

Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva izravno ekspaniranog kukuruznog ekstrudata

Mladen Brnčić, Damir Ježek, Suzana Rimac Brnčić,
Tomislav Bosiljkov, Branko Tripalo

Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper

UDK: 637.344

Sažetak

Tekstura je važno svojstvo ekstrudiranih snack proizvoda, a ovisi o uvjetima procesa ekstruzije, kao i o dodacima koji se dodaju osnovnoj sirovini - brašnu. Svrha ovoga rada, koristeći dvopužnu ekstruziju, bila je proizvesti izravno ekspanirani ekstrudat zadovoljavajućih teksturalnih svojstava, na bazi mješavine kukuruznog brašna i koncentrata proteina sirutke. Pripremljene su tri različite mješavine kukuruznog brašna i koncentrata proteina sirutke. Udio koncentrata proteina sirutke u mješavini iznosio je 7,5 %, 15 % te 22,5 %. Mješavine su obrađene u korotirajućem dvopužnom ekstruderu APV Baker, MPF 50.15 pri sljedećim uvjetima: unos vode od 10,08 L/h, 12,18 L/h, 14,28 L/h; brzina okretanja puža od 300 o/min.; temperature ekspanzije od 120 °C; unos mješavine od 70 kg/h. Određena su teksturalna svojstva koja su pokazatelji kvalitete ekstrudata: indeks snage loma i ekspanzijski omjer. Indeks snage loma je imao najveću vrijednost za uzorak sa 22,5 % koncentrata proteina sirutke i unosom vode od 14,28 L/h. Uzorak sa 7,5 % koncentrata proteina sirutke i 10,08 L/h vode imao je najveću vrijednost za ekspanzijski omjer. Dobiveni rezultati potvrdili su kvalitetu svih ispitivanih uzoraka. Rezultati su pokazali kako se direktno ekspanirani ekstrudati mogu proizvesti s koncentratom proteina sirutke do udjela od 22,5 % čime se dobiva proizvod obogaćen esencijalnim aminokiselinama na kojima je kukuruzno brašno deficitarno. Teksturalna svojstva pokazala su valjanost i opravdanost eksperimenta.

Ključne riječi: koncentrat proteina sirutke, ekstruzija, tekstura

Uvod

Počeci korištenja ekstruzije u prehrambenoj industriji datiraju od početka devetnaestog stoljeća i to u procesu proizvodnje tjestenine (hladno ekstrudiranje). Prava ekspanzija korištenja ekstrudera u prehrambenoj industriji dogodila se u drugoj polovici dvadesetog stoljeća korištenjem

jednopusnih ekstrudera u proizvodnji različitih vrsta *snack* proizvoda (Brnčić i sur., 2000.). U svakom ekstruzijskom postupku sirovina se nakon fizičkog ubacivanja u stroj prisilno podvrgava tehnološkim operacijama i to kako slijedi: miješanje, gnječenje, tlačenje mase, zagrijavanje mase, smicanje i na kraju ekspanziranje kroz jednu ili više precizno oblikovanih sapnica koje su izvedene tako da se uslijed ekspanzije i naglog pada tlaka proizvod - ekstrudat formira i suši (Akdogan, 1996.; Ježek i sur., 1996.).

Dvopusni ekstruderi imaju bolja svojstva od jednopusnih ekstrudera zbog karakteristika puža. Njihov veći prijenosni kut stvara veće mogućnosti za rukovanje s velikim brojem elemenata. Poboljšana prerada sirovine također se pojavljuje zbog jednolikosti smicanja kroz kanal ekstrudera i pojačanog miješanja u pužnom kanalu.

Pšenično brašno (10,33 % proteina), pšenična krupica (8,16 % proteina), kukuruzno brašno (9,42 % proteina), kukuruzna krupica (8,98 % proteina), ječmeno brašno (9,91 % proteina), bijelo rižino brašno (5,95 % proteina), raženo brašno (9,39 % proteina), sojino brašno (8,74 % proteina) su najčešće korištene sirovine za ekstrudirane proizvode (Kent i Evers, 1994.). Svojstvo elastičnosti sirovine omogućava smjesi da nakon izlaska iz sapnice pretvori povećanje volumena vodene pare u povećanje volumena ekstrudiranog materijala, što dovodi do ekspanzije sirovine uslijed naglog pada tlaka i stvaranja gotovog direktno ekspanziranog proizvoda (Wang i sur., 1993.; Cai i Diosady, 1993.; Brnčić i sur., 2006.).

Proteini sirutke su sporedni proizvod pri proizvodnji sira i za sada su nedovoljno iskorišteni u ljudskoj prehrani. Proteini sirutke se smatraju nutritivno najvrjednijim proteinima budući da imaju aminokiselinski sastav blizu biološkog optimuma. Na tržištu se nalazi više različitih tipova koncentrata proteina sirutke (KPS) koji se razlikuju po udjelu proteina (34 do 80 %) (Rimac, 2006.).

Brojna istraživanja zadnjih godina su pokazala da proteini sirutke imaju bioaktivno djelovanje. Potvrđeno je da su za ta bioaktivna svojstva odgovorni pojedini sastojci proteina sirutke (β -laktoglobulin, α -laktalbumin, imunoglobulini, goveđi serum albumin, laktoferin, laktoperoksidaza, bioaktivni peptidi). Provedena su brojna istraživanja o pozitivnim učincima proteina sirutke u prehrani ljudi prema kojima su potvrđena sljedeća bioaktivna svojstva: antikancerogena, antimikrobna, snižavanje krvnog tlaka, smanjenje apetita, snižavanje kolesterola (Magnus i Beaglehole, 2001.; Sprecher i sur., 2003.; Sugiyama i sur., 1997.).

Korištenje proteina sirutke u određenim tipovima *snackova* ima pozitivan učinak na zdravlje velikog broja pojedinaca svih dobnih skupina. Budući da sirovine za ekstruziju sadrže od 6 - 10 % proteina, dodatak proteina sirutke značajno poboljšava prehrambenu vrijednost ekstrudata. Također, dodatak proteina sirutke utječe i na teksturu, okus i boju ekstrudata. (François i Hanna, 1996.; Martinez-Serena i Villota, 1992.; Pelembe i sur., 2002.).

