Svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom pirovih posija

Šimunović, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:109:239865

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

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

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET U OSIJEKU

Sara Šimunović

SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA S DODATKOM PIROVIH POSIJA

Diplomski rad

Osijek, lipanj 2021.

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 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambenog inženjerstva

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija konditorskih i srodnih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na VII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2020./2021. održanoj 29. travnja 2021.
Mentor: prof. dr. sc. *Drago Šubarić*

Svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom pirovih posija

Sara Šimunović, 0113142257

Sažetak:
Pirove posije predstavljaju vrijedni nusproizvod prvenstveno zbog svog velikog udjela prehrambenih vlakana. Pirove posije bile su dodavane u kukuruznu krupicu u udjelima 4, 8 i 12 % s. tv. te su zamjesi bili pripremljeni na 15 % vlage uz dodatak 1 % s. tv. pektina s ciljem dobivanja direktno ekspandiranih snack proizvoda. Uzorci su bili ekstrudirani na laboratorijskom jednopužnom ekstruderu. Dobivenim ekstrudatima nakon sušenja na sobnoj temperaturi bili su određeni sljedeći parametri: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, tvrdoća i lomljivost, indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi, udio prehrambenih vlakana i udio oštećenog škroba. Dodatak pirovih posija utjecao je na smanjenje ekspanzijskog omjera i povećanja nasipne mase. Tvrdoća se povećavala, dok se lomljivost smanjivala povećanjem udjela pirovih posija. Promjena boje je bivala sve izraženija povećanjem dodatka pirovih posija. Udio prehrambenih vlakana povećao se proporcionalno dodatku pirovih posija. Proces ekstruzije uzrokovao je smanjenje udjela prehrambenih vlakana, te značajnije povećanje udjela oštećenog škroba, indeksa apsorpcije i indeksa topljivosti u vodi.

Ključne riječi: ekstruzija, nusproizvodi, pirove posije, kukuruzni snack proizvodi, prehrambena vlakna

Rad sadrži:
45 stranica
17 slika
2 tablice
0 priloga
38 literaturnih referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

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

Datum obrane: 25. lipnja 2021.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Food Technologies
Subdepartment of Carbohydrate Technology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Food Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Technology of confectionery and related products
Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VII. held on April 29, 2021.
Mentor: *Drago Šubarić*, PhD, prof.

Properties of Corn Extrudates with the Addition of Spelt Bran

Sara Šimunović, 0113142257

Summary:
Spelt bran is a valuable by-product primarily due to its high proportion of dietary fiber. Spelt bran was added to corn grits in proportions of 4, 8 and 12% dry matter. These mixtures were prepared at 15% moisture with the addition of 1% dry matter pectin with the aim of obtaining directly expanded snack products. The samples were extruded in a laboratory single-screw extruder. The following parameters were determined to the obtained extrudates after drying at room temperature: expansion ratio, bulk density, color, hardness and fracturability, water absorption index and water solubility index, dietary fiber content and damaged starch content. The addition of spelt bran caused a decrease in expansion ratio and an increase in bulk density. Hardness increased, while fracturability decreased with the increase in spelt bran content. The color change became more pronounced with the addition of spelt bran. The dietary fiber content increased proportionally to the addition of spelt bran. The extrusion process caused a decrease in dietary fiber content and a significant increase in damaged starch content, water absorption index and water solubility index.

Key words: extrusion, by-products, spelt bran, corn snack products, dietary fiber

Thesis contains: 45 pages
17 figures
2 tables
0 supplements
38 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1. *Đurđica Ačkar*, PhD, associate prof. — chair person
2. *Drago Šubarić*, PhD, prof. — supervisor
3. *Antun Jozinović*, PhD, assistant prof. — member
4. *Jurislav Babić*, PhD, prof. — stand-in

Defense date: June 25, 2021

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 18, Osijek.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Dragi Šubariću na vođenju mentorstva, a posebno se zahvaljujem doc. dr. sc. Antunu Jozinoviću na pomoći i korisnim savjetima prilikom izrade i pisanja ovog diplomskog rada.

Posebno hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje te uz brata i sestru bili potpora, podrška i bodrili me tijekom svih godina studiranja.

Zahvaljujem se kolegama, kolegicama, a najviše prijateljima koji su moje razdoblje studiranja upotpunili najljepšim uspomenama u životu.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 2

2.1. EKSTRUZIJA 4

2.2. PODJELA EKSTRUDERA 5

2.2.1. Podjela prema termodinamičkim uvijetima rada 5

2.2.2. Podjela prema načinu stvaranja tlaka 6

2.2.3. Podjela prema veličini smicanja 7

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA 9

2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE 11

2.4.1. ŠKROB 11

2.4.2. PROTEINI 12

2.4.3. PREHRAMBENA VLAKNA 12

2.4.4. LIPIDI 13

2.4.5. VITAMINI 13

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA 14

2.5.1. KUKURUZ (*Zea Mays* L.) 14

2.5.2. PIR 15

3. EKSPRERIMENTALNI DIO 17

3.1. ZADATAK 18

3.2. MATERIJALI 18

3.3. METODE 18

3.3.1. Priprema sirovina i zamjesa za ekstruziju 18

3.3.2. EKSTRUZIJA 20

3.3.3. ODREĐIVANJE FIZIKALNIH SVOJSTAVA 21

3.3.3.1. Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO) 21

3.3.3.2. Nasipna masa ekstrudata (BD) 21

3.3.3.3. Tekstura ekstrudata (tvrdoća i lomljivost) 22

3.3.3.4. Boja zamjesa i ekstrudata 23

3.3.3.5. Indeks apsorpcije vode (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) ... 24
3.3.4. ODREĐIVANJE KEMIJSKIH SVOJSTAVA ... 24
3.3.4.1. Određivanje ukupnih, topljivih i netopljivih vlakana (AOAC 991.43) ... 24
3.3.4.4. Određivanje stupnja oštećenosti škroba (AACC 76-31.01) ... 27
4. REZULTATI ... 29
4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA ... 30
4.1.1. EKSPANZIJSKI OMJER EKSTRUDATA (EO) ... 30
4.1.2. NASIPNA MASA EKSTRUDATA (BD) ... 30
4.1.3. TEKSTURA EKSTRUDATA (TVRDOĆA I LOMLJIVOST) ... 31
4.1.4. BOJA ZAMJESA I EKSTRUDATA ... 32
4.1.5. INDEKS APSORPCIJE (WAI) I INDEKS TOPLJIVOSTI U VODI (WSI) ... 33
4.2. KEMIJSKA SVOJSTVA ... 34
4.2.1. ODREĐIVANJE UKUPNIH, TOPLJIVIH I NETOPLJIVIH VLAKANA ... 34
4.2.2. STUPANJ OŠTEĆENOSTI ŠKROBA (DS) ... 35
5. RASPRAVA ... 36
5.1. FIZIKALNA SVOJSTVA ... 37
5.2. KEMIJSKA SVOJSTVA ... 39
6. ZAKLJUČCI ... 40
7. LITERATURA ... 42

Popis oznaka, kratica i simbola

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BD	nasipna masa
DS	stupanj oštećenosti škroba
EO	ekspanzijski omjer
GOPOD	glukoza oksidaza-peroksidaza-aminoantipirin reagens
HTST	visoka temperatura kratko vrijeme (engl. *High Temperature Short Time*)
L*, a*, b*	parametri CIELab sustava za boje
NV	netopljiva prehrambena vlakna
RTE	spremno za konzumiranje (engl. *ready-to-eat*)
TV	topljiva prehrambena vlakna
UV	ukupna prehrambena vlakna
WAI	indeks apsorpcije vode (engl. *water absorption index*)
WSI	indeks topljivosti u vodi (engl. *water solubility index*)
ΔE	ukupna promjena boje

1. UVOD

Ekstruzija kao proces prerade hrane danas je često korištena u prehrambenoj industriji zbog mnogih prednosti. Proces je prerade gdje se određeni materijal pomoću sile klipa, odnosno pomoću jednog ili dva puža giba kroz kućište i izlazi kroz sapnicu karakterističnog oblika. Karakteriziraju ga visoke temperature i kratko vrijeme trajanja procesa, što dovodi do minimalnih promjena na pojedinim sastojcima hrane, znatnih ušteda energije te tako i niže cijene gotovih proizvoda.

U samim počecima ekstruzija se koristila za proizvodnju tjestenine, a kasnijim razvojem za snack proizvode te instant proizvode na bazi žitarica. U današnje vrijeme ekstruzija se koristi za proizvodnju velikog broja proizvoda poput teksturiranih proteina, hrane za kućne ljubimce, plastične ambalaže, cijevi itd. Isto tako koristi se za modificiranje škroba te modificiranje svojstava raznih sirovina poput brašna za keksarstvo i pekarsku industriju. Materijali bogati škrobom i proteinima djelovanjem tlaka, smicanja i visoke temperature mijenjaju svoja svojstva, promjenom u strukturi i probavljivosti (Móscicki, 2011.).

Sirovine koje se najčešće koriste u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda su kukuruzna krupica, pšenična krupica, proteini sirutke itd. Pir nije česta sirovina u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda, koristi se za obogaćivanje gotovog proizvoda. Lako je probavljiv zbog niskog udjela glutena te tako pogoduje konzumaciji djeci i starijim osobama. Sadrži 10 – 12 % više proteina od obične pšenice i smatra se dobrim izvorom proteina i esencijalnih aminokiselina. Pir, a naročito pirove posije imaju pozitivan utjecaj na reguliranje razine kolesterola i šećera u krvi, a isto tako pomaže u jačanju imunološkog sustava (Bodroža-Solarov i sur., 2009.).

Cilj diplomskog rada bio je ispitati mogućnost primjene pirovih posija u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Proces mehaničke i termičke obrade materijala, znan kao ekstruzija, sve se više koristi u prehrambenoj industriji jer zamjenjuje dva ili više tradicionalnih procesa prerade hrane. Materijal se silom klipa potiskuje kroz kućište ili jednim ili dva puža uz miješanje i zagrijavanje djelovanjem sile trenja, te izlazi kroz sapnicu odgovarajućeg oblika kako bi se dobio osušen, oblikovan i/ili ekspandiran proizvod (Babić, 2016.).

Ekstruzija uključuje jedan ili više procesa, a to su:

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

Primjena ekstruzije datira još iz 18. stoljeća, dok njena primjena postaje sve više izražena krajem 19. stoljeća kada kreće proizvodnja tjestenine, instant proizvoda na bazi žitarica i tzv. snack proizvoda (Barišić, 2018.). Ekstruzijom se može proizvoditi velik broj različitih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda.

