Utjecaj dodatka pektina na fizikalna svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom pivskog tropa

Njegač, Jasmina

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:109:281380

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

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

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Food Technology Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Jasmina Njegač

UTJECAJ DODATKA PEKTINA NA FIZIKALNA SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA S DODATKOM PIVSKOG TROPA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, siječanj 2015

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

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

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija
Nastavni predmet: Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda
Tema rada je prihvaćena na II. sjednici Odbora za završne i diplomske ispite održanoj 21.studenog 2014.
Mentor: *doc. dr. sc. Djurdjica Ačkar*
Pomoć pri izradi:

UTJECAJ DODATKA PEKTINA NA FIZIKALNA SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRUDATA S DODATKOM PIVSKOG TROPA

Jasmina Njegač, 1863/99

Sažetak:
Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka pektina na fizikalna svojstva ekstrudata kukuruzne krupice s dodatkom pivskog tropa.
Pripremljene su smjese kukuruzne krupice s 10% pivskog tropa ,sa 0,5% I 1% dodanog pektina vlažnosti 15%, koje su zatim ekstrudirane u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu 19/20 DN, Brabender, GmbH. Duisburg, Njemačka, a potom su dobivenim ekstrudatima ispitana fizikalna svojstva I rezultati uspoređeni sa kontrolnim neekstrudiranim uzorcima.
Istraživanjem je utvrđeno da se ekspanzijski omjer linearno povećava dodatkom pektina , dok se nasipna masa linearno snižava.Tvrdoća ekstrudata značajno se snizila proporcionalno udjelu dodanog pektina , dok se lomljivost povećala.Dodatak pektina uzrokovao je blagu promjenu boje neekstrudiranih uzoraka, dok je ekstruzija uzrokovala značajnu promjenu boje.Indeks apsorpcije vode kod ekstrudiranih uzoraka raste proporcionalno dodatku pektina .Indeks topljivosti u vodi povećava se dodatkom pektina u neekstrudiranim uzorcima ,dok nakon ekstruzije postaje naročito izražen.Dodatak pektina povisuje stabilnost pasti neekstrudiranih smjesa kukuruzne krupice i pivskog tropa tijekom miješanja pri visokim temperaturama, no nakon ekstruzije narušava se taj parametar.Sklonost paste retrogradaciji blago je snižena dodatkom pektina kod neekstrudiranih uzoraka ,dok je vrlo izražena kod ekstrudiranih uzoraka.

Ključne riječi: ekstruzija, kukuruzna krupica, pektin , pivarski trop

Rad sadrži: 41 stranica
18 slika
3 tablica
0 priloga
32 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1.	prof. dr. sc. Drago šubarić	predsjednik
2.	doc .dr. sc Djurdjica Ačkar	član-mentor
3.	izv. prof. dr. sc. Jurislav Babić	član
4.	izv. prof. dr. sc. Borislav Miličević	zamjena člana

Datum obrane: 29.siječanj 2015.

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

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

Scientific area: Biotechnical sciences
Scientific field: Food technology
Course title: Technology of carbohydrates and confectionary products
Thesis subject was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. II. held on January 11, 2015.
Mentor: *Djurdjica Ackar,PhD,assisstant prof.*
Technical assistance:

INFLUENCE OF PECTIN ADDITION ON PHYSICAL PROPERTIES OF CORN EXTRUDATES WITH ADDED BREWER SPENT GRAIN

Jasmina Njegač 1863/99

Summary:

The aim of this study was to determine the effect of pectin addition on physical properties of corn extrudates with added brewers' spent grain (BSG).
Mixtures of corn grits with 10% BSG, with addition of 0%, 0.5% and 1% pectin were set to moisture 15% and extruded in laboratory single screw extruder 19/20 DN, Brabender, GmbH. Duisburg, Germany. Physical properties of obtained extrudates were examined and compared to non-extruded samples.
Expansion ratio linearly increased, while bulk density linearly decreased with addition of pectin. Pectin addition caused slight colour change of non-extruded samples and extrusion increased this influence. Solubility index of extruded samples linearly increased with pectin addition, as well as after extrusion. Non-extruded samples with added pectin were more stable during shearing at high temperatures and were less prone to retrogradation than sample without pectin. Extrusion decreased these parameters.

Key words: extrusion, corn meal, pectins,brewers spent grain

Thesis contains: 41 pages
18 figures
3 tables
0 supplements
32 references

Original in: Croatian

Defense committee:

1. Drago Šubarić, PhD, full prof. — chair person
2. Djurdjica Ačkar, PhD, assisstant prof. — supervisor
3. Jurislav Babić, PhD, associate prof. — member
4. Borislav Miličević, PhD, associate prof. — stand-in

Defense date: January 29,2015.

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

Zahvaljujem svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje, zatim zahvaljujem svojoj obitelji, suprugu i djeci na neizmjernoj podršci i razumijevanju.Puno hvala doc. dr. sc. Đurđici Ačkar na pruženoj prilici da završim ovaj studij, te pomoći i savjetovanju pri pisanju ovog rada. Također zahvaljujem mag. ing. techn. Antunu Jozinoviću na pomoći kod eksperimentalnog dijela ovog diplomskog rada.Hvala svim profesorima i asistentima, te ostalim djelatnicima Prehrambeno-tehnološkog fakulteta u Osijeku.

Sadržaj

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI DIO 3

2.1. EKSTRUZIJA 4
2.1.1. Razvoj ekstruzije 5
2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji 5
2.2. PODJELA EKSTRUDERA 6
2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada 7
2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka 7
2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja 9
2.3. FAZE (ZONE) EKSTRUZIJE 10
2.4. TIPOVI EKSTRUDERA I PRIMJENA EKSTRUZIJE 12
2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA 13
Kukuruz (*Zea mays*) 13
2.5.1.Pivski trop 15
2.5.1.1.Karakteristike pivskog tropa 15
2.5.1.2.Kemijski sastav i fizikalno-kemijska svojstva pivskog tropa 15
2.6.PEKTINI 16
2.6.1.Kemijska struktura pektina 16

3. EKSPERIMENTALNI DIO 20

3.1. ZADATAK 21
3.2. MATERIJAL I METODE 21
3.2.1. Materijali 21
3.2.2. Metode 21
3.2.2.1. Ekstruzija smjese kukuruzne krupice s dodatkom pivskog tropa,sa i bez pektina 21
3.2.2.2. Određivanje ekspanzijskog omjera (EO) 22
3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata 22
3.2.2.4. Određivanje boje kromametrom 23
3.2.2.5. Određivanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI) 23
3.2.2.6. Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom 24

4. REZULTATI 26

5. RASPRAVA 32

6. ZAKLJUČCI 35

7. LITERATURA 37

1. UVOD

Zbog svoje višestruke primjene i energetske učinkovitosti proces ekstruzije, ili „ekstruzijsko kuhanje“, razvio se u posljednje vrijeme u jedan od najznačajnijih jediničnih procesa u proizvodnji hrane, koji vrlo često zamjenjuje istovremeno dva ili više tradicionalnih procesa.

Tijekom ekstruzije odvijaju se mnogi procesi (gibanje materijala, miješanje, zagrijavanje, želatinizacija i dr.), pri čemu dolazi do različitih kemijskih i fizikalnih promjena na materijalu. Ekstruzija se može primijeniti za proizvodnju/preradu različitih sirovina, polugotovih i gotovih prehrambenih i neprehrambenih proizvoda. U odnosu na tradicionalne procese, tijekom procesa ekstruzije znatno je manja degradacija namirnica, visoka je učinkovitost (veliki kapacitet, malo nusproizvoda) i niska je cijena.

Posljednjih godina vrše se brojna istraživanja u proizvodnji ekstrudata kukuruzne krupice uz dodatak različitih udjela pojedinih sirovina dobivenih iz drugih branši prehrambene industrije,a čijim dodatkom bi se povećao udio esencijalnih tvari koje pozitivno utječu na zdravlje ljudi, a značajno ne mijenjaju njihova fizikalna i organoleptička svojstva ili se dobivaju potpuno novi proizvodi s novim svojstvima koja su u potpunosti prihvatljiva potrošačima. Tako se dodatom pivskog tropa ,kao nusproizvoda pivovarske industrije, u ektrudatu kukuruzne krupice znatno povećava udio proteina i masti, minerala i prehrambenih vlakana (Ainsworth et. Al.,2007; Mussato et al. 2006.; Santos et. Al.,2003).

Cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj dodanog pektina na fizikalna svojstva kukuruznih ekstrudata s dodatkom pivskog tropa.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. EKSTRUZIJA

Prema definiciji, ekstruzija je mehanički i termički proces u kojem se neki materijal s pomoću klipa ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, miješanje i smicanje kroz ekstruder i sapnicu. Sapnica se nalazi na kraju stacionarnog kućišta, izrađena je tako da oblikuje ili ekspanzijom suši proizvod koji se naziva ekstrudat. Materijal se u ekstruderu zagrijava uslijed trenja i smicanja (Rossen i Miller, 1973.).

Ekstruzijom se dobivaju različiti prehrambeni proizvodi kao što su:

- snack proizvodi (grickalice);
- cerealije za doručak;
- različiti instant proizvodi;
- tjestenine;
- slatkiši;
- žvakaće gume;
- razne vrste dijetetske hrane;
- punjeni proizvodi od ekstrudiranih cerealija.

Osim toga, ekstruzija se primjenjuje i u proizvodnji stočne hrane i hrane za kućne ljubimce. Ekstruzijom se povećava probavljivost hrane i smanjuje broj mikroorganizama. Proizvodi mogu biti pjenasti i u obliku peleta (Lovrić, 2003.).

Proces ekstruzije uključuje dva ili više navedenih procesa:

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

2.1.1. Razvoj ekstruzije

1797. – prva primjena klipnog ekstrudera, nekoliko godina kasnije ekstruzija se primjenjuje u proizvodnji makarona.
1869. – primjena ekstrudera sa dva uzajamno zahvaćena vijka u proizvodnji kobasica.
1935. – primjena hladne ekstruzije u proizvodnji tjestenine, pekarstvu i konditorskoj industriji.
1940. – prvi puta proizvedeni ekspandirani snack proizvodi (na bazi kukuruzne krupice).
1950. – proizvodnja suhe ekspandirane hrane za kućne ljubimce.
1980. – primjenom HTST ekstruzije omogućen je velik napredak primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji (Pozderović,2009.).