Kod obogaćivanja ekstrudata proteinima sirutke češće se koristi dvopužna ekstruzija nego jednopužna ekstruzija (Onwulata i sur., 2001.; Hsieh i Huff., 1993.; Jin i sur., 1995.). Prema Onwulati i sur. (1998.) dvopužna ekstruzija može poboljšati prijenos mehaničke energije što ima za posljedicu smanjenje negativnog utjecaja na teksturalna svojstva kod dodatka većih količina KPS. Teksturalne karakteristike ovakvih proizvoda također se mogu poboljšati optimiranjem procesnih parametara, što se posebice odnosi na unos vode te konfiguraciju i brzinu okretaja puža. (Gogoi i sur., 1996.; Edemire i sur., 1992.). Pri proizvodnji ekstrudata s povećanim udjelom proteina poželjno je povisiti temperaturu obrade u svim sekcijama ekstrudera i povećati unos vode čime se postiže bolja ekspanzija ekstrudata (Faubion i Hosney, 1982.; Zhang i Hosney, 1998.; Huber i Rokey, 1990.).

Dodatak proteina sirutke značajno smanjuje ekspanziju ekstrudiranih produkata (Kim i Maga, 1987.; Martinez-Serena i Villota, 1992.). Također je utvrđeno da međudjelovanje ova dva faktora utječe na promjer ekstrudata i čvrstoću ekstrudata iz koje se proračunom određuje indeks loma ekstrudata (François i Hanna, 1996.).

Materijal i metode

Za dobivanje ekstrudata u ovom radu korišteno je kukuruzno brašno te mješavine kukuruznog brašna i KPS.

KUKURUZNO BRAŠNO ISKLICANO: Proizvođač: Mlinar, Križevci

Kemijski sastav*:

- Voda: do 15 %
- Stupanj kiselosti: do 4,0

KONCENTRAT PROTEINA SIRUTKE (KPS): Proizvođač MILEI, GmbH, Leutkirchl

- Boja: bijela, s laganom nijansom žute

- Oznaka: Milacteal 60
 - Kemijski sastav*:
 - Proteini: 60,7 %
 - Voda: 3,1 %
 - Pepeo: 4,2 %
 - Laktoza: 25,0 %
 - Masti: 6,9 %
- *Deklarirano od strane proizvođača

1. **Ekstruzija** je provedena u korotirajućem dvopužnom ekstruderu, proizvođač APV Baker, «MPF 50.15», Velika Britanija pod sljedećim uvjetima:

- unos vode od 10,08 L/h, 12,18 L/h, 14,28 L/h;
- unos mješavine od 70 kg/h
- brzina okretanja puža od 300 o/min.
- temperature ekspanzije od 120 °C
- dijametar sapnice - 4 x 2 mm

Za ekstruziju su pripravljene mješavine kukuruznog brašna i koncentrata proteina sirutke u sljedećim omjerima:

- Kontrolni uzorci od kukuruznog brašna
- 7,5 % KPS i 92,5 % kukuruznog brašna
- 15 % KPS i 85 % kukuruznog brašna
- 22,5 % KPS i 77,5 % kukuruznog brašna

2. Određivanje teksturalnih svojstava:

2.1. Određivanje dijametra ekstrudata (d_e). Direktno ekspanzirani ekstrudat prerezan je i dijametar je izmjeren pomoću pomičnog mjerila (u milimetrima). Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi 3 puta te se izračuna srednja vrijednost. Mjerenje se napravi za deset uzoraka ekstrudata dobivenih u istim uvjetima proizvodnje te se izračuna njihova srednja vrijednost.

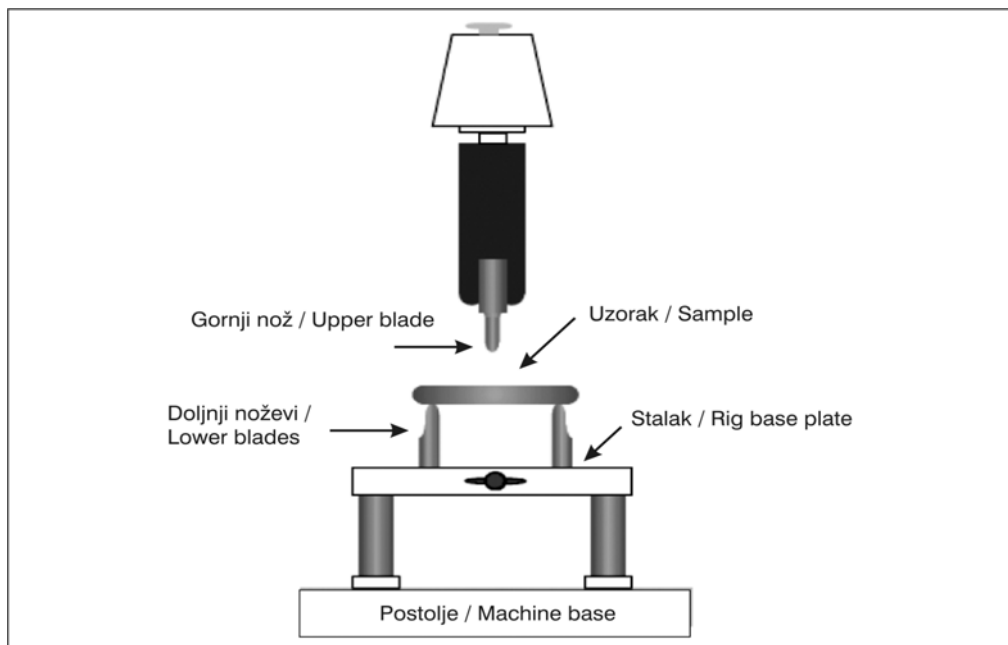
2.2. Određivanje ekspanzijskog omjera (EO). Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog sa dijametrom sapnice (d_s) ekstrudera (2 mm). Izuzimaju se uzorci posebno sa svake sapnice i vrše se

mjerenja. Odstupanja sa svake sapnice ne smiju biti veća od 10% od ostalih sapnica.