Najpoznatiji proizvodi dobiveni procesom ekstruzijskog kuhanja su:

- ekstrudirani snack proizvodi, RTE (engl. *ready-to-eat*) pahuljice od žitarica i različite vrste žitarica za doručak, različitih oblika, boje i okusa;
- snack peleti – poluproizvodi, prethodno kuhana tjestenina;
- dječja hrana, prethodno kuhano brašno, instant koncentrati, funkcionalni dodaci;
- biljni proteini (uglavnom soje) koji se koriste u proizvodnji mesnih analoga;
- krušne mrvice, emulzije i tjestenine;
- bomboni, različite vrste slatkiša, žvakaće gume i dr.
- različiti proizvodi za farmaceutsku, kemijsku i industriju papira;
- hrana za kućne ljubimce i ribe;
- proizvodi od plastike i dr. (Móscicki, 2011.).

Visoka kvaliteta proizvoda, veliko iskorištenje, minimalna potrošnja energije, prilagodljivost, istraživanje novih proizvoda itd., samo su neke od osobina koje proces ekstruzije čine jednim od najznačajnijih procesa u prehrambenoj industriji.

2.2. PODJELA EKSTRUDERA

Postoje različite vrste ekstrudera u prehrambenoj industriji, a dijele se prema:

1. Termodinamičkim uvjetima rada;
2. Načinu stvaranja tlaka u uređaju;
3. Veličini smicanja (Lovrić, 2003.).

2.2.1. Podjela prema termodinamičkim uvijetima rada

Prema termodinamičkim uvjetima rada razlikuju se:

1) Autogeni (adijabatski) ekstruderi su oni čije je područje rada približno adijabatskim uvjetima. Gibanjem materijala u uređaju, razvija se toplina konverzijom mehaničke

energije, što znači da se toplina ne dovodi niti odvodi. Potrebno je da sirovine imaju nisku vlažnost (8 – 14 %);

2) Izotermni ekstruderi konstantnu temperaturu održavaju hlađenjem, tako da odvode toplinu nastalu iz mehaničke energije;
3) Politropski ekstruderi čije je područje rada između adijabatskih i izotermnih ekstrudera su najčešće korišteni ekstruderi u prehrambenoj industriji (Lovrić, 2003.).

2.2.2. Podjela prema načinu stvaranja tlaka

Prema načinu stvaranja tlaka razlikuju se ekstruderi:

1) Indirektnog tipa (ekstruderi viskozno-vlačnog toka) – ponašanje materijala kao ne-newtonovskog fluida tijekom gibanja kroz ekstruder, utječe na promjenu svojstava početnog proizvoda te definiciju samog gotovog proizvoda. U konditorskoj industriji ovaj tip ekstrudera se najviše koristi (Babić, 2016.).
2) Direktnog tipa (ekstruderi pozitivnog tlaka) – stvaraju pozitivan tlak i dijele se na:
    - klipne ekstrudere,
    - pužne (vijčane) ekstrudere.

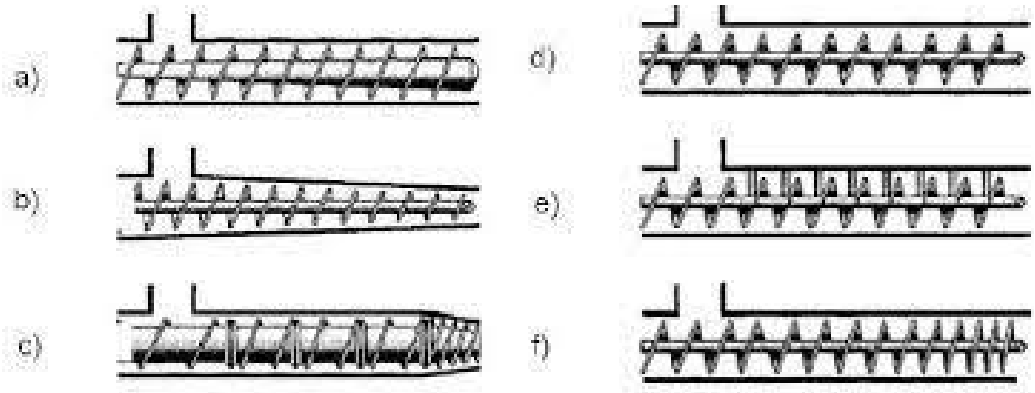
Klipni ekstruder kojeg čine klip i cilindar je najjednostavniji. Materijal se klipom tlači kroz cilindar prilikom čega ne dolazi do smicanja, a svojstva ekstrudata ostaju neizmijenjena u odnosu na početni materijal. Najčešća primjena mu je u proizvodnji kobasica tj. nadijevanje kobasica te kod izrade prženog kukuruznog čipsa za ekstrudiranje kukuruzne mase (Jozinović, 2015.).

Pužni (vijčani) ekstruder može imati jedan ili dva paralelna puža. Dva puža u ekstruderu mogu biti postavljeni paralelno, potpuno ili djelomično isprepleteni i razdvojeni te mogu biti različite konstrukcije. Kod ekstrudera s jednim pužem može biti smanjenje koraka puža ili smanjenje promjera puža ili kućišta i/ili oboje.

Ovisno o dužini pužnice, konstrukciji vijka, dubini žljebova te viskoznosti materijala jednopužni ekstruderi omogućuju postizanje visokih tlakova (Jozinović, 2015.).

Podjela ekstrudera prema izvedbi puža i kućišta prikazna je na **Slici 1**.

a) promjer kućišta konstantan uz povećanje promjera puža;
b) konstantno suženje promjera kućišta i navoja puža, dok je promjer puža konstantan;
c) varijabilni promjer kućišta, suženje razmaka između navoja puža;
d) konstantan promjer kućišta i puža;
e) konstantan promjer kućišta s graničnicima, konstantna geometrija puža;
f) navoj puža se smanjuje prema kraju, konstantan promjer kućišta (Rokey, 2000.).



Slika 1 Konfiguracija puža i kućišta kod jednopužnih ekstrudera (Rokey, 2000.)

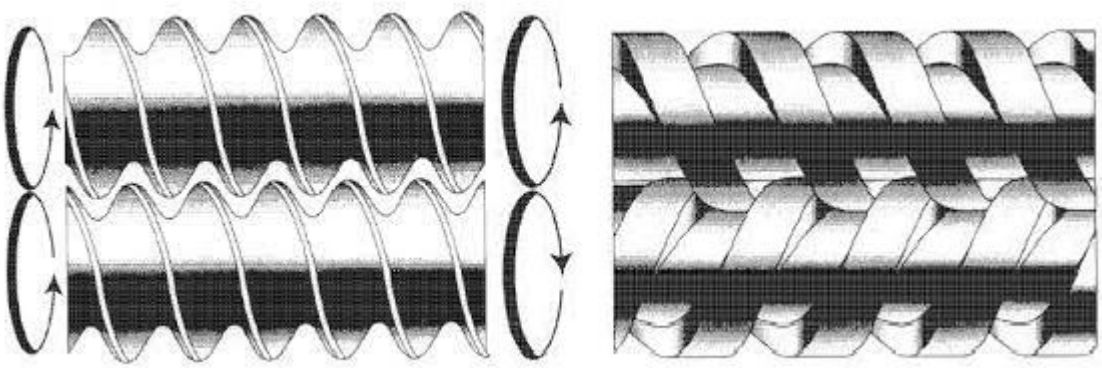
2.2.3. Podjela prema veličini smicanja

Ekstruderi se prema veličini smicanja dijele na:

- nisko-smične ekstrudere (oblikovanje tijesta, keksa, mesnih proizvoda, određenih konditorskih proizvoda i sl.)
- srednje – smične ekstrudere (dobivanje proizvoda mekane konzistencije i s povišenim udjelom vlage)
- visoko-smične ekstrudere (proizvodnja ekspandiranih snack proizvoda) (Jozinović, 2015.).

Uz jednopužne ekstrudere u prehrambenoj industriji se koriste i dvopužni ekstruderi koji se prema smjeru okretaja pužnica dijele na **(Slika 2)**:

- istosmjerni okretaj pužnica
- suprotni smjer okretaja pužnica (Jozinović, 2015.)



Slika 2 Dvopužni ekstruderi sa istosmjernim i kretanjem puževa u suprotnom smjeru (Huber, 2000.)

Pužnice se mogu okretati u istom i suprotnom smjeru, međutim navoji na pužnicama se ne moraju zahvaćati, djelomično se mogu zahvaćati ili potpuno zahvaćati, a geometrija pužnice može biti različita.

Da bi se spriječilo proklizavanje po površini nastalo povećanjem smičnog naprezanja u odnosu na adheziju materijala uz stjenke kućišta, kućište se sa unutrašnje strane ožljebljuje. Uloga žlijebova je da povećaju lijepljenje materijala uz stjenku (Lovrić, 2003.).

Dvopužnom ekstruzijom se najčešće proizvode ekstrudati s povećanim udjelom proteina. Budući da je omogućena različita konfiguracija puževa to omogućava i proizvodnju različitih ekstrudiranih proizvoda (Brnčić i sur., 2008.).

Prednosti dvopužnih ekstrudera su:

- jednostavnije održavanje
- lagano čišćenje samih ekstrudera zbog mogućnosti samočišćenja
- neovisno o veličini čestica može se procesirati velik broj raznih materijala
- moguće je procesiranje vrlo viskoznih, ljepljivih i vlažnih materijala s relativno visokim sadržajem ulja
- pulsiranje materijala na izlazu je manje izraženo (Riaz, 2000.).

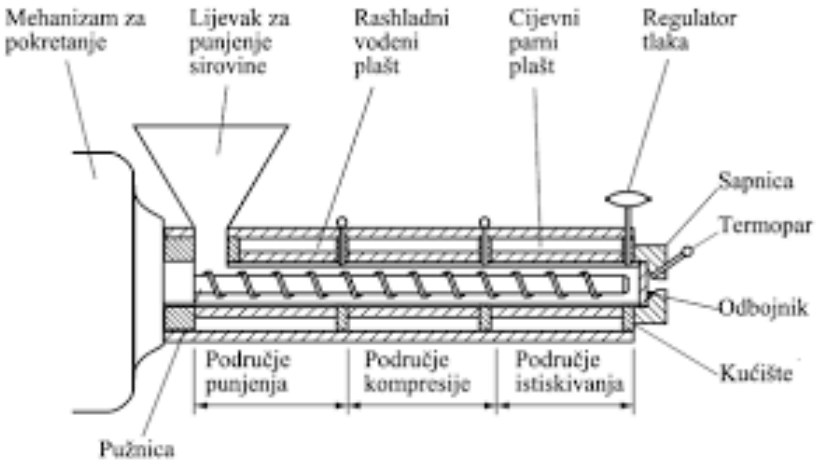
Nedostatci dvopužnih ekstrudera su:

- veća cijena u odnosu na jednopužne
- samo puštanje u rad i instalacija su vrlo složeni
- veća je potrošnja energije

2.3. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Rad ekstrudera se zasniva na tri zone **(Slika 3)**:

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



Slika 3 Presjek jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003.)