2.1.2. Ekstruzija u prehrambenoj industriji

Ekstruzija je proces kod kojega suha ili vlažna sirovina prolazi kroz ekstruder, u kojem se intenzivno miješa pomoću puža određenog oblika i veličine, uz visoki tlak i djelovanje sila smicanja. U tehnološkoj primjeni ekstruzije na prehrambene proizvode obično se razlikuju tri osnovna postupka:

1. Hladno ekstrudiranje

- temperature: 40 - 70 °C;
- tlak: 60 - 90 x 10^5 Pa;
- nema zagrijavanja cilindra i sapnice;
- hlađenje samo radi odvođenja topline stvorene trenjem.

2. Želatinizacija

- temperature: 70 - 120 °C;
- tlak: 70 - 130 x 10^5 Pa;
- zagrijavanje ili hlađenje cilindra radi režima rada u zonama.

3. Toplo ekstrudiranje

- temperature: 130 - 180 °C;
- tlak: 120 - 250 x 10^5 Pa;
- cilindri i sapnice se griju ili hlade, radi održavanja režima rada (Pozderović, 2009.).

Razvojem početnih funkcija miješanja i oblikovanja proizvoda te uvođenjem novih jediničnih operacija i procesa, poput kuhanja i teksturiranja i njihovim povezivanjem u jedinstveni kontinuirani proces, suvremeni uređaji za ekstruziju (ekstruderi) mogu se smatrati HTST bioreaktorima, koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode (Lovrić, 2003.).

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

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

Ekstruzijsko kuhanje najčešće se primjenjuje za škrobom ili proteinima bogate proizvode. Iako je ta primjena danas pretežno ograničena na proizvode s niskim udjelom vode, novija su istraživanja usmjerena i na proizvode s većim sadržajem vode (40 - 80%).

Glavne prednosti ekstruzije u odnosu na tradicionalne procese se mogu svesti na sljedeće:

- brza izmjena topline s HTST obilježjima (i prednostima);
- veliki kapacitet s obzirom na ulaganja i prostor;
- veliki energetski učinak zbog relativno niske vlažnosti materijala;
- kontinuiranost i automatizacija procesa uz mali utrošak radne snage;
- precizna kontrola trajanja i temperaturnog režima procesa, što se odražava u dobroj ujednačenosti proizvoda;
- mogućnost upotrebe različitih sastojaka i dobivanje širokog spektra proizvoda (Riaz, 2000.).

2.2. PODJELA EKSTRUDERA

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

1. Termodinamički uvjeti rada;
2. Način stvaranja tlaka;
3. Veličini smicanja (Lovrić, 2003.).

2.2.1. Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

a) **ADIJABATSKI EKSTRUDERI** - to su ekstruderi koji rade približno pri adijabatskim uvjetima. Oni stvaraju vlastitu toplinu konverzijom mehaničkog rada u toplinu prilikom gibanja materijala u uređaju. Tijekom procesa materijal se giba kroz uređaj, zbog visokog tlaka dolazi do smicanja i trenja, pri čemu se mehanički rad pretvara u toplinu. U pravilu, kod ovih ekstrudera se toplina ne dovodi niti odvodi.

b) **IZOTERMNI EKSTRUDERI** – to su ekstruderi u kojima se tijekom procesa održava određena konstantna temperatura hlađenjem, odnosno odvođenjem topline nastale pretvorbom mehaničkog rada u toplinu.

c) **POLITROPSKI EKSTRUDERI** – to su ekstruderi koji rade između adijabatskih i izotermnih ekstrudera. Svi ekstruderi u prehrambenoj industriji su politropski ekstruderi, pri čemu se neki više približavaju adijabatskim, a neki izotermnim uvjetima rada (Pozderović, 2009.).

2.2.2. Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

a) Ekstruderi pozitivnog tlaka tzv. direktnog tipa

Klipni ekstruder - to je najjednostavniji tip ekstrudera, a sastoji se od klipa i cilindra. Klip tlači materijal kroz cilindar, pri čemu ne dolazi do smicanja, pa su svojstva ekstrudata skoro neizmijenjena u odnosu na ulazni materijal. Ovaj jednostavni ekstruder primjenjuje se za nadijevanje kobasica i za ekstruziju kukuruzne mase kod izrade prženih kukuruznih čipsova.

Pužni (vijčani) ekstruder – to je ekstruder sa jednim ili dva paralelna puža ili vijka. Kod esktrudera s dva vijka vijci su postavljeni paralelno i oni mogu biti različite konstrukcije. Mogu biti isprepletani potpuno ili djelomično i razdvojeni. Ekstruderi s jednim pužem mogu biti sa smanjenjem koraka puža i sa smanjenjem promjera puža ili kućišta ili oba.

Na **Slici 1** prikazana je podjela jednopužnih ekstrudera koji prema izvedbi puža i kućišta mogu imati sljedeće karakteristike:

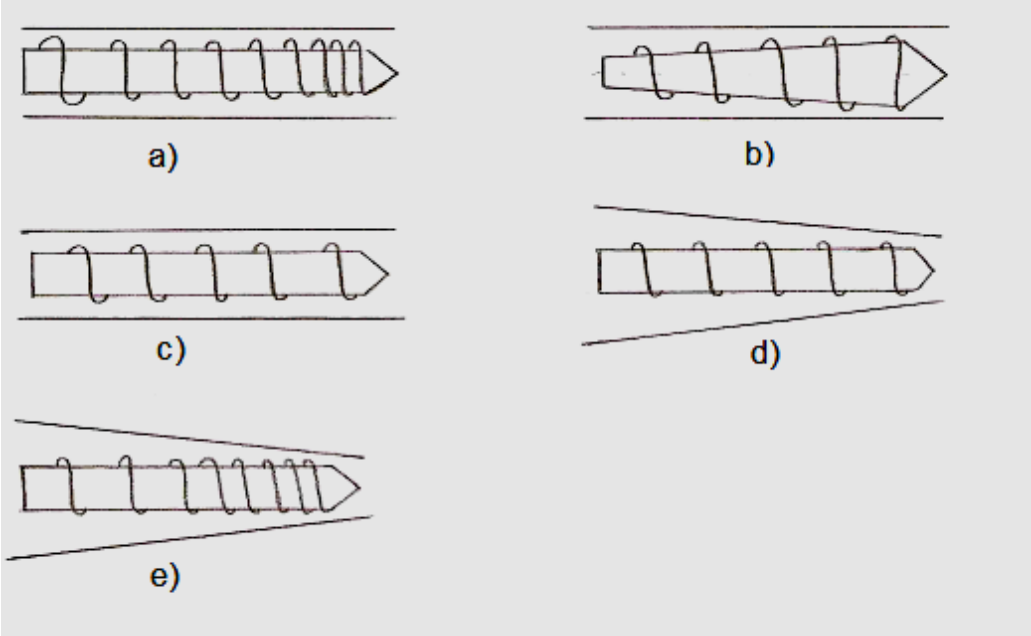
a) korak puža se smanjuje prema kraju;

b) promjer puža povećava se prema kraju;

c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta;

d) kućište se konusno sužava;

e) korak puža se smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Pozderović, 2009.).



Slika 1 Tipovi puža i kučišta kod jednopužnih ekstrudera:a) korak puža smanjuje se prema kraju; b) promjer puža povećava se prema kraju ; c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta;d) kućište se konusno sužava; e) korak se smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Pozderović, 2009.)

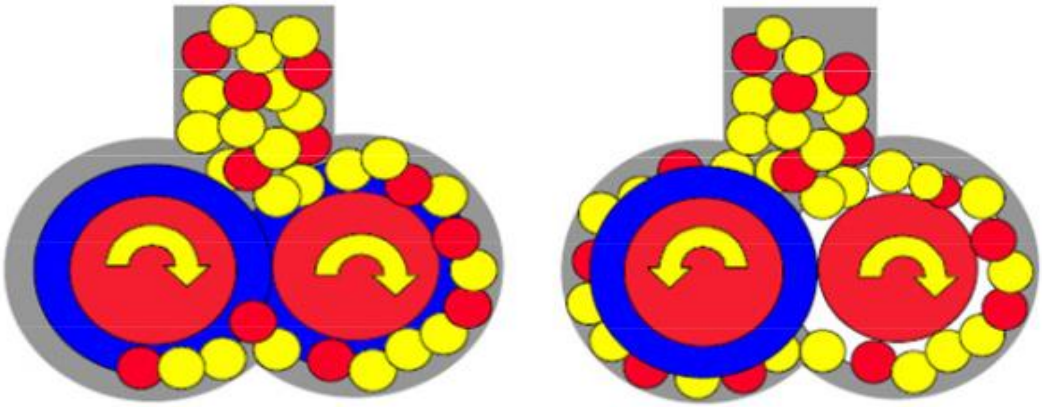
Razlika između jednopužnih i dvopužnih ekstrudera je u mehanizmu transporta unutar uređaja. Kod jednopužnih ekstrudera transport materijala vrši se zbog razlike sile trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Kod dvopužnih ekstrudera s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. U tom slučaju trenje je od manjeg značenja (Lovrić, 2003.).

Ovi ekstruderi se upotrebljavaju u postupcima proizvodnje proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal, kao što su kobasice, flips, čokolada i žvakaće gume.

Na **Slici 2** prikazana je podjela dvopužnih ekstrudera koji mogu biti:

a) sa istosmjernim okretajem puževa;

b) sa suprotnim smjerom okretaja puževa.



Slika 2 Dvopužni ekstruderi sa istosmjernim (a) i kretanjem puževa u suprotnom smjeru (b) (Babić, 2011.)

b) Ekstruderi indirektnog tipa – viskozno-vlačnog toka

Ovi ekstruderi su izvedeni tako da se tijekom gibanja materijala kroz ekstruder materijal ponaša kao ne-newtonska tekućina. Oni bitno utječu na promjenu svojstava materijala, a koriste se za dobivanje proizvoda u obliku pločica i za ekstrudiranje vrlo ljepljivih materijala. Osnovna primjena ovih ekstrudera je u konditorskoj industriji (Pozderović, 2009.).