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

2.3. Određivanje ekvivalentne mase ekstrudata (EME). Ekvivalentna masa ekstrudata određena je za deset ekstrudata svakog uzorka. Deset ekstrudata od svakog uzorka, kojima su prije već određeni dijametar (d_e) i ekspanzijski omjer (EO), odvažuje se na analitičkoj vagi. Vrijednost je izražena kao vrijednost mjerenja, tj. zbroj masa svih deset ekstrudata i izražava se u gramima.

2.4. Određivanje mehaničkih svojstava izravno ekspanziranog kukuruznog ekstrudata. Mehanička svojstva direktno ekspanziranih kukuruznih ekstrudata određena su analizatorom teksture TA.HDPlus, proizvođač «Stable Micro Systems», Velika Britanija. U ovom radu za određivanje teksturalno-mehaničkih svojstava korištena je metoda «Savijanja» (slika 1).



Slika 1: Određivanje mehaničkih svojstava ekstrudata (metoda - «Savijanje»)

Figure 1: Determination of extrudate mechanical properties (method - «Bending»)

Ova metoda se koristi za materijale koji pokazuju svojstva otvorenog loma. Uzorak se postavlja na donje noževе tako da su krajevi jednako udaljeni od osnovice baze analizatora teksture. Na taj način gornji nož opterećuje uzorak točno po sredini, što ne znači nužno da će uzorak tako i puknuti. Ovom metodom se simulira zagriz u unutrašnjosti usta. Budući da je analizator teksture direktno povezan s računalom, omogućeno je neposredno *on line* praćenje procesa. Indeks snage loma (ISL) izračunava se kao omjer sile koja je potrebna da dođe do kolapsa uzorka (N) i d_e . Ta sila istovremeno predstavlja i čvrstoću uzorka (\check{C}_u). U tablici 1 prikazane su postavke rada analizatora teksture.

$$ISL = \frac{\check{C}_u(N)}{d_e(mm)} \quad / 2 /$$

Tablica 1: Postavke rada analizatora teksture TA.HDPlus za izravno ekspanzirane kukuruzne ekstrudate bez i sa dodatkom KPS

Table 1: Experimental setup of texture analyser TA.HDPlus for direct expanded extrudates with and without WPC addition

Opterećenje Loading	Savijanje Bending
Prije-testna brzina (prije kontakta sa ekstrudatom) Pre-test speed (before contact with extrudate)	3,5 mm/s
Testna brzina (od početka do kraja aktivnog mjerenja) Test speed (from beginning until the end of measuring)	3,0 mm/s
Poslije-testna brzina (nakon završenog mjerenja) Post-test speed (after performed measuring)	10 mm/s
Udaljenost Distance	10 mm
Način pokretanja Mode of work	Okidač Trigger
Broj mjerenja Number of measuring	600 podataka/s 600 data per second
Opcija kretanja sonde Probe moving	Povratak na početak Return
Uteg Load cell	30 kg

2.5. Statistička analiza. Eksperimentalni podaci su analizirani koristeći programski paket STATISTICA 6.

Rezultati i rasprava**Ekstruzija**

Ekstruzija je provedena HTST postupkom («High temperature-short time»). To znači da se smjesa u vrlo kratkom vremenskom razdoblju, a pri visokim temperaturama, podvrgava ekstremnim uvjetima obrade. Temperatura ekspanzije od 120 °C, broj okretaja puža od 300 o/min. i unos sirovine od 70 kg/h bili su konstantni za sve uzorke. Mijenjali su se unos KPS te unos vode. Ekstrudati su dobiveni uz recepture prikazane u tablici 2.

Tablica 2: Opis uzoraka ekstrudata

Table 2: Description of extrudates

Oznake uzoraka Samples marking	Opis uzoraka ekstrudata Description of extrudates
1 K/C*	10,8 L/h vode/water
2 K/C	12,18 L/h vode/water
3 K/C	14,28 L/h vode/water
1 KPS/WPC**	10,8 L/h vode/water; 7,5% KPS/WPC
2 KPS/WPC	12,18 L/h vode/water; 7,5% KPS/WPC
3 KPS/WPC	14,28 L/h vode/water; 7,5% KPS/WPC
4 KPS/WPC	10,8 L/h vode/water; 15% KPS/WPC
5 KPS/WPC	12,18 L/h vode/water; 15% KPS/WPC
6 KPS/WPC	14,28 L/h vode/water; 15% KPS/WPC
7 KPS/WPC	10,8 L/h vode/water; 22,5% KPS/WPC
8 KPS/WPC	12,18 L/h vode/water; 22,5% KPS/WPC
9 KPS/WPC	14,28 L/h vode/water; 22,5% KPS/WPC

K/C* - Kontrolni ekstrudati od kukuruznog brašna/Corn flour control extrudates

KPS/WPC** - Ekstrudati s dodatkom koncentrata proteina sirutke/Extrudates with whey protein concentrate addition

Bez obzira na visoku temperaturu ekspanzije od 120 °C i veliku dodirnu površinu čestica kukuruznog brašna, koja je takva bila nakon provedenog sisanja i pravilno određene veličine čestica (200 - 450 μm), svi su uzorci uspješno ekstrudirani. U istraživanju iz 2003. g. O'Connell je ukazao na veličinu čestica kao vrlo bitan parameter u procesnoj tehnologiji, dok su Desrumax i sur. (1998.) u svom radu ukazali na fenomene raspodjele veličine čestica prije ekstruzije kukuruznog brašna. Na to je također utjecala i velika brzina okretanja puža od 300 o/min., koja je utjecala da se potpuno ispunjeni žljebovi puža ne zablokiraju velikom količinom sirovine i da ne uzrokuju blokadu okretanja puža te zastoj rada ekstrudera.