Prva faza se odvija kroz zonu uvlačenja odnosno napajanja. Materijal se kroz uređaj za doziranje konstantno dozira, prihvaća i transportira u zonu kompresije. Puž koji se nalazi u ovoj zoni služi za transport materijala, a podešavanjem broja okretaja kontrolira se količina doziranja sirovine.

Druga faza je zona kompresije u kojoj se materijal komprimira, a nastala mehanička energija se pretvara u toplinu. Stvaranjem topline dolazi do porasta temperature, a materijal koji je u početku praškaste strukture poprima plastična svojstva. Zbog porasta temperature i zagrijavanja, dolazi do kuhanja sirovine koja se tako želatinizira i sterilizira.

Treća faza odnosno zona istiskivanja ima za zadatak da prihvati stlačeni materijal, jednolično ga homogenizira te kao takvog istiskuje van kroz sapnicu odgovarajućeg oblika (Jozinović, 2015.).

Tijekom procesa ekstruzije postižu se visoki tlakovi. Tlak doseže svoj maksimum na kraju puža pri samom izlazu kroz sapnicu. Sapnica je izrađena na način da gotovi proizvod oblikuje i suši. Zbog naglog izlaska stlačenog materijala kroz sapnicu događa se ekspanzija proizvoda koji izlazi iz ekstrudera na atmosferski tlak, pri čemu iz materijala naglo isparava voda, dolazi do ekspanzije proizvoda i sušenja materijala (Jozinović, 2015.).

Brzina istjecanja materija kroz sapnicu ovisi o:

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

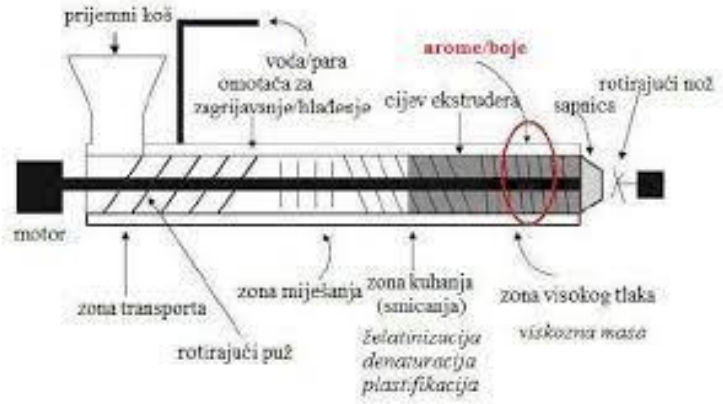
2.4. KEMIJSKE I NUTRITIVNE PROMJENE U HRANI TIJEKOM PROCESA EKSTRUZIJE

Pretvorba mehaničke energije u toplinu uzrokuje povišenje temperature u samom procesu ekstruzije i na taj način dolazi do značajnih promjena u kemijskom i nutritivnom sastavu sirovine. Sastojci koji najčešće podliježu promjenama su škrob, proteini, prehrambena vlakna, lipidi, mineralne tvari, vitamini, toksini itd. (Barišić, 2018.).

Promjene koje se dešavaju su kemijske i fizikalno-kemijske prirode:

- cijepanje
- vezivanje
- gubitak prirodne strukture
- termička razgradnja
- rekombinacija dijelova (Camire, 2000.).

Budući da pri visokim temperaturama dolazi do gubitka ulja, isparavanja vode i hlapivih komponenti, bitno je da hlapive komponente poput vitamina i aroma dodajemo pri samom kraju, neposredno prije sapnice radi što manjih gubitaka **(Slika 4)**.



Slika 4 Shema osnovnih dijelova ekstrudera s mjestom dodatka termolabilnih sastojaka (Jozinović, 2015.)

2.4.1. ŠKROB

Škrob se sastoji od molekula amiloze i amilopektina, a u hrani se nalazi u obliku granula. Miješanjem škroba i vode pri normalnim sobnim temperaturama neće doći do upijanja vode, bubrenja niti otapanja granule, dok se povišenjem temperature dešava želatinizacija, škrobne granule se otapaju uz prisutnost dovoljne količine vode.

Želatinizacijom škroba masa se homogenizira, veća je moć upijanja vode, a aktivnost enzima se povećava. Povećanjem aktivnosti enzima, ubrzava se razgradnja škroba do jednostavnijih ugljikohidrata. Želatinizirani škrob je probavljiviji od sirovog škroba, a nutritivna vrijednost mu se povećava nakon procesa ekstruzije (Riaz, 2007.).

2.4.2. PROTEINI

Najvažnija promjena na proteinima je denaturacija, a uz nju se odvijaju i druge promjene. Brojni enzimi gube svoju funkciju tijekom ekstruzije, smanjuje se topljivost proteina u vodi i razrijeđenim otopinama, isto tako smanjuje se i udio lizina, a probavljivost proteina se poboljšava (Jozinović, 2015.).

Maillardove reakcije su uzrokovane visokom temperaturom i niskom vlažnošću materijala. Niski pH također potiče Maillardove reakcije čime se dešava potamnjivanje uzorka. Reakcijom reducirajućih šećera s aminokiselinom lizinom dolazi do smanjivanja nutritivne vrijednosti proteina.

2.4.3. PREHRAMBENA VLAKNA

Za naš organizam prehrambena vlakna su neprobavljivi dijelovi biljaka koji se sastoje od celuloze, necelulozih polisaharida poput hemiceluloze, pektina, gume te lignina kojeg se ubraja u neugljikohidratnu komponentu (Camire i sur., 1990.).

Prehrambena vlakna se dijele na:

- topljiva prehrambena vlakna (β-glukani, pektini, gume i neke hemicelulozne molekule)
- netopljiva prehrambena vlakna (celuloza, hemiceluloza i lignin)

Prehrambena vlakna imaju pozitivan utjecaj na bakterije u debelom crijevu, te je njihova uporaba u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda uvelike poželjna. Međutim, prevelika količina može sprječavati ekspanziju te je time uporaba vlakana na neki način ograničena.

Procesom ekstruzije dolazi do smanjenja netopljivih prehrambenih vlakana, a povećava se udio topljivih prehrambenih vlakana, što znači da se dio netopljivih vlakana transformira u topljiva vlakna (Camire i sur., 1990.).

2.4.4. LIPIDI

Budući da masti nisu pogodne za ekstruziju, sirovine s udjelom lipida iznad 5 % se ne koriste u procesu ekstruzije. Zbog mogućnosti proklizavanja i ne razvijanja dovoljnog tlaka unutar ekstrudera tijekom ekstruzije rezultat je loša ekspanzija gotovog proizvoda.

Udio masti se smanjuje tijekom ekstruzije. Kod sirovina bogatih mastima dio lipida se može izgubiti na sapnici u obliku slobodnog ulja, a može doći i do stvaranja kompleksa s amilozom i proteinima koji su otporni na tehnike ekstrakcije lipida (Jozinović, 2015.).

Nutritivna vrijednost lipida se u ekstruziji može promijeniti oksidacijom, izomerizacijom ili hidrogenacijom. Enzimska užeglost nije uobičajena pojava kod ekstrudiranih proizvoda, ali može biti posljedica oksidacije i hidrolize čiji su glavni uzročnici slobodne masne kiseline. Senzorska i nutritivna svojstva hrane mogu biti značajno narušena zbog oksidacije. Oksidacija se najčešće ne dešava tijekom ekstruzije, ali tijekom skladištenja može doći do užeglosti (Jozinović, 2015.).

2.4.5. VITAMINI

Vitamini se ubrajaju u hlapive komponente, te se njihov udio tijekom ekstruzije smanjuje. Budući da ekstruzija podrazumijeva primjenu visokih temperatura u kratkom vremenu odnosno HTST postupak gubitak udjela vitamina je znatno manji u odnosu na neke druge metode. Najveći gubitak vitamina je zabilježen kod vitamina topljivih u vodi naročito askorbinske kiseline (vitamin C) (Móscicki, 2011.).

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH SNACK PROIZVODA

Sirovine bogate škrobom i proteinima kao što su kukuruz, pšenica, riža se najčešće koriste u procesu ekstruzije u obliku brašna. Nusproizvodi nekih žitarica poput pira, raži, ječma, zobi se koriste za poboljšavanje nutritivne vrijednosti, okusa i funkcionalnih svojstava gotovih ekstrudiranih proizvoda (Móscicki, 2011.).

Pri odabiru sirovina bitno je obratiti pažnju na:

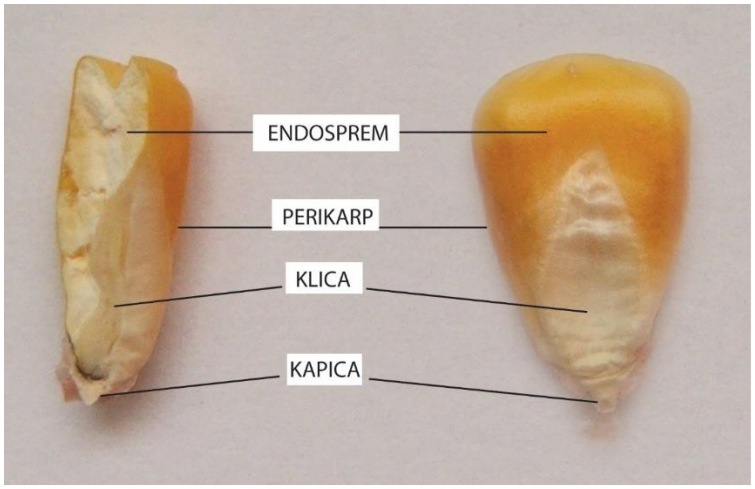
- nutritivnu vrijednost,
- cijenu sirovine,
- dostupnost sirovine (Jozinović, 2011.).

2.5.1. KUKURUZ (*Zea Mays* L.)

Kukuruz je jednogodišnja biljka visoke energetske vrijednosti, te vrlo značajna u prehrambenoj industriji u proizvodnji škroba, škrobnih sirupa, piva, alkohola, kvasca i jestivog ulja. Sami počeci uzgoja kukuruza krenuli su u Sjevernoj Americi, a danas se uzgaja u svim dijelovima svijeta. Međutim ne uspijevaju sve vrste kukuruza na svim dijelovima, sorta kukuruza ovisi o geografskom podnedblju (Jozinović, 2015.).

Kukuruz raste u obliku klipa na kojem se nalaze zrna kukuruza. Zrno kukuruza građeno je od četiri osnovna dijela **(Slika 5)**:

- klica
- endosperm
- perikarp
- kapica (Singh i sur., 2014.).



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Međimurac i Prpić, 2014.)