2.2.3. Podjela ekstrudera prema veličini smicanja

Prema veličini smicanja kojem je materija izložen tijekom ekstruzije ekstruderi se dijele na:

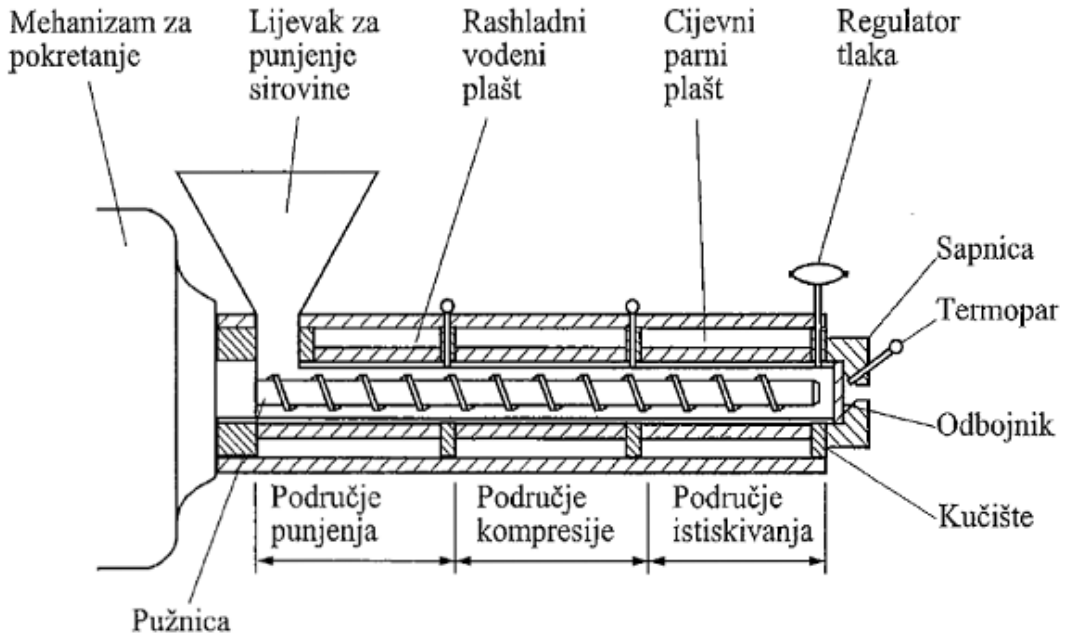
a. Niskosmične ekstrudere,
b. Srednjesmične ekstrudere,
c. Visokosmične ekstrudere (Lovrić, 2003.).

2.3. FAZE (ZONE) EKSTRUZIJE

Proces ekstruzije provodi se u tri faze, od kojih razlikujemo:

1. Zonu uvlačenja materijala - zadaća ove zone je prihvat, transport i tlačenje materijala do istisne zone;
2. Zonu komprimiranja (plastificiranja) - u ovoj zoni materijal prelazi u polutekuću viskoznu masu, a temperatura se regulira hlađenjem pomoću zraka;
3. Istisnu zonu - ova zona predstavlja najvažniji dio ekstrudera. Prima stlačeni materijal, homogenizira ga i potiskuje kroz sapnicu konstantnog tlaka.

Homogenizacija se postiže putem dvije vrste miješanja: intenzivno miješanje uslijed sila smika i ekstenzivno miješanje uslijed uzdužnog i poprečnog gibanja materijala kroz cilindar. U idealnom ekstruderu tlak dostiže maksimum pri kraju puža, nakon čega dolazi do pada tlaka na atmosferski pri izlasku materijala iz sapnice. Brzina istjecanja materijala ovisi o viskoznosti materijala, promjeru sapnice i razlici tlaka. Kod ekstrudera koji se hlade unutar sustava dolazi do usporavanja gibanja mase između puža i cilindra. Mehanička energija koja se prenosi na puž tijekom procesa raspoređuje se na dva dijela, od kojih se dio troši na transport materijala, dok se veći dio pretvara u toplinu uslijed smicanja i trenja materijala na stjenkama cilindra i puža (Lovrić, 2003.).
Na **Slici 3** prikazan je klasičan tip jednopužnog ekstrudera.

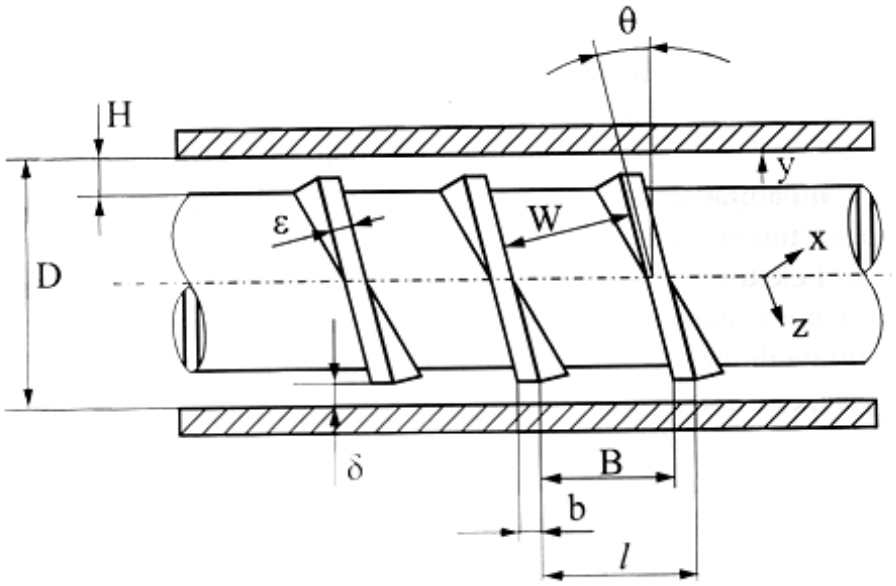


Slika 3 Presjek jednopužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (Lovrić, 2003.).

Karakteristike ekstrudera

Karakteristike ekstrudera u velikoj mjeri ovise o geometrijskoj konfiguraciji ključnih elemenata uređaja, kao što su geometrija puža i kućišta (cilindra).

Na **Slici 4** prikazani su neki osnovni geometrijski parametri koji definiraju značajke rada pužnog ekstrudera: kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W). Sve to definira tzv. omjer kompresije koji se obično kreće u rasponu od 1:1 do 5:1.



Slika 4 Parametri karakteristični za geometrijsku konfiguraciju pužnog ekstrudera - kut rebara (θ), debljina rebara (b, ε), promjer pužnog vijka (D), razmak između rebara (B, l), razmak između osovine i kućišta (H), razmak između pužnice i kućišta (δ) te širina navoja (W) (Lovrić, 2003.)

2.4. TIPOVI EKSTRUDERA I PRIMJENA EKSTRUZIJE

U prehrambenoj industriji ekstruderi se još mogu podijeliti i s obzirom na namjenu, tj. s obzirom na tip ekstrudera, pa tako razlikujemo:

Ekstrudere za proizvodnju ekspandiranih ekstrudata žitarica: ″smoki″, ″kroki″, slana koktel peciva, i sl. Za dobivanje ovih proizvoda koriste se ekstruderi kod kojih je moguće kuhanje pri vrlo visokim temperaturama, uz određeni sadržaj vlage. Ovi ekstruderi brzo zagrijavaju materijal, rade s velikim obodnim brzinama i malom količinom materijala, kako bi se skratilo vrijeme zadržavanja proizvoda u ekstruderu.

Ekstrudere za kuhanje tjestastih materijala: s visokim sadržajem vlage; omogućuju dulje kuhanje, ali manje intenzivno. Rade kod manjih obodnih brzina te je zagrijavanje manje. Imaju užlijebljene cilindre i zagrijavaju se izvana. Užlijebljene stjenke se koriste da ne dođe do proklizavanja materijala. Kod glatkih stjenki, kod materijala s više vlage, dolazi do proklizavanja i tada je slabije zagrijavanje. Koriste se kao jedna vrsta kuhala za tjestaste materijale sa visokim sadržajem vlage. Vrlo su fleksibilni i široko se primjenjuju. Proizvodi dobiveni ovim tipom ekstrudera se obično dalje dorađuju; suše, peku, prže.

Ekstrudere za oblikovanje materijala sa visokim sadržajem vlage; rade na hladno, a količina topline koja se oslobađa radom svedena je na minimum. Ovi ekstruderi proizvode visoke tlakove za oblikovanje materijala. Unutrašnja površina cilindra može, a i ne mora biti užlijebljena, a obično jest, ako se želi spriječiti proklizavanje na površini. Ti žljebovi mogu biti spiralni, a koriste se kako bi se ubrzao ili usporio protok materijala

Ekstrudere za oblikovanje tjestenine; makaroni i sl. Najbliži su idealnim ekstruderima jer imaju glatku površinu cilindra, nemaju sekciju transporta materijala. Promjer puža je isti po cijeloj dužini. Prema termodinamičkim uvjetima rada najbliži su izotermnim ekstruderima.

Ekstrudere sa hlađenjem za oblikovanje suhim hlađenjem; imaju hlađenje radi odvođenja nastale topline. To su ekstruderi visokog smicanja i kratkog vremena zadržavanja. Veliki dio mehaničkog rada pretvara se u toplinsku energiju zbog male vlažnosti materijala i velikog smicanja (Pozderović, 2009.).

2.5. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Sirovine koje se koriste za ekstrudiranje obično su bogate škrobom i/ili proteinima. Tijekom ekstrudiranja se pod utjecajem topline i vode dugi lanci škroba kidaju, tako da škrob postaje ljepljiv i probavljiv. Takav škrob je puno rastezljiviji, bolje upija vodu i zadržava plinove. U proizvodima koji se koriste za ljudsku ishranu škrob treba potpuno želatinizirati, dok je za životinjsku ishranu dovoljna i djelomična želatinizacija. (Pozderović,2009.).

Osnovni sastojci ekstrudiranih proizvoda su škrob i/ili proteini, a najčešće primjenjivane sirovine za njihovu proizvodnju su: brašna žitarica i plodova bogatih škrobom (brašno kukuruza, heljde, tapioke, kestena i dr.); biljni proteini (sojini, sjemenki suncokreta, pšenični gluten i dr.).