U tablici 3 pokazani su rezultati za tri kontrolna uzorka koji su ekstrudirani samo kao direktno ekspanzirani kukuruzni ekstrudat bez dodatka KPS, uz različiti unos vode. Oni su u tablici 3 prikazani kao uzorci 1K-3K. Vidi se da je kod sva tri uzorka veliki dijametar ekstrudata, kakav ne postiže niti jedan uzorak u koji su dodati proteini. Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi tri puta i to zato što prerezani uzorak nije u obliku idealne kružnice. Najveći dijametar imao je uzorak 1 K (13,22 mm) uz ekspanzijski omjer od 6,61 mm, koji je pokazatelj ujednačenosti i ispravnosti sapnica ekstrudera, ali i dobro postavljenih uvjeta proizvodnje dvopužnog korotirajućeg ekstrudera te ekvivalentnu težinu ekstrudata od 0,38 g. Razlog tome su procesni uvjeti jer je ovaj ekstrudat dobiven uz najmanji unos vode u ekstruder od 10,08 L/h. U takvim najekstremnijim uvjetima, gdje u ekstruderu torzija dostiže granične vrijednosti, najveći dio unesene vode pravilno se raspodjeljuje po smjesi, a nakon ekspanzije odmah isparava. Voda koja je u takvom ekstrudatu zaostala pravilno se raspodjeljuje po cijeloj površini ekstrudata stvarajući pravilnu mrežastu strukturu. Ovaj proizvod pokazuje i najbolje teksturalne kvalitete usporedbom sa ostala dva ekstrudata bez dodatka KPS. Mehanička svojstva ekstrudata 1K-3K također su pokazana u tablici 3.

Tablica 3: Teksturalna svojstva izravno ekspanziranog čistog kukuruznog ekstrudata

Table 3: Textural properties of pure direct expanded corn extrudates

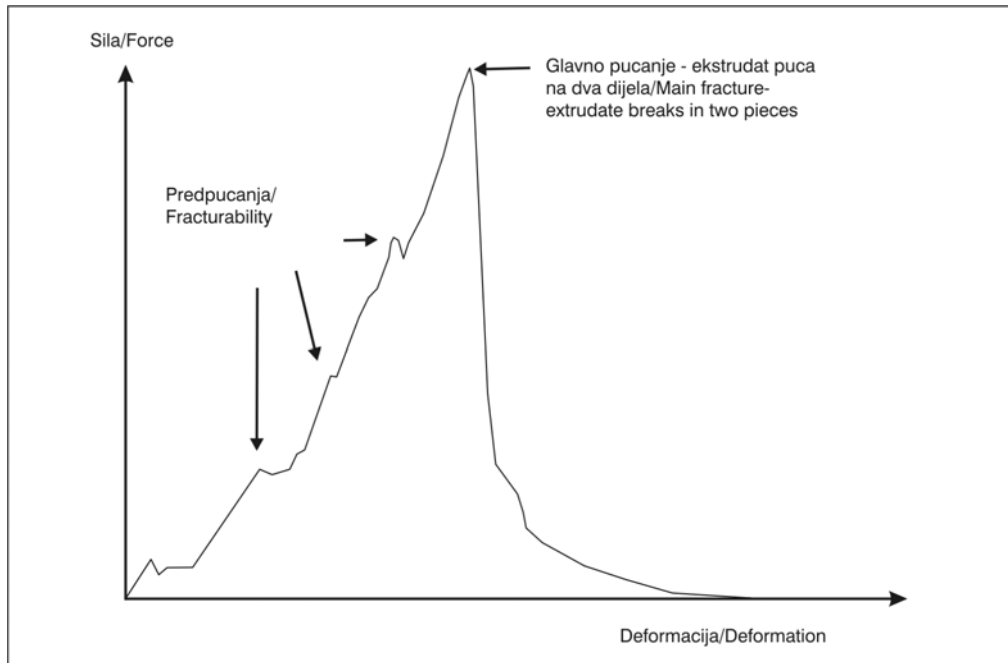
Uzorak Sample	d_e/d_c^* (mm)	EME/EWE** (g)	ISL savijanje BSI bending*** F/d_c (N/mm)
1 K/C	13,22	0,38	0,294
2 K/C	12,65	0,40	0,326
3 K/C	12,09	0,44	0,399

d_e/d_c^* - Dijametar ekstrudata/Extrudate diameter

EME/EWE** - Ekvivalentna masa ekstrudata/Extrudate weight equivalent

ISL savijanje/BSI bending*** - Indeks loma ekstrudata u savijanju/Breaking strength of extrudates in bending mode

Predpućanje predstavlja one sitne deformacije na uzorku koje pokazuju određene promjene, ali još uvijek ne predstavljaju pravi lom (slika 2). U trenutku kada dođe do pravog loma, kada uzorak dođe u točku kolapsa, tj. kada mu se nepovratno promjeni oblik, taj trenutak definiramo kao ćvrstoću.



Slika 2: Karakterističan dijagram loma prehrambenih heterogenih materijala
 Figure 2: Characterist diagram of breaking strength values for heterogeneous food materials

Na osnovu ta dva svojstva, koja praktički pokazuju ono što se događa tijekom konzumiranja hrane u ustima, izračunava se ISL. Također je važno dobro proučiti koja metoda je najprihvatljivija za koji uzorak, jer ono što se mehaničkim kretnjama događa u ustima potrebno je prilagoditi analizatoru teksture.

Metoda «Savijanja» najbolje definira zagriz, moguće savijanje i lom hrane (za ovu vrstu proizvoda). Nakon izmjerene čvrstoće uzoraka, koja odgovara onoj vrijednosti koja označava nepovratni kolaps strukture uzorka (pravi lom), proračunate su vrijednosti ISL-a koje predstavljaju otpor uzorka prema sili kojom su uzorci opterećeni. Važno je naznačiti da se svako ovo mjerenje zasniva na «Stress/Strain» (opterećenje/deformacija) metodologiji (Brnčić i sur., 2006.).

Najmanji ISL (tablica 3) imao je uzorak 1K i iznosio je 0,294 N/mm, a najveći ISL uzorak 3K i bio je 0,399 N/mm. Te vrijednosti su razumljive s obzirom da je uzorak 1K imao najmanji unos vode, a uzorak 3K najveći unos

vode. Razlika neisparene, tj. zadržane vode u uzorku 3K, povećava mu čvrstoću, a time i ISL vrijednost. To se podudara sa vrijednostima koje su za slična istraživanja dobili Padmanahban i Bhattacharya (1989.) i Mulvaney i Tai (1996.).