Najveći dio zrna kukuruza čini endosperm u kojem je omjer staklastog i brašnastog endosperma 65:35 %. Perikarp čini ovojnicu zrna kukuruza sa visokim udjelom vlakana, a kapica se nalazi na donjem dijelu i propušta vodu i plinove u zrno do klice. Klica se koristi u proizvodnji jestivih ulja jer sadrži visok udio masti (Babić, 2016.).

Pri proizvodnji ekstrudiranih proizvoda najčešće korišteni materijal je kukuruz u obliku kukuruzne krupice. Kukuruzna krupica se dobije postupkom suhog mljevenja, od čega se kasnije proizvode različiti snack proizvodi (Móscicki, 2011.).

Postupkom mokrog mljevenja kukuruza proizvodi se škrob čija je kasnija uporaba značajna u proizvodnji glukoznog i fruktoznog sirupa, sorbitola, dekstrina i dr. (Jozinović, 2015.).

2.5.2. PIR

Pir ili kako se još naziva prapšenica znana je kao jedna od najstarijih žitarica na svijetu. Svako zrno na klasu ima svoju ljusku odnosno ovojnicu koja štiti od svih nametnika, što ju zbog toga čini jedinstvenom. Samo mala količina stajskog gnojiva je dovoljna za zaštitu, jer pir ne podnosi nikakva gnojiva, a budući da ima ovojnicu kemijska zaštita mu nije potrebna (Bodroža-Solarov i sur., 2009.).

Pir je poznat po vrlo niskom sadržaju glijadina (jedan od sastojaka glutena) i to ga čini pogodnim za osobe koje su intolerantne na gluten.

Mnoga istraživanja su pokazala pozitivan utjecaj pira na ljudski organizam:

- bogat vlaknima i kompleksnim ugljikohidratima
- visok udio za organizam neophodnih i visokokvalitetnih bjelančevina
- bogat je vitaminima, mineralima, visokokvalitetnim mastima
- ne sadrži toksine ni gljivice iz okoliša (Bodroža-Solarov i sur., 2009.).

Pirove posije ili mekinje **(Slika 6)** su nusproizvod prehrambene industrije dobiveni iz vanjske ljuske zrna pira. Budući da su nusproizvod dobiven iz ljuske bogate su vlaknima, celulozom, vitaminima i mineralima. Imaju pozitivan utjecaj na ljudski organizam jer vlakna djeluju na probavu, crijeva, razinu kolesterola te brzinu metabolizma (Bodroža-Solarov i sur., 2009.).

Slika 6 Pirove posije

3. EKSPRERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj diplomskog rada bio je:

- ispitati mogućnost primjene pirovih posija u proizvodnji ekstrudiranih snack proizvoda na bazi kukuruzne krupice (dodatak pirovih posija je u postotcima 4, 8 i 12 % suhe tvari, zamjes je pripremljen sa 15 % vlage i dodatkom 1 % pektina),
- odrediti parametre: ekspanzijski omjer, nasipna masa, boja, tvrdoća, lomljivost, indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi, udio prehrambenih vlakana te udio oštećenog škroba.

3.2. MATERIJALI

Materijali korišteni u istraživanju su:

- Kukuruzna krupica darovana iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. prikladna za proizvodnju snack proizvoda;
- Pirove posije iz Eko – Jazo d.o.o. Ivanovac (žetva 2019. godine);
- Visokoesterificirani pektin darovan iz tvornice Kandit d.o.o. (GENU® Pectin 150 USA-SAG type D slow set , CP Kelco A Huber Company, SAD).

3.3. METODE

3.3.1. Priprema sirovina i zamjesa za ekstruziju

Kukuruzna krupica, pirove posije i pektin su korišteni u obliku u kojem smo ih dobili iz navedenih tvornica. Pripremljenim sirovinama se zatim odredila vlažnost materijala u uređaju KERN DAB **(Slika 7)**.

Priprema zamjesa je uključivala kukuruznu krupicu kao glavnu sirovinu uz dodatak pirovih posija u postotcima 4, 8 i 12 % suhe tvari i dodatak 1 % pektina. Pektin je dodan s ciljem rješavanja problema smanjene ekspanzije ekstrudata kod primjene sirovina s većim sadržajem prehrambenih vlakana, kakve su pirove posije (Jozinović, 2015.) Zamjesi su pripremljeni u laboratorijskom mikseru uz podešavanje vlažnosti na 15 % dodatkom određene količine demineralizirane vode. Nakon pripreme zamjesa uzorci su prebačeni u vrećice sa zatvaračem te ostavljeni u rashladnoj vitrini preko noći na 4 °C. Nakon odležavanja i ravnomjernog raspoređivanja vlage, uzorci su izvađeni kako bi se temperirali na sobnu temperaturu. Dio uzorka se ostavio u rashladnoj vitrini na čuvanju pri 4 °C radi kasnije analize neekstrudiranih uzoraka (Jozinović, 2015.).

Slika 7 Uređaj za određivanje vlažnosti materijala KERN DAB

3.3.2. EKSTRUZIJA

Pripremljeni zamjesi ekstrudirani su u jednopužnom laboratorijskom ekstruderu 19/20 DN, Brabender GmbH, Duisburg, Njemačka **(Slika 8)**, pri sljedećim uvjetima:

- konfiguracija puža 4:1
- promjer sapnice: 4 mm
- temperaturni profil: 135/170/170 °C (Jozinović, 2015.).

Slika 8 Jednopužni laboratorijski ekstruder 19/20 DN, Brabender GmbH, Duisburg, Njemačka

Ekstrudati dobiveni ekstruzijom osušeni su preko noći na sobnoj temperaturi. Dio ekstrudata se pakirao u vrećice sa zatvaračem za kasnije određivanje fizikalnih i kemijskih svojstava. Preostali dio je samljeven na laboratorijskom mlinu IKA MF10 kroz sito otvora 2 mm te spremljen u vrećice sa zatvaračem u rashladnu komoru na temperaturu od 4 °C radi kasnijih provedbi analiza i određivanja reoloških svojstava.

3.3.3. ODREĐIVANJE FIZIKALNIH SVOJSTAVA

3.3.3.1. Ekspanzijski omjer ekstrudata (EO)

Ekspanzijski omjer na ekspandiranim suhim ekstrudatima mjeri se pomoću pomičnog mjerila na način da se suhim ekstrudatima izmjeri dijametar u milimetrima. Provodi se po pet paralelnih mjerenja za svaki uzorak, zatim se ekspanzijski omjer izračunava na osnovi omjera dijametra ekstrudera i dijametra sapnice **(1)**. Dijametar sapnice je iznosio 4 mm (Brnčić i sur., 2008.).

Rezultati koji se dobiju izraženi su kao srednje vrijednosti uz prikaz standardne devijacije mjerenja i grafički prikaz rezultata. (Jozinović, 2015.).

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

EO – ekspanzijski omjer,

d_e – promjer ekstrudata [mm],

d_s – promjer sapnice [mm].

3.3.3.2. Nasipna masa ekstrudata (BD)

Nasipna masa ekstrudata određuje se prema formuli **(2)**, a provodi se prema metodi Alvarez-Martinez i sur. (1988.).

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

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

m – masa ekstrudata [g],

d – promjer ekstrudata [cm],

L – dužina ekstrudata [cm] (Jozinović, 2015.).

3.3.3.3. Tekstura ekstrudata (tvrdoća i lomljivost)

Pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, Velika Britanija **(Slika 9)**, određena je tekstura primjenom metode za mjerenje tvrdoće (N) i lomljivosti (mm) štapića (ekstrudata) presjecanjem pomoću noža. Tvrdoća se definira kao maksimalna sila potrebna da se štapić prelomi na dva dijela. Lomljivost se određuje u trenutku loma, a predstavlja otpor štapića prema savijanju. Kad uzorak puca pri maloj udaljenosti, vrijednost lomljivosti mu je veća. Mjerenje je provedeno na deset uzoraka (ekstrudata) odnosno deset paralelnih mjerenja, a rezultati su izraženi kao srednja vrijednost, standardna devijacija i prikazani su grafički (Jozinović, 2015.).

Slika 9 Analizator teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, Velika Britanija

Ekstrudati su za potrebe mjerenja bili veličine oko 3 cm i podvrgnuti su sljedećem testu:

- brzina prije mjerenja: 1,0 mms^{-1}
- brzina za vrijeme mjerenja : 1,0 mms^{-1}
- brzina nakon mjerenja: 10 mms^{-1}
- put noža: 3 mm (Jozinović, 2015.).

3.3.3.4. Boja zamjesa i ekstrudata

Boja se određivala na neekstrudiranim i ekstrudiranim uzorcima. Za tu potrebu koristio se kromametar Konica Minolta CR-400 s nastavkom za praškaste materijale **(Slika 10)**. Prije samog mjerenja boje u sustavu CIELab kromametar se morao kalibrirati pomoću kalibracijske pločice (Jozinović, 2015.).

Za svaki je uzorak u sustavu CIEL*a*b* provedeno pet mjerenja, određena je srednja vrijednost te standardna devijacija, a rezultati su prikazani u tablici. Ukupna promjena boje računala se prema formuli **(3)**:

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

pri čemu parametri sa indeksom „0“ predstavljaju vrijednosti dobivene za boju kontrolnog neekstrudiranog uzorka kukuruzne krupice (Jozinović, 2015.).

L* – svjetlina

a* – ako su dobivene vrijednosti pozitivne u domeni su crvene boje, ako su negativne u domeni su zelene boje

b* – ako su dobivene vrijednosti pozitivne u domeni su žute boje, ako su negativne u domeni su plave boje (Barišić, 2018.).

Slika 10 Kromametar Konica Minolta CR-400 s nastavkom za praškaste materijale

3.3.3.5. Indeks apsorpcije vode (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI)

Indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi određuju se prema metodi za žitarice (Anderson i sur., 1969.).

U tariranu kivetu volumena 50 mL određenu za centrifugiranje odvaže se 2,5 samljevenog uzorka, doda se 30 mL destilirane vode tako da se ujedno ispiru stjenke kivete. Pripremljeni uzorci se ostavljaju 30 min da odstoje uz povremeno miješanje svakih 5 minuta (Jozinović, 2015.).

Uzorci se prebacuju u centrifugu te centrifugiraju pri 3000 okretaja min^{-1} sljedećih 15 minuta. Supernatant dobiven nakon centrifugiranja dekantira se u prethodno pripremljene (osušene i izvagane) posudice za sušenje. Slijedi sušenje na 105 °C do konstantne mase (Jozinović, 2015.).