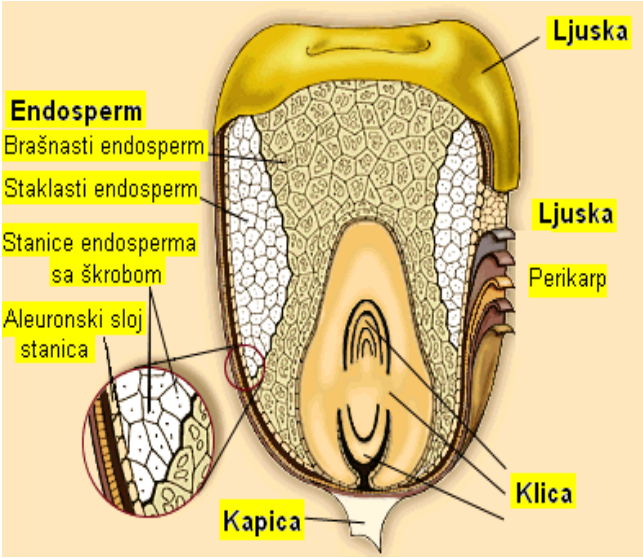
Na sam odabir namirnica (sirovina) utječe:

- nutritivna vrijednost namirnica (primarni čimbenik)
- dostupnost sirovine
- cijena (sekundarni čimbenik) (Jozinović, 2011.).

Kukuruz (*Zea mays)*

Kukuruz je jednogodišnja biljka podrijetlom iz Srednje Amerike. Po zasijanim površinama treća je po redu žitarica, iza pšenice i riže. Plod kukuruza je klip sa zrnjem koje je uglavnom žuto ili bijelo. Zrno kukuruza sastoji se od četiri osnovna dijela (**Slika 5**):

- ljuska;
- klica;
- brašnasti i staklasti endosperm;
- kapica.



Slika 5 Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Endosperm čini najveći udio u zrnu (oko 82%) te time sadrži i najviše škroba, a sastoji se od dva dijela: brašnastog i staklastog (rožastog) endosperma. Klica čini oko 11% zrna kukuruza. Od ukupne količine masti u zrnu, u klici se nalazi 84%. Među šećerima, u zrnu najveći udio čini saharoza (0,9 – 1,9%), zatim glukoza 0,2 – 0,5% te fruktoza 0,1 – 0,4% (Eckhoff, 2009.). Kukuruz obiluje prehrambenim vlaknima koja snižavaju povišene razine kolesterola, folnom kiselinom što čuva krvožilni sustav, vitaminom B1, važnim za dobar rad mozga te ugljikohidratima koji nam brzo daju raspoloživu energiju (Ugarčić-Hardi, 2001.).

U **Tablici 1** prikazan je prosječni kemijski sastav zrna kukuruza, koji ovisi o sorti, podneblju i agrotehnici.

Tablica 1 Dijelovi zrna kukuruza i kemijski sastav pojedinih dijelova (Ugarčić-Hardi, 2001.)

	Maseni udio u suhoj tvari (%)				
Dio zrna	Proteini	Masti	Ugljikohidrati	Celuloza	Pepeo
Cijelo zrno (100%)	10,80	4,60	79,40	2,00	1,70
Endosperm (84%)	12,20	1,50	85,00	0,60	0,70
Klica (10%)	21,70	29,60	34,70	2,90	11,10
Omotač (6%)	6,60	1,60	74,60	16,40	1,30

Kukuruz je osnovna sirovina za proizvodnju širokog spektra ekstrudiranih proizvoda, bilo da su to gotovi (snack) proizvodi ili poluproizvodi, odnosno ekstrudirane krupice i brašna koje se dalje koriste za proizvodnju različitih pekarskih proizvoda i keksa.

2.5.1.Pivski trop

Pivski trop jedan je od nusproizvoda u pivovarskoj industriji koji se dobiva nakon ekstrakcije i ispiranja prevrelog slada. Na svakih 100 kg slada upotrebljenog za ukomljavanje zaostaje 125-130 kg vlažnog tropa sa udjelom vode od 75-80%, koji zauzima volumen od 720-780 L.U tropu zaostaje 20-25% od ukupne suhe tvari slada.Kao biljni otpad ili nusproizvod sadrži velike količine vode i fermentabilnih šećera i stoga se javlja problem njegova zbrinjavanja u što kraćem vremenu (7-10 dana).Pivovare prodaju vlažni trop kao stočnu hranu ili ga suše.Proces sušenja provodi se tako da se prvo prešanjem uklanja 40-50% prisutne vode, a zatim se suši pri 60˚C do 8-10% vode.Za sušenje 1kg vlažnog tropa potrebno je oko 0. 6 kg pare.Izdvojena voda sadrži oko 5% fine proteinske tvari od čega se 65% izdvaja centrifugiranjem i dodaje tropu kako bi se povećao njegov sadržaj proteina.

2.5.1.1.Karakteristike pivskog tropa

Pivski trop čine uglavnom ljuska zrna,perikarp i ljuska sjemena iz zrna ječma koji se koristi u proizvodnji slada ,dok je udio škroba zanemariv kao i ostaci hmelja dodanog tijekom miješanja ovisno o postupku proizvodnje piva.Stanične stijenke ljuske zrna-perikarpa-ljuske sjemena bogate su celuloznim i necelulozним polisaharidima i ligninom, te mogu sadržavati nešto proteina i lipida.Ljuska sadrži značajne količine silicija i većinu polifenolnih tvari iz zrna ječma (Macleod, 1997.)

2.5.1.2.Kemijski sastav i fizikalno- kemijska svojstva pivskog tropa

Kemijski sastav pivskog tropa varira ovisno o :

- sorti ječma,
- vremenu berbe,
- pripremi slada,
- načinu miješanja,
- kvaliteti i vrsti dodanih sastojaka u proizvodnji piva.

Pivski trop je lignocelulozni materijal bogat proteinima i vlaknima.Mikroskopskim pregledom pronađena je velika količina fibroznog tkiva koja se nalazi na površini ječmenog zrna , a sastoji se od arabinoksilana, lignina (makromolekula polifenola) i celuloze (linearni strukturi

monosaharidne jedinice. homopolimer sastavljen od glukoznih jedinica).Analizom pivskog tropa utvrđeno ja da, osim vlakana, sadrži i 25% proteina,4% lipida i 3.4% pepela (Santos et. al.,2003.).

Od minerala u pivskom tropu prisutni su: kalcij, kobalt, bakar, željezo, magnezij, mangan,fosfor, kalij, selenij, natrij i sumpor, svi u koncentracijama nižim od 0.5% (Huige,1994.;Pomeranz and Dikeman,1976).

Od vitamina prisutni su (u ppm):biotin(0.1),kolin(1800), folna kiselina (0.2), niacin (44), pantotenska kiselina (8.5),riboflavin (1.5), tiamin (0.7) i piridoksin (0.7); od aminokiselina vezanih za proteine prisutne su:leucin, valin, alanin, serin, glicin, glutaminska kiselina i aspartanska kiselina u većim udjelima, te tirozin, prolin, treonin, arginin i lizin u manjim udjelima.

2.6.PEKTINI

Pektini su najčešće industrijski primjenjivani aditivi koji maju svojstvo stvaranja hidrokoloidne konzistencije u proizvodima od voća i povrća. Kao aditivi koriste se u proizvodnji džema, voćnih želea, marmelada i drugih sličnih voćnih namaza, uključujući niskokalorične proizvode, ekstra džemove, ekstra žele i zaslađeni pire i druge prerađevine voća i povrća.Za postizanje želiranja moraju se poznavati želirajuća svojstva upotrebljenog sredstva za želiranje kao i osigurati odgovarajući uvjeti kao što su temperatura, pH vrijednost, suha tvar, sadržaj šećera itd.

Pektini su heterosaharidi koji se nalaze u staničnom zidu biljaka i gotovo svim njihovim dijelovima: stablo,deblo,korijen, plod .

Komercijalni pektini dobivaju se uglavnom od nusproizvoda prehrambene industrije , kao što su pulpa jabuke(koja sadrži 13-39% pektina(Renard et al.,1996)), kora citrusnog voća(grejpa,limuna i naranče) i pulpa šečerne repe.

Naziv pektin ima više praktičan i komercijalan značaj.Odnosi se na iste supstsnce koje su definirane pod nazivom pektininske kiseline i imaju sposobnost u otopinama sa šečerom i kiselinama stvarati žele.Komercijalna kvaliteta pektina izražava se preko stupnja želiranja , koji varira u intervalu od 50 do 500, što ovisi o dva faktora:

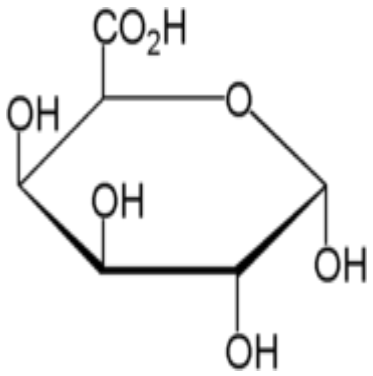
- stupnju esterifikacije pektina
- molekulske težine pektina

2.6.1.Kemijska struktura pektina

Pektinske tvari predstavljaju ugljikohidratni visokomolekularni spojevi vrlo složene strukture,koji se međusobno razlikuju u dužini polimernog lanca , kompleksnosti,kao i strukturi monosaharidne jedinice.

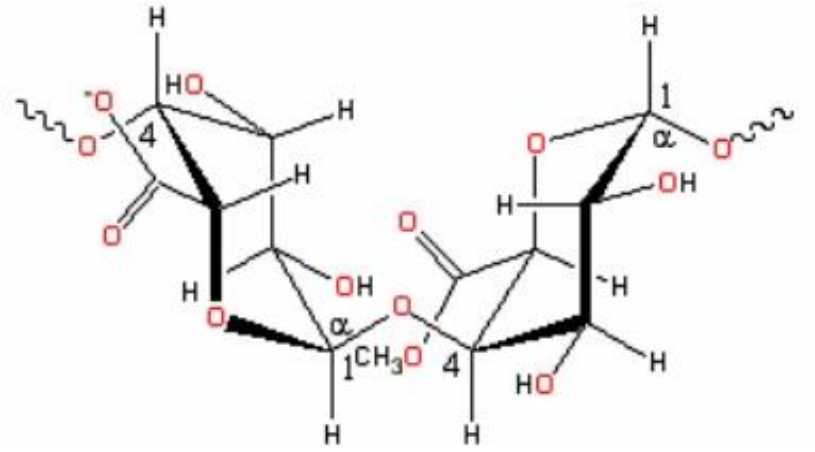
Pektin je polimer koji se sastoji od galakturonske kiseline (**Slika 6**) kao monomera i može sadržavati tri glavna polisaharidna tipa:

- poligalakturonan, koji je polimeriziran od ponovljenih D-galakturoninskih kiselina monosaharidne podjedinice,
- ramnogalakturonan koji je alternativno sastavljen od L-ramnoze i D-galakturonske kiseline kao podmonomernih jedinica,
- ramnogalakturonan koji je kompleks visoko razgranatih polisaharida



Slika 6 Galakturonska kiselina (Jašić, 2007.)