Ekstruzija uz dodatak KPS

Ekstruzija s dodatkom KPS je provedena s tri volumna protoka vode kao i za tri kontrolna uzorka samo s kukuruznim brašnom te uz tri različite koncentracije KPS (tablica 2). Uzorci su označeni kao 1 KPS - 9 KPS te su tako prikazana njihova svojstva u tablicama i na slikama. Fotografije dva reprezentativna uzorka prikazane su na slikama 3 i 4. Postavljeno je mjerilo i oznaka uzorka. Može se vrlo točno (bez proračuna) odrediti dijametar ekstrudata, broj ekstrudata po određenoj površini i usporediti uzorak s uzorkom. Na slici 3 prikazan je uzorak 4 KPS koji je u konačnici pokazao najbolja svojstva kad se u obzir uzme količina dodanog proteina, čvrstoća i sva teksturalna svojstva.

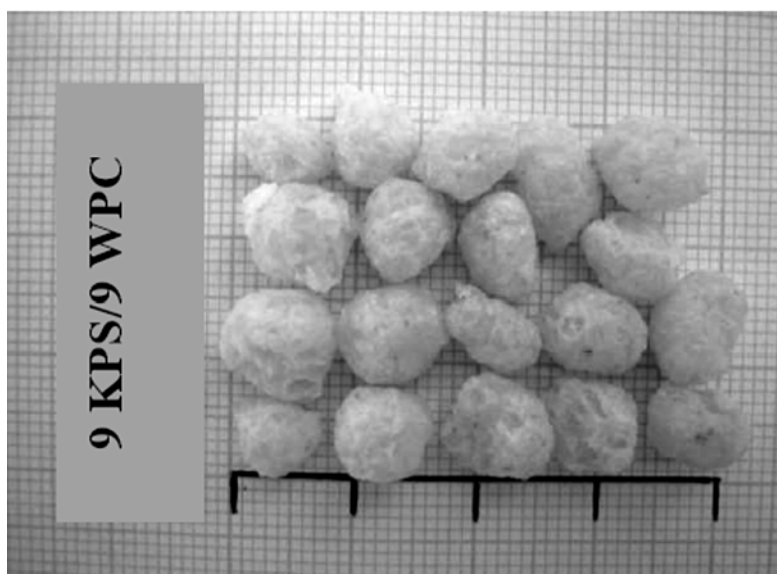


Slika 3: Uzorak ekstrudata uz dodatak KPS (15 %)

Figure 3: Extrudate sample with WPC addition (15 %)

Na slici 4 prikazan je uzorak 9 KPS koji je ekstrudiran pri maksimalnom unosu vode od 14,28 L/h i 22,5 % KPS. Kod ovako ekspaniranog ekstrudata vidi se nejednolikost ekspanzije i oblika ekstrudata. Neki su ekstrudati ekspanirali jače, a neki slabije. Velika količina proteina i maksimalno doziranje vode uz veliku brzinu okretanja puža stvorili su ekstrudat sa malom ekspanzijom i nepovoljnim teksturalnim svojstvima. Prema nekim autorima ekstruzija sa KPS se može pri različitim procesnim parametrima voditi uz maksimalni dodatak KPS-a od 25-30 % (Areas, 1992.; Francois i Hanna, 1996.)

Vidi se kako je kod uzorka 4 KPS na površini od 30×40 mm moguće postaviti 11 ekstrudata (u promjeru), a kod uzorka 9 KPS 19 ekstrudata. U tablici 4 prikazane su sve vrijednosti teksturalnih svojstava te se vidi (ako uspoređujemo samo ekstrudate uz dodatak KPS) da kako d_e raste, tako EO pada.



Slika 4: Uzorak ekstrudata uz dodatak KPS (22,5 %)

Figure 4: Extrudate sample with WPC addition (22,5 %)

Povećanje unosa vode znatno je utjecalo na smanjenje dijametra ekstrudata, ali i na ostale teksturalne vrijednosti. U tablici 4 vidi se kako se ta svojstva mijenjaju u ovisnosti o procesnim parametrima. Uslijed povećane koncentracije proteina (usporedba 1 KPS i 4 KPS), a istog unosa vode, vidi se

kako se smanjuje dijametar ekstrudata, EO (slika 5) i EME, a da se povećava ISL. Uzrok tome je povećana koncentracija unesenog proteina koji pod istim uvjetima proizvodnje uzrokuje očvršćenje stijenke uzorka. Ovdje nije došlo do potpune denaturacije proteina te on ostaje kao gradivni element u ekstrudatu. Ako ovdje još usporedimo i uzorak 7 KPS s već graničnim unosom proteina (22,5 %) za ovu temperaturu ekspanzije, iz eksperimentalnih podataka se vidi (tablica 4) kako povećani unos proteina stvara čvršći uzorak gdje je ISL bio 2,428 N/mm i EME 0,69 g.

Tablica 4: Teksturalna svojstva izravno ekspanziranog kukuruznog ekstrudata uz dodatak KPS

Table 4: Textural properties of direct expanded corn extrudates with WPC addition

Uzorak Sample	d_e/d_e^* (mm)	EME/EWE** (g)	ISL savijanje / BSI bending*** F/ d_e (N/mm)
1 KPS/WPC	11,58	0,65	0,438
2 KPS/WPC	9,71	0,61	1,167
3 KPS/WPC	7,66	0,53	3,003
4 KPS/WPC	9,26	0,62	2,663
5 KPS/WPC	7,71	0,53	2,779
6 KPS/WPC	6,87	0,49	3,062
7 KPS/WPC	9,09	0,69	2,428
8 KPS/WPC	7,72	0,58	3,369
9 KPS/WPC	7,04	0,52	4,498