Indeks apsorpcije vode **(WAI)** je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici suhe tvari početnog uzorka. Računa se prema formuli **(4)** (Jozinović, 2015.):

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

Indeks topljivosti u vodi **(WSI)** predstavlja masu suhe tvari u supernatantu, izraženu kao postotak suhe tvari u početnom uzorku, a računa se prema formuli **(5)** (Jozinović, 2015.):

$$WSI[\%] = \frac{masa\ suhe\ tvari\ u\ supernatantu}{masa\ suhe\ tvari\ u\ početnom\ uzorku} \times 100 \qquad \textbf{(5)}$$

3.3.4. ODREĐIVANJE KEMIJSKIH SVOJSTAVA

3.3.4.1. Određivanje ukupnih, topljivih i netopljivih vlakana (AOAC 991.43)

Primjenom termostabilnih α-amilaza, proteaza i amiloglukozidaza odvija se enzimska hidroliza. Završetkom enzimske hidrolize slijedi filtracija, a udio netopljivih vlakana se određuje

gravimetrijski. Taloženjem iz filtrata nakon dodatka četverostrukog volumena etanola izdvajaju se topljiva vlakna, a nakon filtracije kvantificiraju se gravimetrijski (Jozinović, 2015.).

Enzimska hidroliza

Prije samog postupka, neekstrudirani i ekstrudirani uzorci samljeveni su na laboratorijskom mlinu IKA MF10 primjenom sita sa otvorima 1 mm. U visoke čaše volumena 400 mL odvaže se 1 ± 0,005 g uzorka, doda se 40 mL MES-TRIS puferske otopine (pH 8,2) te se na magnetskoj miješalici uzorci homogeniziraju miješanjem. Tijekom trajanja miješanja na maloj brzini doda se 50 µL otopine termostabilne α-amilaze. Zatim se čaše prekriju aluminijskom folijom, prenesu u kupelj sa tresilicom zagrijanu na 98 – 100 °C te se uz kontinuirano miješanje 30 min uzorci inkubiraju. Nakon što se uzorci izvade iz kupelji, hlade se na 60 °C. Aluminijska folija se ukloni, zatim se pomoću gumene špatule sastružu sve čestice i gel sa stjenki čaše u otopinu. Završetkom struganja stjenke čaše i gumena špatula se isperu sa 10 mL vode uz pomoć pipete. Dio vruće vode se ukloni iz kupelji te se dodatkom hladne vode temperatura kupelji podesi na 60 °C. U svaki uzorak se doda 100 µL otopine protaze, aluminijskom folijom se prekriju čaše i stavljaju na inkubiranje u kupelj s tresilicom sljedećih 30 minuta. Nakon isteka 30 minuta uzorci se vade, uklanja se aluminijska folija i doda 5 mL otopine 0,561 M HCl-a uz miješanje na magnetskoj miješalici. pH otopine se treba se podesiti na vrijednost 4,1 – 4,8, dodatkom 5 %-tnog HCl ili 5 %-tnog NaOH. U otopine se zatim doda 200 µL otopine amiloglukozidaze uz miješanje na magnetskoj miješalici. Čaše se prekriju aluminijskom folijom, inkubiraju u kupelji s tresilicom na 60 °C tijekom 30 minuta (Jozinović, 2015.).

Određivanje netopljivih vlakana (NV)

Nakon uzastopnih enzimskih hidroliza sadržaj čaša filtrira se pomoću vakuuma kroz sinterirane lončiče s Celitom (prethodno oprani, ižareni i ohlađeni lončići u koje je dodano oko 1 g Celita te tako osušeni i izvagani na analitičkoj vagi). Važno je kvanitativno prenijeti sav sadržaj čaše na sinterirani lončič jer sav talog na sinter lončićima predstavlja NV. To se radi ispiranjem čaša dva puta sa po 10 mL zagrijane vode na 70 °C. Tako dobiveni filtrat prebacuje se u menzuru uz ispiranje vakuum boce s vodom, uz podešavanje volumena na 80 mL, prebaci se u visoke čaše

volumena 600 mL i sačuva za određivanje topljivih vlakana. Ostatak na lončiću se ispere po dva puta s 10 mL 95 %-tnog etanola i acetona. Lončići s talogom se prekrivaju aluminijskom folijom i ostavljaju na sušenju pri 103 °C preko noći, hlade u eksikatoru 1 h i važu na analitičkoj vagi (Jozinović, 2015.).

Određivanje topljivih vlakana (TV)

U čaše od 600 mL u kojima je sakupljeni filtrat doda se četverostruki volumen (320 mL, volumen izmjeren na sobnoj temperaturi) 95 %-tnog etanola zagrijanog na 60 °C i dobro promiješa. Uzorci se ostave na sobnoj temperaturi sljedećih 60 minuta, zatim se istaložena TV filtriraju pomoću vakuuma na sinter lončićima uz pomoćno filtracijsko sredstvo (kao kod netopljivih vlakana). Ispiranjem čaše sa 78 %-tnim etanolom sadržaj iz čaše kvantitativno je prenesen u lončić. Ostatak na lončiću ispere se po dva puta sa 15 mL: 78 %-tnog etanola, 95 %-tnog etanola i acetona. Lončići se prekriju aluminijskom folijom i suše na 103 °C preko noći, hlade u eksikatoru 1 h i važu na analitičkoj vagi (Jozinović, 2015.).

Uz svaku analizu provodi se i analiza dvije slijepe probe radi mjerenja utjecaja reagensa na krajnji dobiveni rezultat.

Korekcijske analize za udjele pepela i proteina u ostatcima analize NV i TV provode se radi dobivanja što točnijih i preciznijih rezultata. Jedna paralela za određivanje proteina, a druga za određivanje pepela. Tijekom analize proteina, talog se kvantitativno izdvaja zajedno s Celitom sa lončića, a udio proteina se određuje metodom po Kjeldahl-u uporabom faktora korekcije 6,25 za izračun mase proteina. Za analizu pepela talog se mineralizira u sinter lončićima na 525 °C tijekom 5 h, hladi se u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi (Jozinović, 2015.).

Masa TV i NV određuje se nakon sušenja pri 103 °C iz razlike konstante mase lončića s talogom i opranog i ižarenog lončića s pomoćnim filtracijskim sredstvom, a udio se računa prema formuli **(6):**

$$NV(TV)[\%] = \frac{\frac{R_1+R_2}{2} - p - A - B}{\frac{m_1+m_2}{2}} \times 100 \qquad \textbf{(6)}$$

Udio ukupnih prehrambenih vlakana (UV) je zbroj korigiranih vrijednosti za topljiva i netopljiva vlakna **(7):**

$$UV\ [\%] = NV + TV \qquad \textbf{(7)}$$

gdje je: R_1 i R_2 – masa ostatka (vlakana) iz uzorka m_1 i m_2 [g];

m_1 i m_2 – masa početnog uzorka za analizu [g];

p – masa proteina iz ostatka R_1 [g];

A – masa pepela iz ostatka R_2 [g];

B – slijepa proba **(8)** [g].

$$B = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - BP - BA \qquad \textbf{(8)}$$

gdje je: *BR* – masa ostatka slijepe probe [g];

BP – masa proteina iz BR_1 [g];

BA – masa pepela iz BR_2 [g] (Jozinović,2015.).

3.3.4.4. Određivanje stupnja oštećenosti škroba (AACC 76-31.01)

Stupanj oštećenosti škroba – postotak škroba podložan enzimskoj hidrolizi. Pomoću fungalne α-amilaze se odvija hidratacija i hidroliza oštećenih škrobnih granula kroz 10 min pri 40 °C. Kao produkti dobiju se maltooligosaharidi i α-granični dekstrini.

Enzimska hidroliza se prekida dodatkom razrijeđene sulfatne kiseline nakon 10 minuta. Postupak omogućuje potpunu razgradnju oštećenih granula, dok je na neoštećene granule minimalno djelovanje. Uzorak se centrifugira, a alikvot supernatanta se tretira pročišćenom AMG. Intenzitet se određuje spektrofotometrijski budući da glukoza u reakciji sa GOPOD reagensom stvara obojenje (Jozinović, 2015.).

Stupanj oštećenosti škroba računa se prema formuli **(9):**

$$DS[\%] = \Delta E \times F \times 60 \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} = \Delta E \times F \times 5{,}4 \quad \textbf{(9)}$$

gdje je: DS – stupanj oštećenosti škroba [%]

ΔE – razlika apsorbance uzorka i apsorbance slijepe probe

F – konverzija apsorbance u µg

60 – korekcija volumena (0,1 mL uzet iz 6,0 mL)

1/1000 – konverzija µg u mg

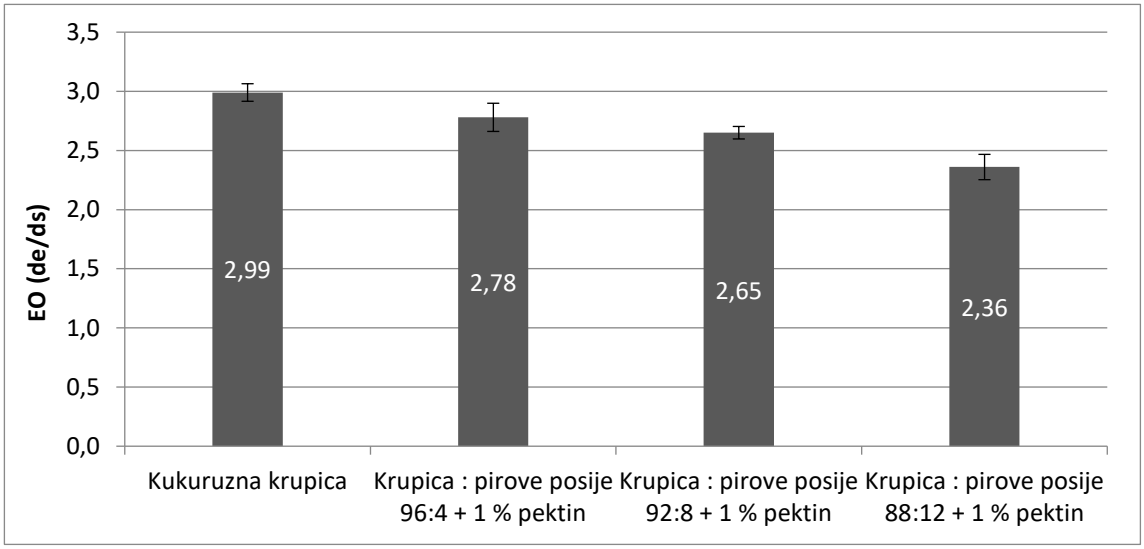
100/W – faktor za izražavanje DS-a kao postotak od uzorka (W-masa uzorka[mg])

162/180 – faktor koji pretvara slobodnu glukozu, koja se detektira, u bezvodnu glukozu koja se nalazi u škrobu (Jozinović, 2015.).