Skeletnu osnovu pektinskih tvari predstavlja poligalakturonska kiselina koja je polimer ostataka D-galakturonske kiseline, međusobno povezanih α-1,4-L-galaktozidnom vezom.



Slika 7 Isječak glavnog lanca poligalakturonske kiseline povezane α-1,4-glikozidnim vezama (Jašić, 2007.)

Molekularni kostur biljnih pektina je izgrađen od molekula d-galakturonske kiseline, koje su α-1,4-glikozidnim vezama međusobno spojene u poligalakturonsku kiselinu.Velike su molekularne mase(23000-71000 kod agruma, 25000-35000 kod jabuka, šljiva i krušaka do 200000-360000 za jabuke i limune).Pektinske tvari čine :

- galakturonani i ramnogalakturonani,
- arabinani,
- galaktani i
- arabinogalaktani(1,4ß-D-galaktan i 3,6ß-D-galaktan).

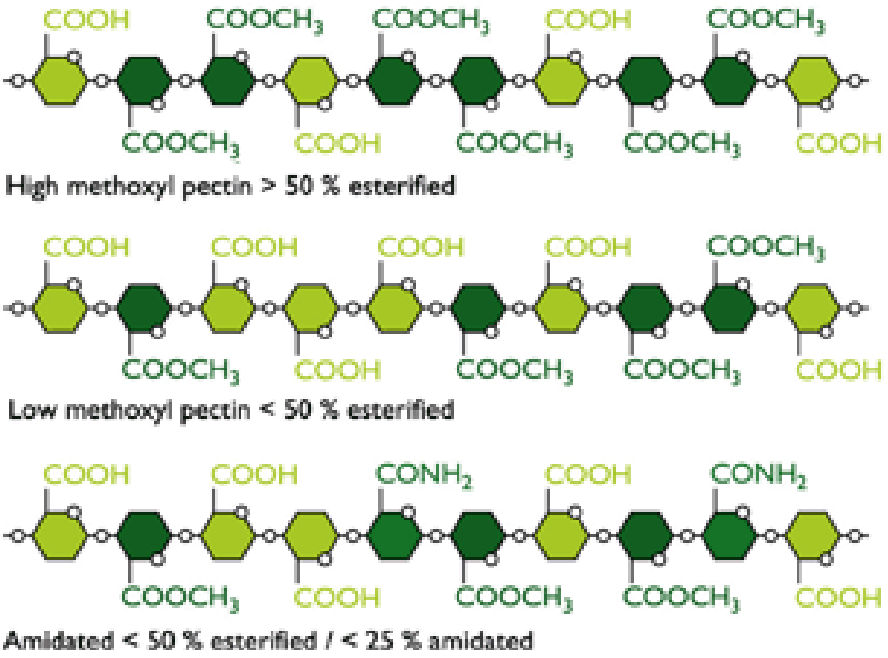
Pektinske koloidne otopine imaju sposobnost stvaranja čvrstih gelova u prisutnosti nekog dehidratacijskog spoja.Nastanak pektinskih gelova odvija se najbolje pri pH 3.1-3.5 ,a kao dehidratacijski spoj koristi se šečer pri koncentracijiod 65-70%.Količina pektina koja sudjeluje u nastanku gela kreće se od 0.2-1.5%,a kvaliteta želea ovisi o kvaliteti pektinskog preparata, njegovog porijekla i načinu ekstrakcije.Faktori koji utječu na topljivost pektina i tendenciju stvaranja gela su temperatura, molekularna kompozicija pektina , pH, šečer , druge otopljene tvari i Ca-ioni.

Svojstva i funkcionalnost pektina određeni su njihovom kemijskom strukturom.Slika 8. prikazuje tri grupe pektina s obzirom na svojstva želiranja:

1.Visokoesterificirane pektine

2.Niskoesterificirane pektine

3.Pektini s amidnim grupama



Slika 8 Visokoesterificirani i niskoesterificirani pektini, te pektini s amidnim grupama (Jašić, 2007.)

Postotak esterificiranih karboksilnih grupa u pektinskim tvarima naziva se stupanj esterifikacije.Funkcionalne grupe određuju tip pektina, a dijele se prema broju esterskih grupa.Tako pektini koji sadrže više od 50% esterskih grupa nazivamo visokoesterificiranim pektinima ili VE (HE), a pektini koji sadrže manje od 50% esterskih grupa nazivamo niskoesterificiranim pektinima ili NE (LE).Amidirani pektini su nisko metoksilirani pektini koji sadrže više od 25% amidnih grupa.

Kod visokoesterificiranih pektina jačina želiranja ovisi o sadržaju kiseline (pH 2-3.5), tipu pektina, količini topive suhe tvari većoj od 55%,dok reakcija sa Ca-ionima izostaje.

Niskoesterificirani pektini želiraju sa Ca-ionima .zbog čega je potrebno kontrolirati njihovu količinu u širem rasponu topive suhe tvari (10-80%) i u rasponu pH 2.5-6.5.

Pektini s amidnim grupama se deesterificiraju amonijakom tijekom čega se jedan dio esterskih grupa zamijeni amidnim grupama.Nazivaju se i brzoželirajućim pektinima i primjanjujuse u rasponu suhe tvari 30-65% i pH 3.0-4.5.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka pektina na fizikalna svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa.
Pripravljene su smjese kukuruzne krupice s dodatkom pivskog tropa, sa i bez dodatka pektina.Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu 19/20 DN , Brabender ,GmbH, Duisburg, Njemačka, a potom su dobivenim ekstrudatima ispitana fizikalna svojstva te su rezultati uspoređeni sa kontrolnim neekstrudiranim uzorcima.

3.2. MATERIJALI I METODE

3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u ovom istraživanju su:

1.Kukuruzna krupica iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek, proizvedeno 2012. godine;

2.Pivski trop, donacija Osječke pivovare. Trop je osušen u sušioniku s prisilnom cirkulacijom zraka (Memmert UFE 500) pri 60°° C i samljeven na laboratorijskom mlinu IKA MF10 uz upotrebu sita otvora 2 mm.

3.Visokoesterificirani pektin GENU® Pectin 150 USA-SAG type D slow set, CP Kelco A Huber Company, SAD.

3.2.2. Metode

3.2.2.1. Ekstruzija smjese kukuruzne krupice s dodatkom pivskog tropa, sa i bez pektina

Pripremljene su smjese kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa (bazirano na s. tv.). Kontrolna smjesa nije sadržavala pektin , dok je u jednu smjesu dodano 0.5% pektina (s. tv.), a u drugu 1% pektina (s. tv.).Smjesama je podešena vlažnost na 15% nakon čega su u plastičnim vrećicama čuvane na 4° C preko noći, a zatim ekstrudirane u laboratorijskom jednopužnom ekstruderu Brabender 19/20 DN, pri sljedećem režimu:

- puž konfiguracije 4:1
- sapnica: 4 mm;
- temperaturni profil: 135/170/170 °C

Dobiveni ekstrudati osušeni su pri sobnoj temperaturi na zraku, te su na njima provedena ispitivanja.

3.2.2.2. Određivanje ekspanzijskog omjera (EO)

Ekspandiranim suhim ekstrudatima izmjeren je dijametar pomoću pomičnog mjerila. Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi pet puta te se izračuna srednja vrijednost. Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog sa dijametrom sapnice ekstrudera (4 mm) te se računa prema formuli (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).

3.2.2.3. Određivanje nasipne mase ekstrudata

Nasipna masa ekstrudata određena je prema metodi Alvarez-Martinez i sur. (1998.) i izračunava se prema formuli(2):

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

Gdje je: BD ─ nasipna masa ekstrudata (gcm-3);
m ─ masa ekstrudata (g);
d ─ promjer ekstrudata (cm);
L ─ dužina ekstrudata (cm).

3.2.2.4. Određivanje teksture ekstrudata

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System (**Slika 9**), uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće i lomljivosti štapića pomoću noža. Ekstrudati su za potrebe ovog mjerenja rezani na štapiće dužine 10 cm koji su podvrgavani sljedećem testu:

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



Slika 9 TA.XT2 Plus Texture Analyser

3.2.2.5. Određivanje boje kromametrom

Boja je mjerena sirovim smjesama i samljevenim ekstrudatima pomoću kromametra Konica Minolta CR-300 (**Slika 10**) s nastavkom za praškaste materijale mjerene u pet paralela.Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh kromatometar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice.



Slika 10 Kromametar Konica Minolta CR-300 (Gelemanović, 2013.)

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 kontrolni neekstrudirani uzorak kukuruzne krupice; odnosno uzorak bez dodatka pektina u slučaju međusobne usporedbe boje neekstrudiranih uzoraka.

3.2.2.6. Određivanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI)

Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) određeni su prema metodi za žitarice (Anderson i sur.,1969.).

Izvaže se 2,5 g samljevenog uzorka u tariranu kivetu za centrifugiranje , vulumena 50 mL. U svaki uzorak doda se 30 mL destilirane vode , ispirući stijenke kivete , te se uzorci ostave 30 minuta stajati uz povremeno miješanje svakih 5 minuta.

Nakon toga se uzorci centrifugiraju na 3000 o/min tijekom 15 minuta .Supernatant se dekantira u prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje i suši pri 105 ° C do konstantne mase .

Indeka apsorpcije (WAI) je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici mase suhe tvari početnog uzorka , a računa se prema formuli **4** .

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

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**.