d_e/d_e^* - Dijametar ekstrudata/Extrudate diameter

EME/EWE** - Ekvivalentna masa ekstrudata/Extrudate weight equivalent

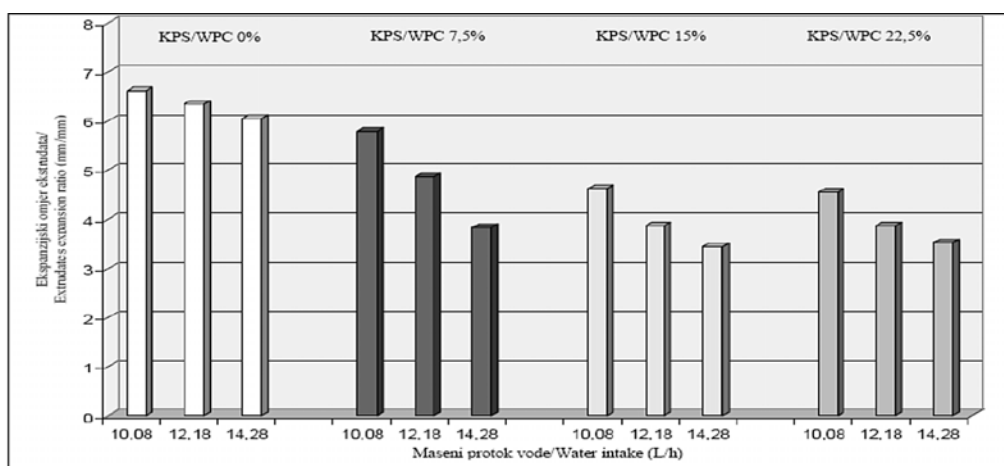
ISL savijanje/BSI bending*** - Indeks loma ekstrudata u savijanju/Breaking strength of extrudates in bending mode

Prema Onwulati i sur. (2001.), kod unošenja KPS u direktno ekspanzirani kukuruzni ekstrudat također se događaju slične promjene. Još nije pronađen način da se protein ekstruzijom obradi, a da ne utječe na povećanje čvrstoće ekstrudata, što prema navedenim autorima predstavlja nepoželjnu teksturalnu karakteristiku.

Primjeri koji to potvrđuju su uzorci 6 KPS i 9 KPS. Kod ovih uzoraka ISL vrijednosti jako su visoke. Razlog tome je u velikom unosu vode od 14, 28 L/h za oba uzorka i 15 % (6 KPS) i 22,5 % (9 KPS) unosa KPS. Kod ovih uzoraka je došlo do neravnomjerne raspodjele vode i proteina nakon ekstruzije, tako da su uzorci imali male dijemetre. Kako u tim slučajevima nije mogla nastati

pravilna umrežena struktura kukuruznog brašna, vode i proteina, svi rezultati mjerenja čvrstoće morali su se pratiti i vizualno tijekom mjerenja na analizatoru teksture. Nakupine vode i proteina kod nekih su gore navedenih ekstrudata stvarale čvrsta nepropusna mjesta pa kod nekih mjerenja analizatorom teksture (paralela) rezultati nisu bili reprezentativni.

Uspoređujući sve uzorke s dodatkom koncentrata proteina sirutke (1 KPS -9 KPS) s uzorcima direktno ekspanziranih ekstrudata bez dodatka proteina sirutke (1K-3K) u tablicama 3 i 4 vide se određeni trendovi u teksturalnim svojstvima. Vidi se da je kod uzoraka 1K-3K dijametar znatno veći od uzoraka s proteinima sirutke. Posebno se to odnosi na usporedbu uzorka 3 K s uzorcima 3 KPS, 6 KPS i 9 KPS. Svi ovi uzorci imaju jednaki unos vode od 14,28 L/h. Dijametar je uzorka 3 K iznosio 12,09 mm; uzorka 3 KPS 7,66 mm; uzorka 6 KPS 6,87 mm i uzorka 9 KPS 7,04 mm. Ekspanzijski omjer ekstrudata pokazuje trend smanjenja vrijednosti. Što je više vode i proteina (uzorak 9 KPS) EO pada. Pad vrijednosti EO definira se kao nepoželjan rezultat, ali dodatak proteina KPS je nužan. Na slici 5 vidi se padajući trend EO. Uzorak 4 KPS (10,08 L/h vode i 15 % KPS) pokazuje najveću vrijednost za EO za ekstrudate s dodatkom od 15 % KPS. I vrijednost ISL za uzorke s dodatkom 15 % KPS najbolja je za ekstrudat 4 KPS (2,663 N/mm). Za ISL to znači da što je manja vrijednost, ekstrudat će po površini zagrizati i mjestu loma najlakše pucati.



Slika 5: Utjecaj koncentrata proteina sirutke i doziranja vode u ekstruder na ekspanzijski omjer ekstrudata

Figure 5: Influence of WPC addition and water intake in extruder to extrudate expansion ratio

Statistička analiza

Utjecaji procesnih parametara na EME su prikazani tablicom 5. Statistička signifikantnost pojedinih regresijskih koeficijenata, odnosno utjecaja, određena je analizom varijance (ANOVA) i izražena je preko p -vrijednosti (signifikantno kada je $p < 0,05$). Usporedbom dobivenih regresijskih koeficijenata i p -vrijednosti vidimo da unos vode Q_{H_2O} ima veći utjecaj od KPS. Negativni koeficijenti KPS i Q_{H_2O} indiciraju da se s povećanjem KPS i Q_{H_2O} smanjuje EME. Vrijednosti korelacijskih koeficijenata R^2 i prilagođenih korelacijskih koeficijenata, koji uzima u obzir broj nezavisnih varijabli R^2_{adj} , veće su od 0,933, što je pokazatelj da model dobro opisuje dobivene rezultate. Dobiveni empirijski model, s fizičkim veličinama, prikazuje jednadžba 3.