4. REZULTATI

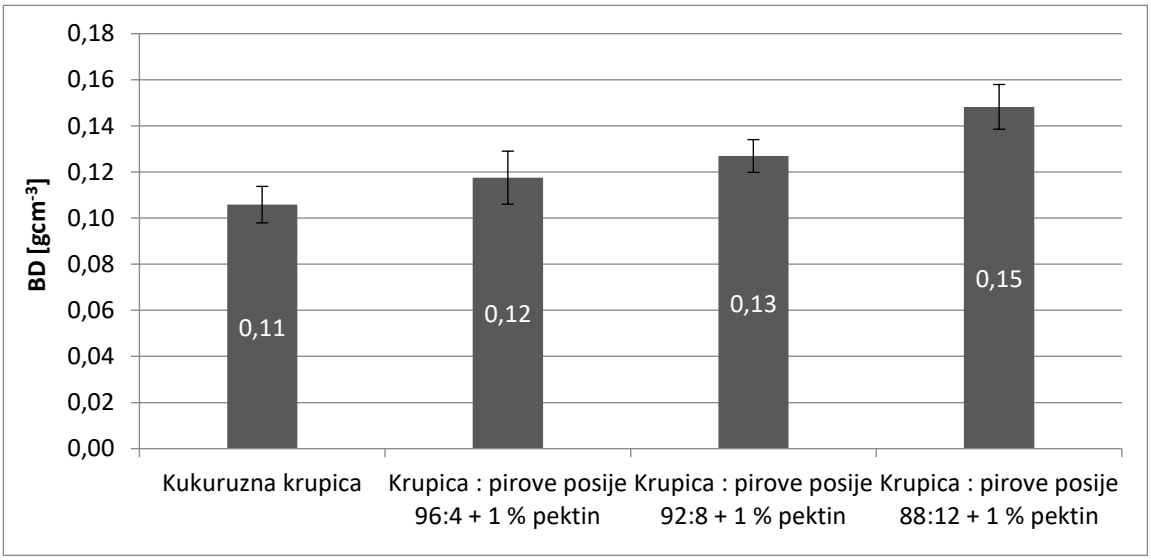
4.1. FIZIKALNA SVOJSTVA

4.1.1. EKSPANZIJSKI OMJER EKSTRUDATA (EO)



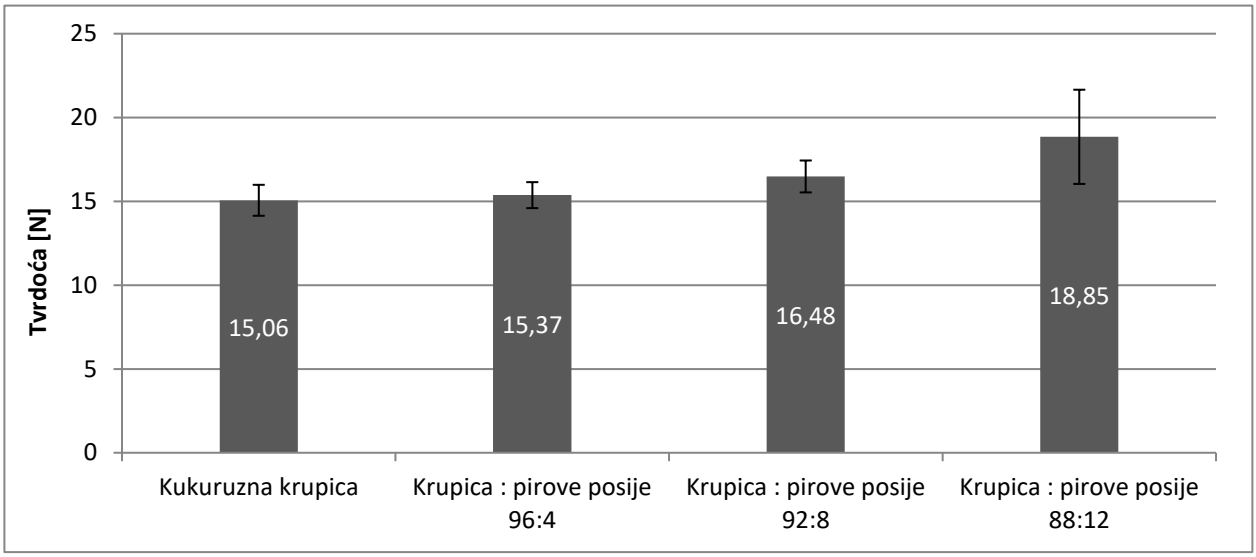
Slika 11 Utjecaj dodatka pirovih posija na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata

4.1.2. NASIPNA MASA EKSTRUDATA (BD)

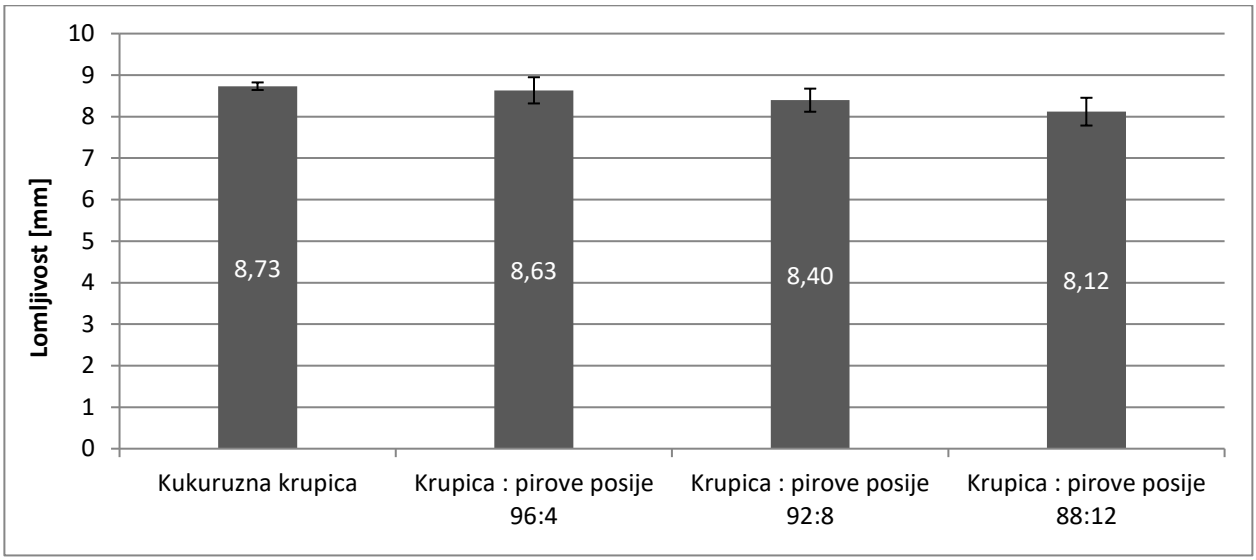


Slika 12 Utjecaj dodatka pirovih posija na nasipnu masu ekstrudata (BD)

4.1.3. TEKSTURA EKSTRUDATA (TVRDOĆA I LOMLJIVOST)



Slika 13 Utjecaj dodatka pirovih posija na tvrdoću kukuruznih ekstrudata



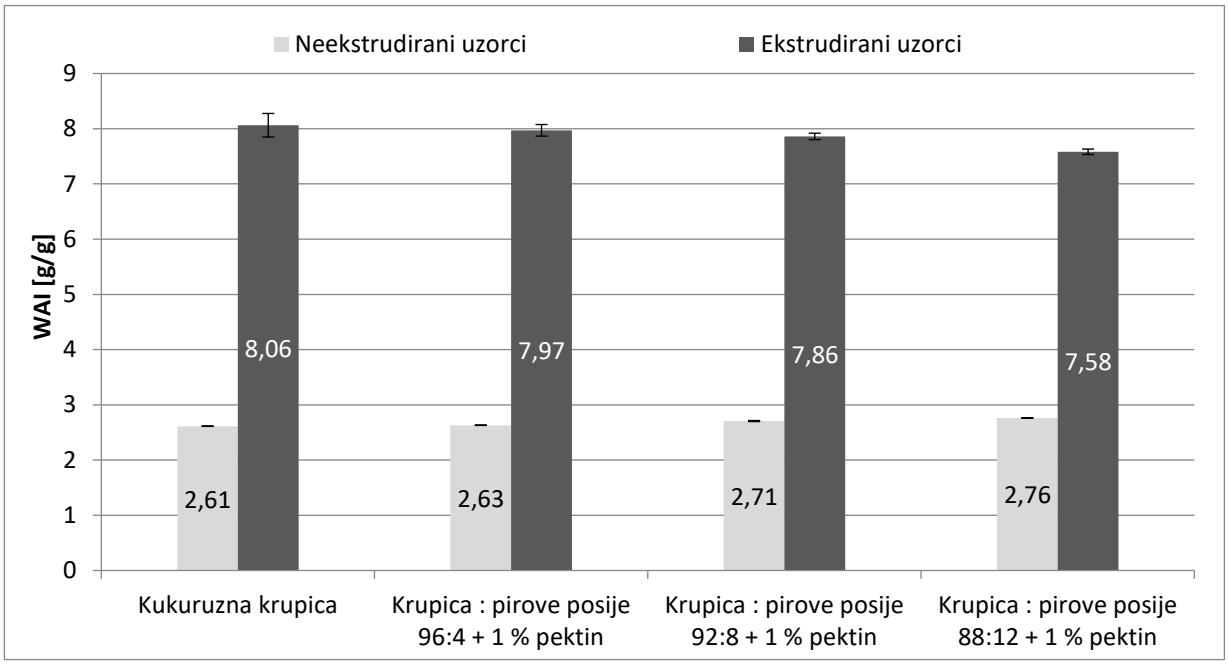
Slika 14 Utjecaj dodatka pirovih posija na lomljivost kukuruznih ekstrudata