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

3.2.2.7.Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom



Slika 11 Brabenderov Mikro visko-analyzer

Određivanje reoloških svojstava provedeno je Brabenderovim Mikro visko-analyzer-om, Tip 803202, Brabender Gmbh & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 11**). Uređaj je povezan sa računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka. Uzorak samljevenog ekstrudata se doda u destiliranu vodu (u posudu Brabenderovog Mikro visko-analyzera) kako bi se pripravilo 100 g 10% suspenzije. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

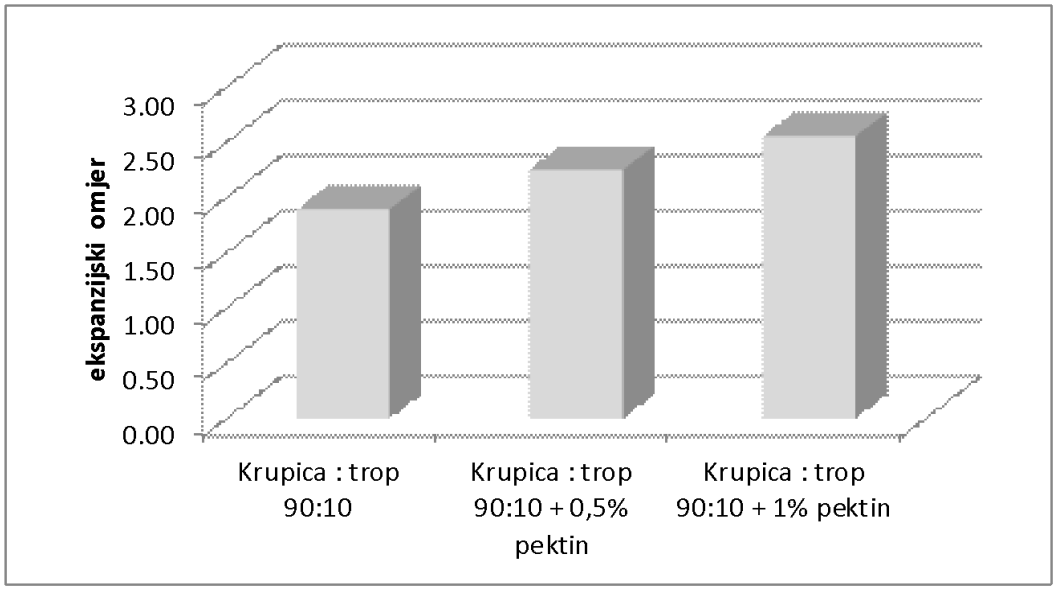
1. Zagrijavanje od 30 do 92 ºC, brzina zagrijavanja 7,5 ºC/min;
2. Izotermno na 92 ºC, 10 minuta;
3. Hlađenje od 92 do 50 ºC, brzina hlađenja 7,5 ºC/min;
4. Izotermno na 50 ºC, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela od 250 rpm, a mjerenjem se dobiju sljedeći parametri:

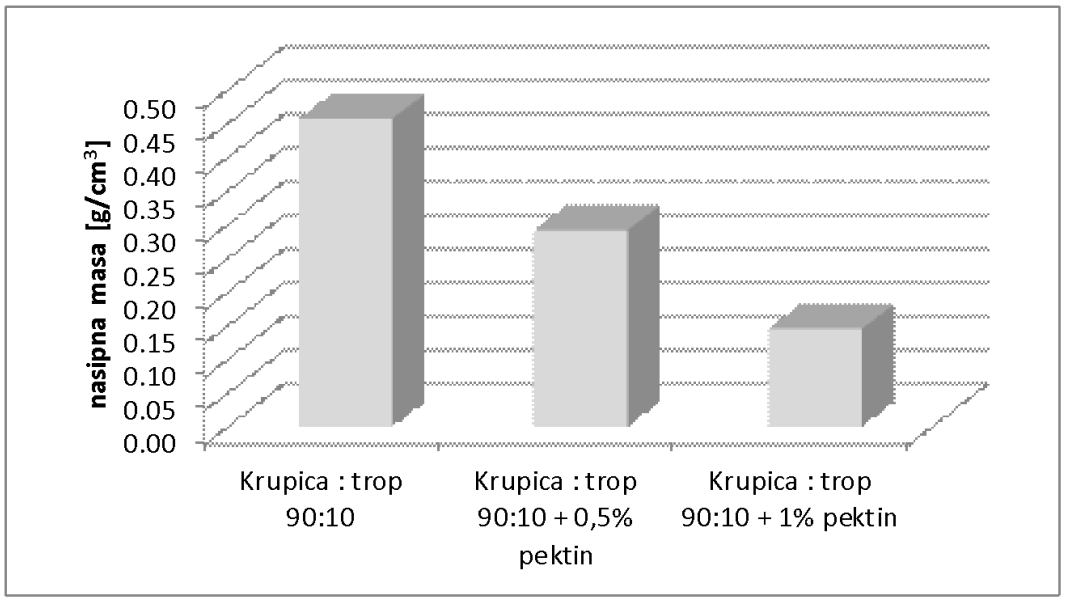
1. Početna temperatura želatinizacije škroba;
2. Viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u Brabenderovim jedinicama [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C;
4. Vrijednost viskoznosti nakon 10 minuta miješanja na 92 °C;
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C;
6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja na 50 °C. Označava stabilnost pri 50 °C;

7. *Kidanje* - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 10 minuta miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama 92 °C.
8. *„Setback“* - Izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 10 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C. Označava sklonost škrobne paste retrogradaciji.

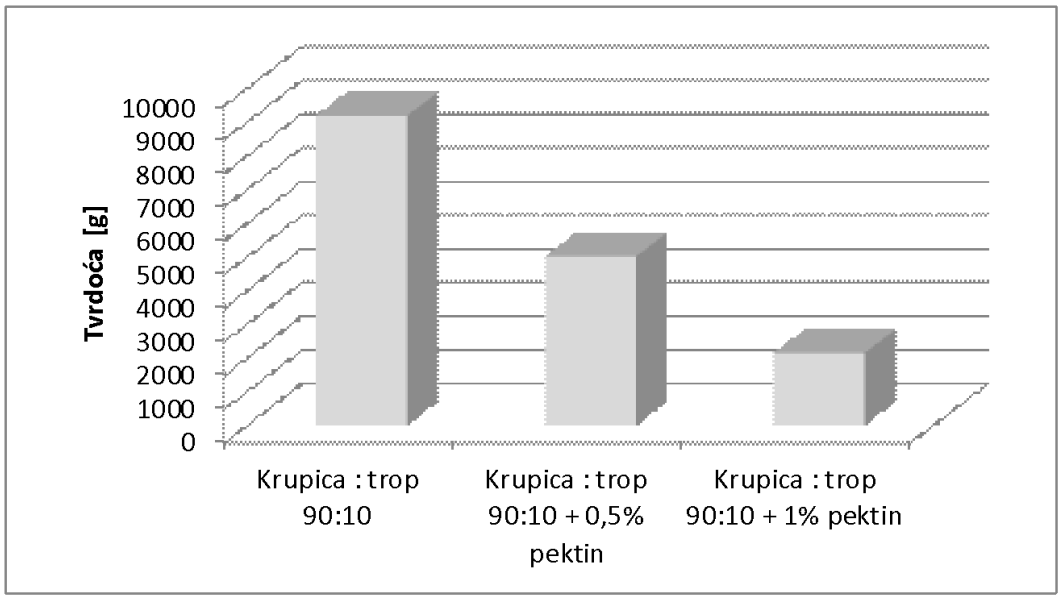
4. REZULTATI



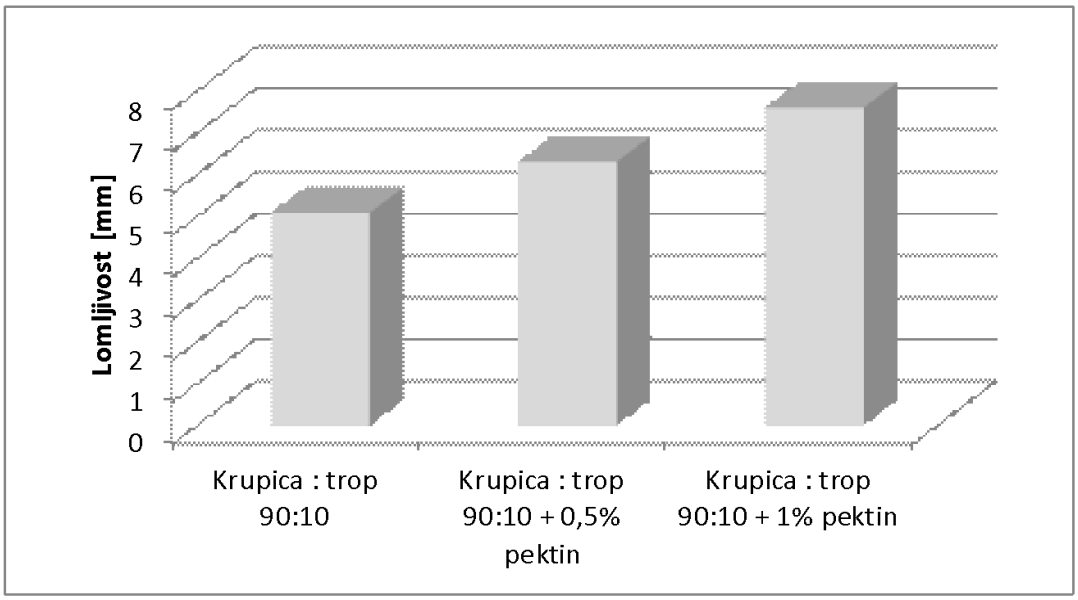
Slika 12 Utjecaj dodatka pektina na ekspanzijski omjer ekstrudata kukuruzne krupice s 10% pivskog tropa



Slika 13 Utjecaj dodatka pektin na nasipnu masu ekstrudata kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa



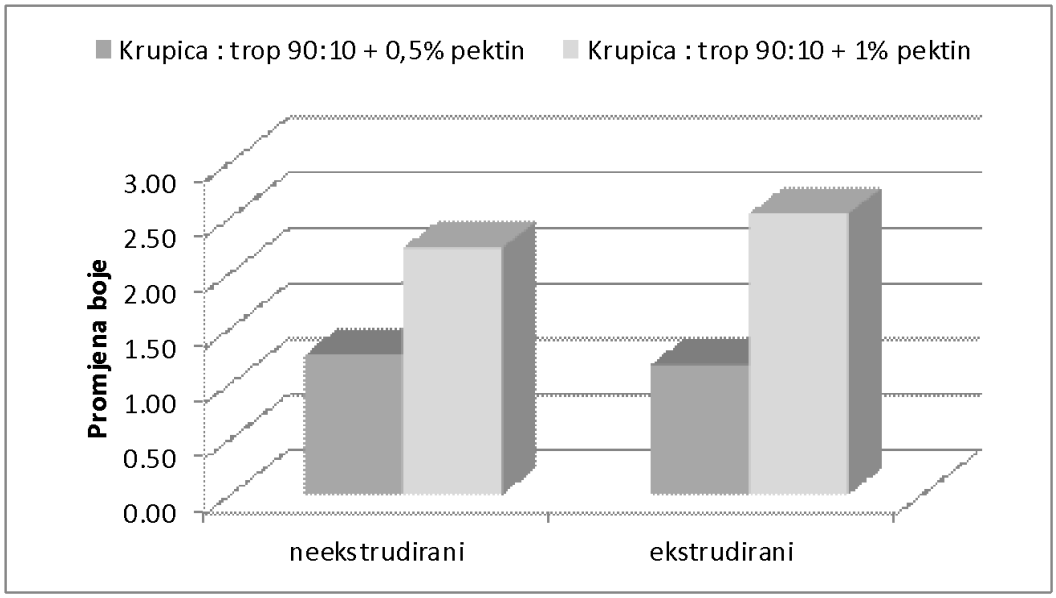
Slika 14 Utjecaj dodatka pektina na tvrdoću ekstrudata kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa



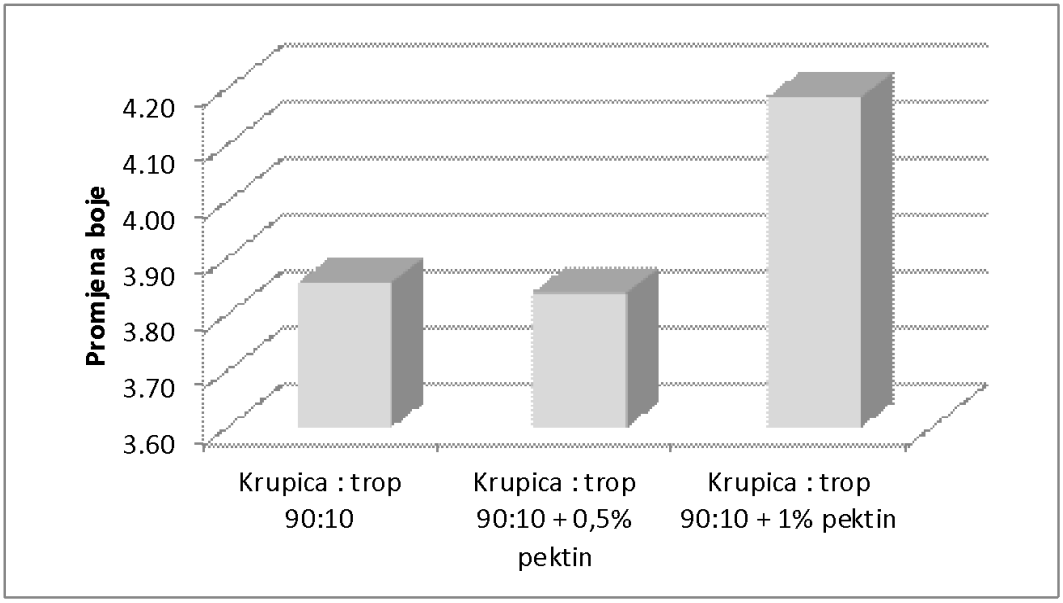
Slika 15 Utjecaj dodatka pektina na lomljivost ekstrudata kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa

Tablica 2 Parametri boje neekstrudiranih i ekstrudiranih smjesa kukuruzne krupice i 10% pivskog tropa mjereni u CIELab i CIELCh sustavima

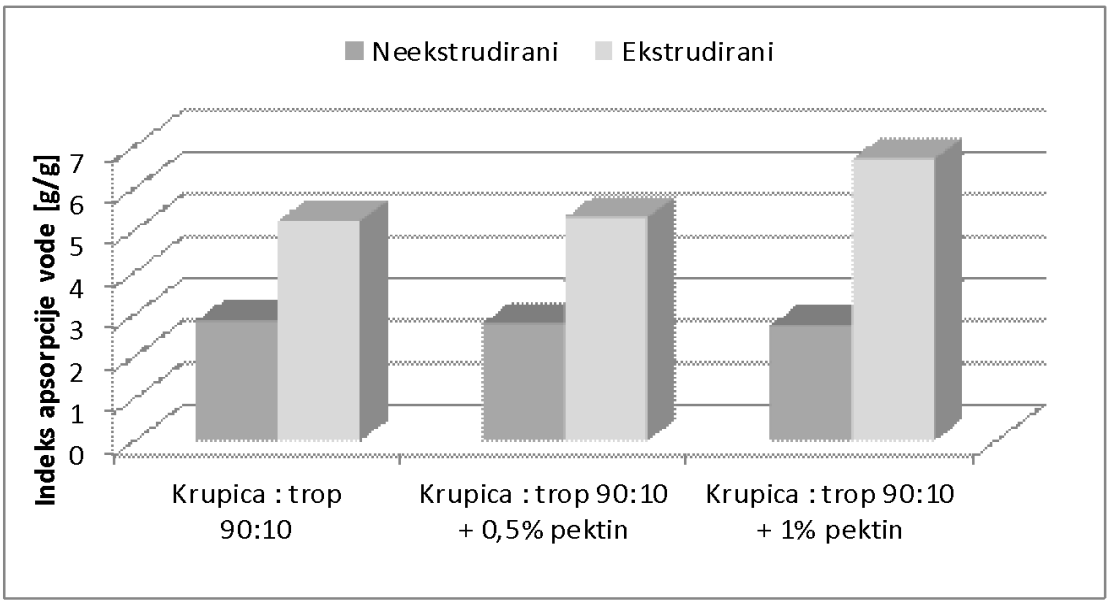
	L	a	b	C	h°
neekstrudirani					
Krupica : trop 90:10	68.85±0.03	1.48±0.05	34.01±0.17	34.04±0.17	87.50±0.09
Krupica : trop 90:10 + 0,5% pektin	69.48±0.07	1.31±0.04	32.93±0.04	32.95±0.04	87.72±0.07
Krupica : trop 90:10 + 1% pektin	70.10±0.02	0.78±0.05	32.30±0.06	32.33±0.04	88.62±0.08
ekstrudirani:					
Krupica : trop 90:10	71.54±0.02	-0.24±0.03	31.84±0.01	31.84±0.01	90.44±0.05
Krupica : trop 90:10 + 0,5% pektin	72.27±0.02	-0.43±0.02	30.94±0.08	30.94±0.08	90.94±0.03
Krupica : trop 90:10 + 1% pektin	73.27±0.05	-0.81±0.03	30.08±0.02	30.09±0.02	91.48±0.06



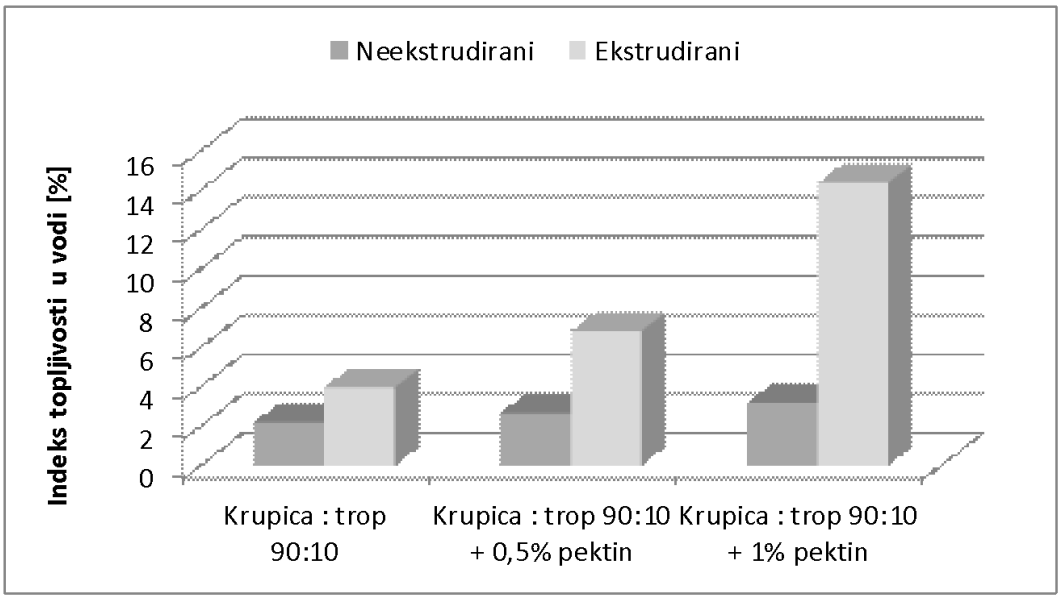
Slika 15 Utjecaj dodatka pektina na boju ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa izraženo kao promjena boje u odnosu na odgovarajući uzorak bez pektina



Slika 16 Utjecaj ekstruzije na boju uzoraka kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa, sa i bez pektina izraženo kao promjena boje u odnosu na odgovarajući neekstrudirani uzorak



Slika 17 Utjecaj dodatka pektina na indeks apsorpcije neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa



Slika 18 Utjecaj dodatka pektina na indeks topljivosti u vodi neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa

Tablica 3 Reološka svojstva ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa bez (0) i s dodatkom pektina.

	max. viskoznost [BU]	**viskoznost na 92 °C [BU]**	**nakon miješanja na 92 °C [BU]**	**viskoznost na 50 °C [BU]**	**nakon miješanja 50 °C [BU]**	**kidanje [BU]**	**Setback [BU]**
	neekstrudirani						
0	346.5±5.5	51±1	346±1	636.5±11.5	631.5±5.5	5.5±4.5	290.5±15.5
0 + 0,5% pektin	335±5	42.5±3.5	338.5±4.5	635±9	630.5±7.5	0.5±0.5	288±5
0 + 1% pektin	315.5±7.5	36.5±1.5	320.5±7.5	582±11	601±11	0±0	265±5
	ekstrudirani						
0	203±4	155±5	198±3	300.5±7.5	291±5	4±0	100.5±4.5
0 + 0,5% pektin	164±1	146.5±3.5	144±2	228±1	223±1	20±1	81.5±0.5
0 + 1% pektin	72±3	0±0	0±0	21.5±5.5	19±5	72±3	20.5±4.5

5.RASPRAVA

S obzirom da se dodatkom pivskog tropa narušavaju fizikalna svojstva ekspandiranih kukuruznih ekstrudata , cilj ovog rada bio je ispitati mogućnost poboljšanja navedenih svojstava dodatkom pektina.

