotehnika uzgoja kukuruza kokičara (*Zea Mays Everta Sturt.*), diplomski rad, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 2015.

Morini G, Maga JA: Chestnut (*Castanea molissima*) flour extrusion. *Developments in Food Science*, 37:557-562, 1995. Garber BW, Hsieh F, Huff HE: Influence of Particle Size on the Twin-Screw Extrusion of Corn Meal. *Cereal Chem.*, 74(5): 656–661, 1997.

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

Onwulata CI, Konstance RP: Extruded corn meal and whey protein concentrate: Effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30: 475–487, 2006.

Reyes-Jaquez D, Casillas F, Flores N, Andrade-Gonzalez I, Solis-Soto A, Medrano-Roldan H, Carrete F, Delgado E: The effect of Glandless Cottonseed Meal Content and Process Parameters on the Functional Properties of Snack during Extrusion Cooking, 2012.

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

Web 1: <https://awkwardbotany.com/tag/corn-kernel/> (23.07.2019.)