4.1.4. BOJA ZAMJESA I EKSTRUDATA

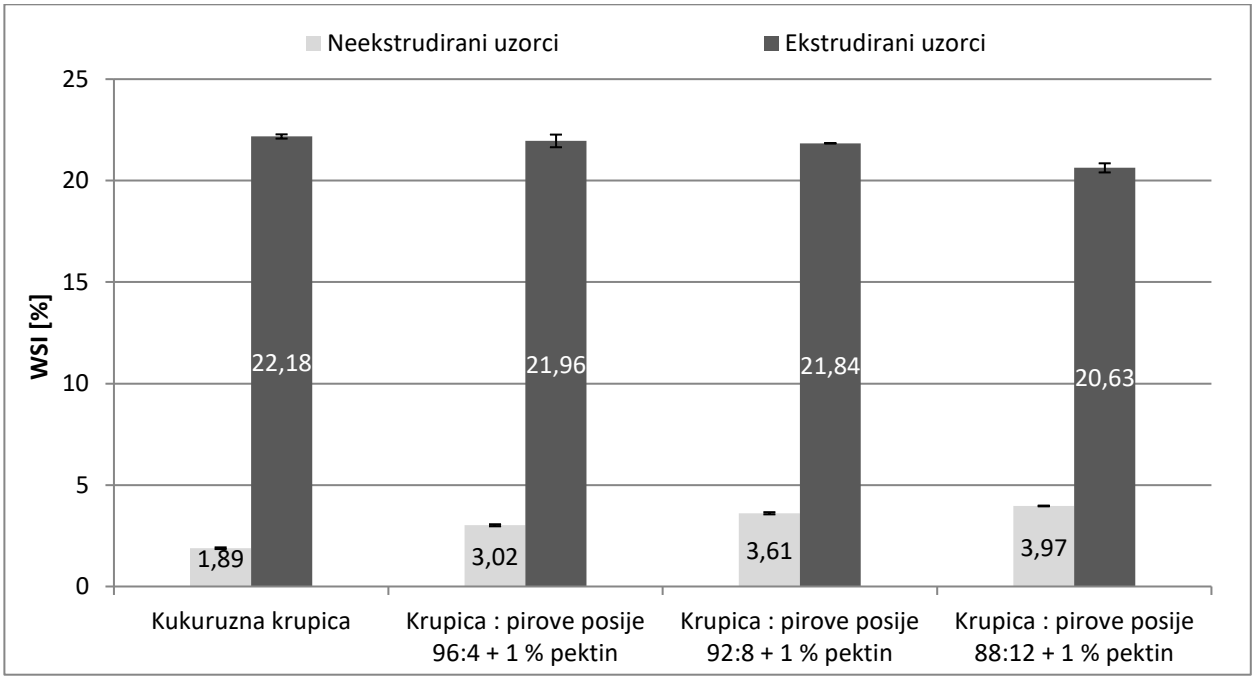
Tablica 1 Utjecaj dodatka pirovih posija u kukuruznu krupicu te postupka ekstruzije na promjenu boje

Uzorak	NEEKSTRUDIRANI			
	L*	a*	b*	ΔE
Kukuruzna krupica	80,64 ± 0,02	1,00 ± 0,06	47,22 ± 0,04	
Krupica : pirove posije 96:4 + 1 % pektin	77,13 ± 0,04	1,35 ± 0,04	43,82 ± 0,15	4,89
Krupica : pirove posije 92:8 + 1 % pektin	76,39 ± 0,03	1,60 ± 0,02	37,64 ± 0,15	10,49
Krupica : pirove posije 88:12 + 1 % pektin	75,19 ± 0,02	1,71 ± 0,05	35,74 ± 0,02	12,72
Uzorak	EKSTRUDIRANI			
	L*	a*	b*	ΔE
Kukuruzna krupica	82,49 ± 0,02	-2,53 ± 0,06	45,13 ± 0,02	4,51
Krupica : pirove posije 96:4 + 1 % pektin	79,41 ± 0,01	-2,35 ± 0,03	41,14 ± 0,02	7,05
Krupica : pirove posije 92:8 + 1 % pektin	77,71 ± 0,03	-2,01 ± 0,02	36,30 ± 0,03	11,70
Krupica : pirove posije 88:12 + 1 % pektin	76,05 ± 0,09	-1,25 ± 0,04	34,78 ± 0,08	13,45

4.1.5. INDEKS APSORPCIJE (WAI) I INDEKS TOPLJIVOSTI U VODI (WSI)



Slika 15 Utjecaj dodatka pirovih posija te postupka ekstruzije na indeks apsorpcije vode kukuruznih zamjesa i ekstrudata



Slika 16 Utjecaj dodatka pirovih posija te postupka ekstruzije na indeks topljivosti u vodi kukuruznih zamjesa i ekstrudata

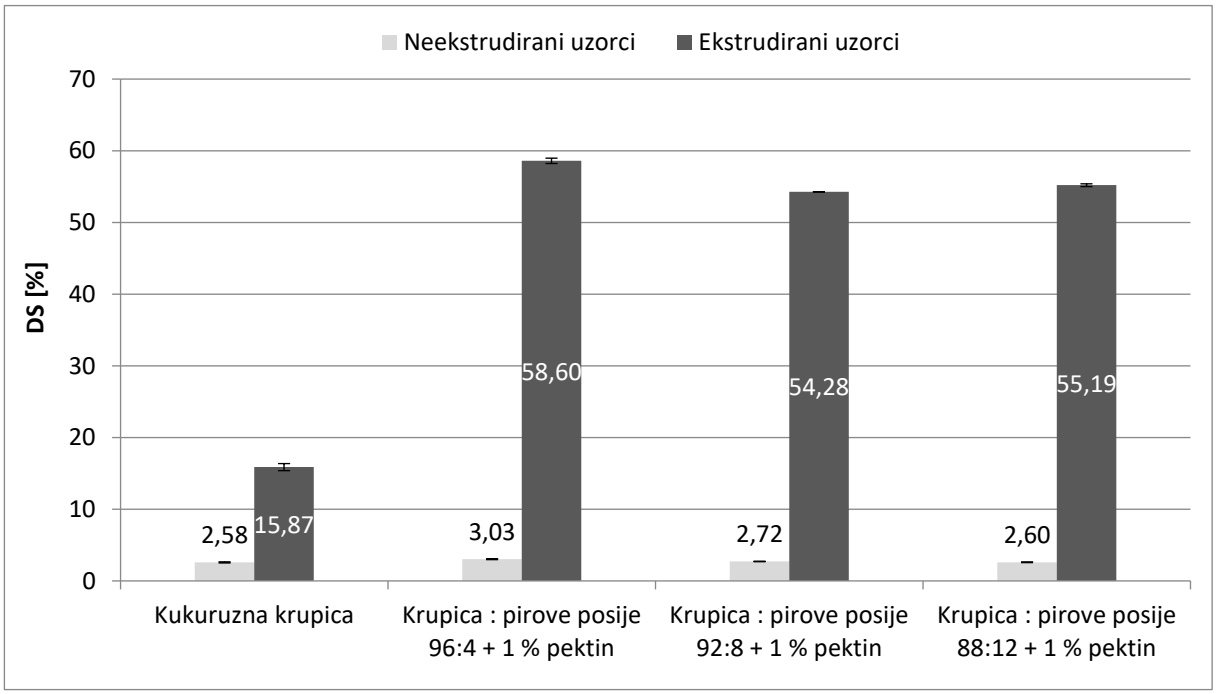
4.2. KEMIJSKA SVOJSTVA

4.2.1. ODREĐIVANJE UKUPNIH, TOPLJIVIH I NETOPLJIVIH VLAKANA

Tablica 2 Udio netopljivih, topljivih i ukupnih prehrambenih vlakna u zamjesima i ekstrudiranim uzorcima s dodatkom pirovih posija

Uzorak	NEEKSTRUDIRANI		
	NV [% s. tv.]	TV [% s. tv.]	UV [% s. tv.]
Kukuruzna krupica	4,31 ± 0,20	0,54 ± 0,01	4,85 ± 0,19
Krupica : pirove posije 96:4 + 1 % pektin	6,19 ± 0,07	1,00 ± 0,01	7,19 ± 0,06
Krupica : pirove posije 92:8 + 1 % pektin	6,53 ± 0,06	1,36 ± 0,04	7,89 ± 0,02
Krupica : pirove posije 88:12 + 1 % pektin	7,54 ± 0,42	1,82 ± 0,03	9,36 ± 0,39
Uzorak	EKSTRUDIRANI		
	NV [% s. tv.]	TV [% s. tv.]	UV [% s. tv.]
Kukuruzna krupica	2,11 ± 0,12	0,57 ± 0,05	2,68 ± 0,18
Krupica : pirove posije 96:4 + 1 % pektin	3,27 ± 0,29	1,18 ± 0,04	4,45 ± 0,33
Krupica : pirove posije 92:8 + 1 % pektin	4,28 ± 0,15	1,49 ± 0,12	5,77 ± 0,04
Krupica : pirove posije 88:12 + 1 % pektin	5,48 ± 0,07	1,91 ± 0,02	7,38 ± 0,08

4.2.2. STUPANJ OŠTEĆENOSTI ŠKROBA (DS)



Slika 17 Utjecaj dodatka pirovih posija te procesa ekstruzija na stupanj oštećenosti granula škroba kod kukuruznih zamjesa i ekstrudata

5. RASPRAVA

Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi primjenu pirovih posija u proizvodnji kukuruznih ekstrudata odnosno snack proizvoda.

5.1. FIZIKALNA SVOJSTVA

Na **Slici 11** prikazan je utjecaj dodatka pirovih posija i pektina na ekspanzijski omjer kukuruznih ekstrudata. Iz priloženih rezultata može se vidjeti kako veći postotak dodatka pirovih posija značajno utječe na smanjenje ekspanzijskog omjera. Ekspanzijski omjer se proporcionalno smanjuje povećanjem dodatka pirovih posija. Prema istraživanjima Stojceska i sur. (2008.; 2010.) navedeno je kako dodatak sirovina sa povećanim udjelom vlakana utječe na razaranje stanica i smanjenu mogućnost ekspanzije mjehurića zraka, što direktno utječe na ekspanzijski omjer. Abu-hardan i sur. (2011) su zaključili kako prehrambena vlakna snažnije vežu vodu, to je razlog smanjenja vode pri izlazu proizvoda kroz sapnicu, a utjecaj na ekspanzijski omjer je direktan. Rezultati dobiveni u diplomskom radu su u skladu sa rezultatima prijašnjih istraživanja.

Rezultati za nasipnu masu prikazani su na **Slici 12**. Dodatak pirovih posija utjecao je na nasipnu masu na način da povećanjem dodatka pirovih posija nasipna masa se proporcionalno povećava. Ekspanzijski omjer i nasipna masa su obrnuto proporcionalni, kod većeg postotka pirovih posija ekspanzijski omjer ima najniže vrijednosti, ali zato nasipna masa ima najviše vrijednosti. Ovu tezu potvrđuju Lazou i Krokida (2010a.; 2010b.) u svojem istraživanju gdje navode da su dodatkom brašna leće dobili veće vrijednosti za nasipnu masu. Stojceska i sur. (2008) u svojem su radu utvrdili da dodatak pivskog tropa utječe na smanjenje ekspanzijskog omjera i povećanje nasipne mase, što je također u skladu sa rezultatima ovog istraživanja.

Pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System određeni su parametri tvrdoća i lomljivost, a dobiveni rezultati su prikazani na **Slikama 13** i **14**. Povećanjem dodatka pirovih posija proporcionalno se povećava tvrdoća, a lomljivost se smanjuje. U svojem su radu Brnčić i sur. (2009.) istraživali utjecaj dodatka pšenice na ekstrudirane proizvode te su zaključili da se

dodatkom pšenice tvrdoća ekstrudata povećava, a lomljivost smanjuje. Međutim smatra se da na tvrdoću utječu i čimbenici poput vlažnosti zamjesa, temperature ekstruzije, sastava smjese, karakteristike i brzine puža (Ding i sur., 2005.; 2006.; Veronica i sur., 2006.; Saelaw i sur., 2012.; Stojceska i sur., 2008.; De Mesa i sur., 2009.; Meng i sur., 2010.).