Na **Slici 12** prikazan je utjecaj dodatka pektina na ekspanziju ekstrudata kukuruzne krupice s dodatkom 10% pivskog tropa.Ekspanzija se linearno povećavala dodatkom pektina , a sukladno tome , linearno se snizila nasipna masa dobivenih ekstrudata (**Slika 13**).Tvrdoća ekstrudata značajno se snizila proporcionalno udjelu dodanog pektina (**Slika 14**), a lomljivost se povećala (**Slika 15**).

Pektin ima emulgirajuća i stabilizirajuća svojstva , te može međudjelovati s proteinima, mastima i škrobom u kompleksnom sustavu (Cui i Chang, 2014). Zahvaljujući tim interakcijama , pektin je vjerojatno smanjio negativan utjecaj proteina pivskog tropa na ekspanziju.

Parametri boje neekstrudiranih i ekstrudiranih uzoraka prikazani su u **Tablici 2** .Dodatak pektina uzrokovao je povećanje svjetline (izraženo kroz povišenje vrijednosti parametra L) kako kod neekstrudiranih , tako ikod ekstrudiranih uzoraka. Osim toga, smanjio se intezitet crvene (parametar a) i žute (b) komponente boje , kao i zasićenje boje , dok je ton boje neznatno porastao.Rezultat navedenih promjena je ukupna promjena boje (**Slika 16**) koju, prema Jukiću i sur. (2007), uočavaju trenirani senzorski analitičari.

Utjecaj ekstruzije na ukupnu promjenu boje prikazan je na **Slici 17**. Kod uzorka bez dodatka pektina i uzorka s dodatkom 0,5 % pektina došlo je do promjene boje sličnog inteziteta u odnosu na odgovarajući neekstrudirani uzorak.Kod uzorka s dodatkom 1% pektina , ta promjena ja značajno veća , no kod sva tri uzorka promjenu boje uočava prosječna osoba (Jukić i sur.,2007).Na promjenu boje značajno utječe ekspanzija , tako što je veća ekspanzija , to je veća i promjena boje uzoraka (Jozinović i sur.,2012).

Indeks apsorpcije vode je indirektan pokazatelj želatinizacije škroba jer predstavlja sposobnost škroba za upijanje vode (Zhu i sur.,2010.).Dodatak pektina nije imao utjecaja na indeks apsorpcije vode (**Slika 18**) kod neekstrudiranih uzoraka.Nakon ekstruzije , međutim zbog razlike u ekspanziji , došlo je do povećanja indeksa apsorpcije proporcionalno dodatku pektina.Povećanje indeksa apsorpcije vode potvrdila su i druga istraživanja (Larrea i sur.,2005.; Jozinović i sur., 2012.; Tanasković, 2014.).

Indeks topljivosti u vodi (**Slika 19**) blago se povećao dodatkom pektina neekstrudiranim uzorcima , a nakon ekstruzije ovaj je utjecaj postao puno izraženiji.Razlog tome mogla bi biti emulgirajuća svojstva uslijed čega se smanjuje napetost površine (Cui i Chang ,2014.).Osim toga , kod ekatrudiranih proizvoda do povećanja indeksa topljivosti u vodi dolazi i uslijed narušenosti strukture škroba i prisutnosti većeg sadržaja molekula manje molekulske mase (Collona i sur., 1989.).

Emulgirajuća svojstva pektina potencijalni su razlog i blagog sniženja viskoznosti kod neekstrudiranih uzoraka (**Tablica 3)** zahvaljujući dodatku pektina.Nakon ekstruzije sniženje je postalo još izraženije. Tijekom procesa ekstruzije dolazi do preželatinizacije škroba (Gupta i sur., 2008.; Hagenimana i sur.,2006.).Osim toga , na reološka svojstva pektina utječe njihova molekulska masa (Ramos- Aguilar i sur., 2015.).Tijekom ekstruzije , uslijed visokog smicanja i tlaka moglo je doći do djelomične depolimerizacije kako škroba (Dokić i sur.,2009.), tako i pektina , što je zajednički djelovalo na značajno sniženje viskoznosti.

Stabilnost škrobnih pasta tijekom miješanja pri visokim temperaturama (izražena kroz vrijednost kidanja; **Tablica 3**) porasla je dodatkom pektina kod neekstrudiranih uzoraka , no nakon ekstruzije pektin je imao suprotan utjecaj pa je vrijednost kidanja ekstrudata značajno porasla proporcionalno dodatku pektina.Sklonost paste retrogradaciji blago je snižena proporcionalno dodatku pektina neekstrudiranim uzorcima , sa vrlo izraženim trendom kod ekstrudiranih.

Sniženje maksimalne viskoznosti nakon ekstruzije utvrdili su i Jozinović i sur. (2012) , a sniženje sklonosti paste retrogradaciji uslijed ekstruzije utvrdila je Gelemanović (2013).

6.ZAKLJUČAK

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

- Pektim je povoljno utjecao na ekspanziju i teksturu kukuruznih ekstrudata s dodatkom 10% pivskog tropa .Naime, ekspanzija se linearno povećala s dodatkom pektina , a sukladno tome , linearno se snizila nasipna masa dobivenih ekstrudata .Tvrdoća ekstrudata značajno se snizila proporcionalno udjelu dodanog pektina , a lomljivost se povećala.
- Dodatak pektina uzrokovao je blagu promjenu boje neekstrudiranih uzoraka, koju bi primijetili samo trenirani senzorski analitičari, ali ekstruzija je rezultirala značajnom promjenom boje koju uočava i prosječan potrošač.
- Dok kod neekstrudiranih uzoraka dodatak pektina nije imao utjecaj na indeks apsorpcije vode, kod ekstrudiranih uzoraka ovaj parametar rastao je proporcionalno dodatkom pektina.
- Indeks apsorpcije vode povećao se dodatkom pektina neekstrudiranim uzorcima , a nakon ekstruzije utjecaj pektina na povećanje indeksa apsorpcije vode postao je naročito izražen.
- Dodatak pektina rezultirao je blagim povišenjem stabilnosti pasti neekstrudiranih smjesa kukuruzne krupice i pivskog tropa tijekom miješanja pri visokim temperaturama, no nakon ekstruzije značajno je narušio ovaj parametar .
- Sklonost paste retrogradaciji blago je snižena proporcionalno dodatku pektina neekstrudiranim uzorcima, sa vrlo izraženim trendom kod ekstrudiranih.

7.LITERATURA

Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. : Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack, Journal of Food Engineering 81,702-709, (2007.).

Alvarez-Martinez L., Kondury K.P. & Harper J.M.:A general model for expansion of extruded products. Journal of Food Science, 53, 609-615, 1998.

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

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

Cheftel JC: Extrusion cooking: Operation Principles, Research Trends and Food Applications. In *Processing and Quality of Foods*. Elsevier, London and New York, 1990.

Collona P, Tayeb J, Mercier C: Extrusion coking of starch and starchy products. In *Extrusion cooking*. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1989.

Cui SW, Chang YH: Emulsifying and structural properties of pectin enzymatically extracted from pumpkin. *LWT- Food Science and Technology,* 58:396-403, 2014.

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: Corn and sorghum starches: Production (373 – 431). In *Starch: Chemistry and technology*. Edit by James BeMiller and Roy Wistler. Academic Press, Third edition, 2009.

Gelemanović M: Svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice s dodatkom raži. *Diplomski rad,* Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2013.

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

Hagenimana A, Ding X, Fang T: Evaluation of rice flour modifided by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 24:1-9, 2005.

Huige NJ.,:Brewery by-products and effluents in: Hardwick W.A. (Ed.),Handbook of Brewing, Marcel Dekker,New York, p.p., 501-550,1994.

Jašić Midhat: Tehnologija voća i povrća. Dio 1.,Opšte osobine i čuvanje, hemijski sastav, nutritivna svojstva, fizikalno-hemijska i senzorna svojstva,Tuzla, Tehnološki fakultet,2007.

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

Jozinović A, Šubarić D, Ačkar Đ, 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.

Jukić M, Ugarčić-Hardi Ž, Koceva Komlenić D: Colour changes of pasta produced with different supplements during drying and cooking. *Deutche Lebensmittel-Rundschau* 103(4):159–163, 2007.

Larrea MA, Changb YK, Martinez-Bustos F: Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 38:213-220, 2005.

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

MacLeod A.M.:The physiology of malting, in:Pollock J.R.A. (Ed.),Brewing Science, vol. 1. Academic Press, New York, p.p., 145-232,1979.

Mussato S.I.,Dragone G. & Roberto I. C.:Brewers spent grain :generation, characteristics and potential applications. Journal of Cereal Science,43, 1-14, (2006.).

Pomeranz Y., Dikeman E. :From barley to beer- a mineral study. Brewers Digest 51, 30-32,1976.

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

Ramos-Aguilar OP, Ornelas-Paz JJ, Ruiz-Cruz S, Zamudio-Flores PB, Cervantes-Paz B, Gardea-Bejar AA, Perez-Martinez JJ, Ibarra-Junquera V, Reyes-Hernandez J: Effect of ripening and heat processing on the physicochemical and rheological properties of pepper pectins. *Carbohydrate Polymers,* 115:112-121, 2015.

Renard C.M.G.C.,Rohov Y.,Hubert C.,Della Valle G.,Thibault J.F.,Savina J.P.:Bleaching of apple pomace by hydrogen peroxide in alkaline conditions: optimisation and characterisation of the product,Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 30, 398-405,(1996.).

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

Rossen JL, Miller RC:. Food extrusion *Food Technology*, 27:46-53, 1973.

Santos M.,Jimenez J.J.,Bartolome B.,Gomez- Cordoves C. & del Nozal M.J.:Variability of Brewers spent grain within a brewery,Food Chemistry,80,(2003.).

Sosulski FW: The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, 39:344-350,1962

Tanasković I. Utjecaj dodatka zobi na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. *Diplomski rad,* Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2014.

Ugarčić–Hardi Ž: Poznavanje sirovina u prehrambenoj industriji. Biljni dio: Žitarice, mahunarke, uljarice (interna skripta). Prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayer-a u Osijeku, 2001.

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