Tablica 5: Utjecaj procesnih parametara na EME

Table 5: Influence of process parameters to EWE

	Regresijski koeficijent Regression coefficient	p vrijednost p value
Intercept	0,580000	0,000000
KPS/WPC	-0,025000	0,006484
Q_{H_2O}/Q_{H_2O}	-0,070000	0,000061
$s^2 = 0,003$ $R^2 = 0,9503$ $R^2_{adj} = 0,9337$		

s^2 - Varijanca/Variance

R^2 - Koeficijent korelacije/Correlation coefficient

R^2_{adj} - Prilagođeni koeficijent korelacije koji uzima u obzir broj nezavisnih varijabli/Adjusted correlation coefficient that takes independent variables into consideration

p vrijednost signifikantno različita $p < 0,05$ / p value differ significantly $p < 0,05$

$$ETE = 0,981 - 0,000018 * KPS^2 - 0,0333 * Q_{H_2O} \quad / 3 /$$

Utjecaji procesnih parametara na ILS su prikazani tablicom 6. Usporedbom dobivenih regresijskih koeficijenata i p -vrijednosti vidimo da koncentracija proteina sirutke, KPS, ima nešto veći utjecaj od unosa vode, Q_{H_2O} . Pozitivni koeficijenti od KPS i Q_{H_2O} znače da se povećanjem KPS i Q_{H_2O} povećava ILS. Dobiveni empirijski model, s fizičkim veličinama, prikazuje jednadžba 4. ILS ravnina je prikazana na slici 6.

Tablica 6: Utjecaj procesnih parametara na ILS

Table 6: Influence of process parameters to BSI

	Regresijski koeficijent Regression coefficient	p vrijednost p value
Intercept	2,600778	0,000007
KPS/WPC	0,947833	0,005092
Q_{H_2O}/Q_{H_2O}	0,839000	0,008902
$s^2 = 0,2915$ $R^2 = 0,8461$ $R^2_{adj} = 0,7948$		

s^2 - Varijanca/Variance

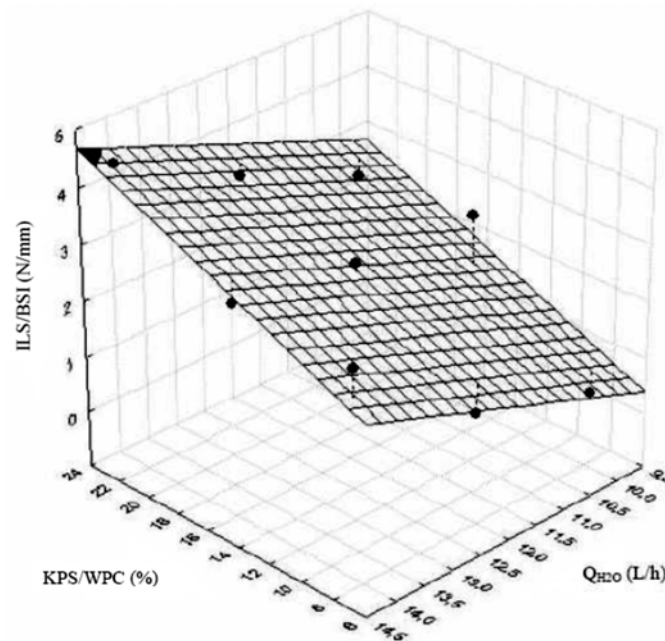
R^2 - Koeficijent korelacije/Correlation coefficient

R^2_{adj} - Prilagođeni koeficijent korelacije koji uzima u obzir broj nezavisnih varijabli/Adjusted correlation coefficient that takes independent variables into consideration

p vrijednost signifikantno različita $p < 0,05$ / p value differ significantly $p < 0,05$

$$ILS = -4,161 + 0,126 * KPS + 0,400 * Q_{H_2O}$$

/ 4 /



Slika 6: Ploha utjecaja procesnih parametara na indeks loma ekstrudata

Figure 6: Plot area of process parameters influence on extrudates breaking strength index

Zaključci

Može se zaključiti kako koncentrat proteina sirutke, uz pravilno postavljene procesne parametre ekstruzije, značajno diže vrijednost ekspaniranog proizvoda - ekstrudata. Kao rezultat dodatka proteina sirutke mijenjaju se teksturalna svojstva ekstrudata. Promjene u dijametru, ekspanzijskom omjeru, a posebno u značajnom povećanju čvrstoće ekstrudata, ne mogu se izbjeći prema osnovnom ekspaniranom ekstrudatu bez dodatka proteina sirutke. Ali, dodatak proteina u kukuruzno brašno značajno podiže prehrambenu vrijednost direktno ekspaniranog ekstrudata. Povećanjem unosa proteina i vode povećava se masa ekstrudata, što je izraženo povećanjem u vrijednostima ekvivalentne težine. Generalno, može se zaključiti da povećani unos proteina sirutke u osnovnu sirovinu za ekstruziju (kukuruzno brašno) povećava čvrstoću ekstrudata. Najveće vrijednosti čvrstoće, prikazane kroz vrijednost indeksa loma ekstrudata bile su za uzorke sa najvećim unosom vode i proteina. Najprihvatljivijim se, s obzirom na dobivene teksturalne rezultate, pokazao ekstrudat dobiven s unosom od 15 % koncentrata proteina sirutke i 10,8 L/h unosa vode.

INFLUENCE OF WHEY PROTEIN CONCENTRATE ADDITION ON TEXTURAL PROPERTIES OF CORN FLOUR EXTRUDATES

Summary

Texture is an important property of extruded snack products, and depended on extrusion process conditions, raw material properties and various ingredients properties as well. The main purpose of this research was, using twin-screw extrusion, to manufacture a direct expanded extrudate based on mixtures of corn flour and whey protein concentrate with acceptable textural properties. Mixtures were made of corn flour and three different concentrations of whey protein concentrate (7,5 %, 15 %, 22,5 %). Materials were processed in co-rotating twin-screw extruder APV Baker, MPF 50.15 under input conditions: water intake was 10,08 L/h, 12,18 L/h, 14,28 L/h, screw speed was 300 rpm; expansion temperature was 130 °C; feed rate was 70 kg/h. Textural properties: breaking strength index and expansion ratio were determined. Breaking strength index had largest value for the sample with 22,5 % of whey protein concentrate and water intake of 14,28 L/h. Sample with 7,5 % of whey protein concentrate and 10,08 L/h had largest

expansion ratio. Calculated textural properties confirmed validity of samples. This results suggest that enrichment of extrudates with wpc addition up to 22,5 % to improve their nutritional value as well as their textural characteristics can be accomplished. Validation of direct expanded extrudates in dependence of its textural properties have shown validity and justification of this research.