Iz prikaza rezultata u **Tablici 1** za boju ekstrudiranih i neekstrudiranih proizvoda koji su određeni kromametrom u sustavu CIEL*a*b*, može se zaključiti značajna razlika boje između ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka. Budući da se vrijednosti parametra L* smanjuju povećanjem dodatka pirovih posija i kod ekstrudiranih i neekstrudiranih smjesa, može se zaključiti da je došlo do potamnjivanja uzoraka. Veći dodatak pirovih posija dovodi do jačeg potamnjivanja uzorka. Prema podacima za parametar a* kod neekstrudiranih proizvoda vidi se da su podaci u pozitivnom dijelu i blago se povećavaju dodatkom većeg udjela pirovih posija, što pokazuje da su u domeni crvene boje. Kod ekstrudiranih smjesa vrijednosti parametra a* bile su negativne kod svih uzoraka i blago su se smanjivale, što pokazuje da su bili u domeni zelene boje. Vrijednosti parametra b* koji se i kod neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka smanjuju kako se povećava dodatak pirovih posija, pokazuju da su u domeni žute boje jer su vrijednosti parametara i dalje ostale u pozitivnom dijelu. Budući da je vrijednost parametra ΔE kod većine uzoraka sa dodatkom pirovih posija bila veća od 6, vidljiva je značajna promjena boje. U brojnim istraživanjima kao najveći utjecaj na promjenu boje spominje se utjecaj Maillardovih reakcija (Ilo i sur., 1999.; Ilo i Berghofer, 1999.; Sacchetti i sur., 2004.; Wang i Ryu, 2013.).

WAI predstavlja sposobnost škroba za upijanje vode, a WSI predstavlja mjeru potpune narušenosti strukture granula škroba (Zhu i sur., 2010.). Iz rezultata prikazanih na **Slikama 15** i **16** za WAI i WSI, može se zaključiti kako kod neekstrudiranih proizvoda većim dodatkom pirovih posija dolazi do blagog povećanja WAI i WSI. Isto tako, vidi se kako je proces ekstruzije imao značajan utjecaj na porast WAI i WSI kod ekstrudiranih proizvoda, ali povećanjem dodatka pirovih posija dolazi do blagog smanjenja WAI i WSI kod ekstrudiranih proizvoda. Rezultati povećanja WAI i WSI mogli bi se povezati sa većim

stupnjem oštećenosti granula škroba nakon procesa ekstruzije. Jozinović i sur. (2012a., 2012b.) su isto tako u prethodnim istraživanjima ustvrdili povećanje WAI i WSI nakon provedenog procesa ekstruzije, što je u skladu sa rezultatima ovog diplomskog rada.

5.2. KEMIJSKA SVOJSTVA

Prema **Tablici 2** može se zaključiti kako je i kod neekstrudiranih i ekstrudiranih proizvoda došlo do povećanja udjela NV, TV i UV kako se povećavao dodatak pirovih posija. Ekstruzija je imala utjecaj na prehrambena vlakna na način da je došlo do smanjenja početne vrijednosti prehrambenih vlakana kod same kukuruzne krupice, a daljnjim povećanjem dodatka pirovih posija, udio NV i UV se povećavao isto kao i TV, ali kod topljivih vlakana sama početna vrijednost kod ekstrudiranih proizvoda je bila veća nego kod neekstrudiranih proizvoda. U svojem su radu Stojceska i Ainsworth (2008.) zaključili kako se dodatkom pivskog tropa udio vlakana u proizvodnji kruha od pšeničnog brašna povećao, što je u skladu sa rezultatima ovog diplomskog rada.

Rezultati za stupanj oštećenja granula škroba prikazani su na **Slici 17.** Proces ekstruzije je imao značajan utjecaj na povećanje stupnja oštećenosti granula. Na slici se jasno vidi kako je udio oštećenih granula škroba kod neekstrudiranih uzoraka značajno niži u usporedbi sa ekstrudiranim uzorcima. Dodatak pirovih posija u određenim postotcima nije imao značajan utjecaj na DS, ali je vidljivo kako se povećanjem dodatka pirovih posija DS u ekstrudiranim uzorcima smanjuje. Jozinović i sur. (2012b.) u svojem su istraživanju utvrdili kako na DS utječe vlažnost materijala odnosno pri nižoj vlažnosti postiže se veća ekspanzija što dovodi do većeg stupnja oštećenja škrobnih granula. Dobiveni rezultati u ovom diplomskom radu su u skladu sa rezultatima dosadašnjih istraživanja.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovi rezultata i rasprave izvedeni su sljedeći zaključci:

- Dodatkom pirovih posija u zamjes sa kukuruznom krupicom došlo je do smanjenja ekspanzijskog omjera. Postepenim povećanjem dodatka pirovih posija ekspanzijski omjer se proporcionalno smanjivao.
- Nasipna masa se povećavala povećanjem dodatka pirovih posija.
- Ekspanzijski omjer i nasipna masa su obrnuto proporcionalne veličine.
- Veća tvrdoća i manja lomljivost zabilježene su kod bolje ekspandiranih uzoraka. Problem tvrdoće riješen je dodatkom 1 % pektina.
- Postupnim povećanjem dodatka pirovih posija tvrdoća se povećala, a lomljivost se smanjila.
- Dodatak pirovih posija utjecao je na promjenu boje gotovih ekstrudiranih proizvoda, pri čemu se najveća promjena vidjela na ekstrudatima s najvećim udjelom pirovih posija.
- Ekstruzija je značajno utjecala na indeks apsorpcije i indeks topljivosti u vodi. Vidljivo je da je povećanje bilo značajno izraženo u odnosu na neekstrudirane proizvode. Bolje ekstrudirani uzorci imali su veće vrijednosti WAI i WSI.
- Udio prehrambenih vlakana se proporcionalno povećavao dodatkom pirovih posija. Nakon ekstruzije sama početna vrijednost je bila manja u odnosu na neekstrudirane proizvode, ali su se u uzorcima s dodatkom pirovih posija vrijednosti proporcionalno povećavale.
- Dodatkom pirovih posija DS se nije značajno mijenjao, ali nakon procesa ekstruzije došlo je do značajne promjene, odnosno do povećanja stupnja oštećenosti granula škroba u svim uzorcima.

7. LITERATURA

Abu-hardan M, Hill SE, Farhat I: Starch conversion and expansion behaviour of wheat starch cooked with either; palm, soybean or sunflower oils in a co-rotating intermeshing twin-screw extruder. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(2):268-274, 2011.

Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Karper JM: A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53:609–615, 1988.

Anderson RA, Conway HFM, Pfeiffer VF, Griffin EJ: Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14:4–12, 1969.

Barišić V: Fizikalna svojstva i udio ergot alkaloida u kukuruznim snack proizvodima s dodatkom raženih posija. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2018.

Babić J: Materijali s predavanja na kolegiju „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“. Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2016.

Bodroža-Solarov M, Mastilović J, Filipčev B, Šimurina O: Triticum aestivum spp. Spelta – The potential for the organic wheat production, 2009.

Brnčić M, Ježek D, Rimac Brnčić S, Bosiljkov T, Tripalo B: Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva izravno ekspandiranog kukuruznog ekstrudata. *Mljekarstvo*, 58(2):131-149, 2008.

Brnčić M, Tripalo B, Brnčić Rimac S, Karlović S, Župan A, Herceg Z: Evaluation of textural properties for whey enriched direct extruded and puffed corn based products. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(3):204-214, 2009.

Camire ME, Camire AL, Krumhar K: Chemical and nutritional changes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29:35-57, 1990.

Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 127-148, 2000.

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.

Ding Q, Ainsworth P, Plukett A, Tucker G, Marson H: The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of food Engineering*, 73(2):142–148, 2006.

Ding QB, Ainsworth P, Tucker G, Marson H: The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66:283–289, 2005.

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

Ilo S, Berghofer E: Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 39: 73-80, 1999.

Ilo S, Liu Y, Berghof E: Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. *Lebensm.- Wiss. u. Technol.*, 32: 79-88, 1999.

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

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.

Lazou A, Krokida M: Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43: 609–616, 2010.a.

Lazou A, Krokida M: Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100: 392–408, 2010.b

Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva (Lovrić T, ur.). Hinus, Zagreb, 287-299, 2003.

Međimurec, T., Prpić I.: Kako izbjeći gubitke prinosa i kakvoće kukuruza prilikom berbe, 2014. http://www.trgostil.hr/berba-kukuruza (28.10.2014.)

Meng X, Threinen D, Hansen M, Driedger D: Effects of extrusion conditions on syste parameters and physical properties of a chickpea flour – based snack. *Food Research International*, 43:650–658, 2010.

Móscicki L, Wójtowicz A: Raw Materials in the Production of Extrudates. U *Extrusion Cooking Techniques*: Applications, Theory and Sustainability (Móscicki L, ur.). WILEY-VCH, Weinheim, Germany, 45-63, 2011.

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

Riaz MN: Introduction to Extruders and Their Principles. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 1-24, 2000.

Riaz NM: *Extruders and Expanders in Pet Food*, Aquatic and Livestock Feeds. Clenze, Germany, 2007.

Rokey GJ: Single-Screw Extruders. U *Extruders in Food Applications* (Riaz MN, ur.). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 25-50, 2000.

Sacchetti G, Pinnavaia GG, Guidolin E, Dalla Rosa M: Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, 37(5):527-534, 2004.

Saeleaw M, Dürrschmid K, Schleining G: The effect of extrusion conditions on mechanicalsound and sensory evaluation of rye expanded snack. *Journal of Food Engineering*, 110:532 540, 2012.

Singh N, Kaur A, Shevkani K: Maize: Grain Structure, Composition, Milling, and Starch Characteristics. U *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses* (Chaudhary DP, Kumar S, Langyan S, ur.). Springer, New Delhi, 65-76, 2014.

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

Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş: The recycling of brewers processing byproduct into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47:469-479, 2008.

Veronica AO, Olusola OO, Adebowale EA: Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of Food Processing Engineering*, 29:149-161, 2006.

Wang YY, Ryu GH: Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits withcorn fiber by CO2 injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 1-7, 2013.

Zhu LJ, Shukri R, de Mesa-Stonestreet NJ, Alavi S, Dogan H, Shi YC: Mechanical and microstructural properties of soy protein-high amylase corn starch extrudates in relation to physicochemical changes of starch during extrusion: Journal of Food Engineering, 100:232-238, 2010.