Key words: whey proteins, extrusion, texture

Literatura

- AKDOGAN, H. (1996): Pressure, torque, and energy response of a twin screw extruder at high moisture contents. *Food Research International*, 29(5), 423-429.
- AREAS, J.A.G. (1992): Extrusion of food proteins. Critical Reviews in *Food Science and Nutrition*, 32(4), 365-392.
- BRNČIĆ, M., MRKIĆ, V., JEŽEK, D., TRIPALO, B. (2000): Modeli reakcija za vrijeme ekstruzije pšeničnog škroba. *Kemija u Industriji*, 49(3), 101-110.
- BRNČIĆ M., TRIPALO B., JEŽEK D., SEMENSKI D., DRVAR N., UKRAINCZYK M. (2006): Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates. *Sadhana*, 31(5), 527-536.
- CAI, W., DIOSADY L.L. (1993): Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder, *Journal of Food Science*, 58(4), 872-876.
- DESRUMAUX, A., BOUVIER, J.M., BURRI, J. (1998): Corn Grits Particle Size and Distribution Effects on the Characteristics of Expanded Extrudates. *Journal of Food Science*, 63(5), 857-863.
- EDEMIRE, M. M., EDWARDS, R H., MCCARTHY, K. L. (1992) Effect of screw configuration on mechanical energy transfer during twin-screw extrusion of rice flour. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 25, 502-508.
- FAUBION, J.M., HOSENEY, R.C. (1982): High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. *Cereal Chemistry*, 59, 529-533.
- FRANÇOIS, P.M., HANNA, M.A. (1996): Physical and functional properties of twin-screw extruded whey protein concentrate-corn starch blends. *Lebensmittel-wissenschaft und Technologie*, 30(8), 359-366.
- GOGOI, B. K., OSWALT, A. J., CHOUDURY, G. S. (1996): Reverse screw elements and feed composition effects during twin-screw ekstrusion of rice flour and fish muscle blends. *Journal of Food Science*, 49(2), 40-43.
- HUBER, G.R., ROKEY, G.J. (1990): Extruded snacks. In *Snack Food* (R.G. Booth, ed.) Van Nostrand Reinhold, New York, 107-138.

HSIEH, H.L., HUFF H.E. (1993): Corn meal extrusion with emulsifier and soybean. *Fiber, Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 26(6), 544-551.

JEŽEK, D., ĆURIĆ, D., TRIPALO, B., KARLOVIĆ, D. (1996): Production of dietary fibres from sugar beet pulp by enzyme *Betanaza T* in extrusion process. *Chemical and Biocheical. Engineering Quarterly*, 10(3), 103-106.

JIN, Z., HSIEH, F., HUFF, H.E. (1995): Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *Journal of Cereal Science*, 22(2), 185-194.

KENT, N. L., EVERS, A. D. (1994): Cereal crops. In *Technology of Cereals*, Elsevier Science Ltd, Oxford, 1-29.

KIM, C. H., MAGA, J. A. (1987) Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und Tehnologie*, 20(6), 311-318.

MAGNUS, P., BEAGLEHOLE, R. (2001): The real contribution of the major risk factors to the coronary epidemic: time to end the «only-50%» myth. *Archives of Internal Medicine*, 161, 2657-2660.

MARTINEZ-SERENA, M. D., VILLOTA, R. (1992): Reactivity, functionality, and extrusion performance of native and chemically modified whey proteins. In: Kokini, J. L., Ho, C. T. i Karwe, M. V., *Food Extrusion Science and Technology*, Marcel Dekker Inc., New York, 387-414.

MULVANEY, S.J., TAI K.H. (1996): Effect of extruder barrel heating and cooling on product temperature measurement, *Extrusion Communique*, 9, 12-17.

O'CONNELL, R (2003): Shake-down for a better results in fine powders. *Technical Trends*, 4, 82-85.

ONWULATA, C. I., SMITH, P. W., KONSTANCE, R. P., HOLSINGER, V. H. (1998): Physical properties of extruded products as affected by cheese whey. *Journal of Food Science*, 63(5), 814-818.

ONWULATA, C. I., SMITH, P. W., KONSTANCE, R. P., HOLSINGER, V. H. (2001): Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Tehnologie*, 34(7), 424-429.

ONWULATA, C. I., SMITH, P. W., KONSTANCE, R. P., HOLSINGER, V. H. (2001): Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, 34(8), 679-687.

PADMANABHAN, M., BHATTACHARYA, M. (1989): Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal Food World*, 34(11), 945-949.

PELEMBE, L. A. M., ERASMUS, C. I TAYLOR, J. R. N. (2002): Development of a protein-rich composite sorghum-cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *Lebensmittel-Wissenschaft und Tehnologie*, 35(2), 120-127.

RIMAC, B.S. (2006): Fizikalno kemijska svojstva proteina sirutke u funkciji različitih postupaka obrade. Disertacija. Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb.

SPRECHER, D., WATKINS, T., BEHAR, S., BROWN, W., RUBINS, H. I SCHAEFER, E. (2003): Importance of high-density lipoprotein cholesterol and triglyceride levels in coronary heart disease. *American Journal of Cardiology*, 91(6), 575-580.

SUGIYAMA, K., YAMAKAVA, A., KUMAZAVA, A. I SAEKI, S. (1997): Methionine content of dietary proteins affects the molecular species composition of plasma phosphatidylcholine in rats fed a cholesterol-free diet. *Journal of Nutrition*, 127(4), 596-600.

WANG S., CASULLI J., BOUVIER J.M. (1993): Effect of dough ingredients on apparent viscosity and properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 28(5), 465-479.

ZHANG, W., HOSNEY, R. C. (1998): Factors affecting expansion of corn meals with poor and good expansion properties. *Cereal chemistry*, 75(5), 639-643.

Adrese autora - Author's addresses:

Doc. dr. sc. Mladen Brnčić¹

Prof. dr. sc. Damir Ježek¹

Doc. dr. sc. Suzana Rimac Brnčić²

Tomislav Bosiljkov, dipl. ing.¹

Prof. dr. sc. Branko Tripalo¹

¹Zavod za procesno inženjerstvo

²Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo

Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Pierottijeva 6, Zagreb

Prispjelo - Received: 07.01.2008.

Prihvaćeno - Accepted: 11.04.2008.