

Obogaćivanje ekstrudiranih proizvoda proteinima sirutke

Mladen Brnčić, Sven Karlović, Tomislav Bosiljkov, Branko Tripalo,
Damir Ježek, Ivana Cugelj, Valentina Obradović

Autorski pregledni rad – Author's review

UDK: 637.344

Sažetak

Proizvodi uz dodatak sirutkinih proteina najčešće se odnose na aromatizirane napitke, aromatizirane proteinske pločice i razne dijetetske pripravke. Posljednjih godina sve više se za proizvodnju prehrambenih proizvoda koristi proces ekstruzije. Ovaj proces se, između ostalog, koristi za dobivanje direktno ekspandiranih proizvoda, dakle onih koji se nakon mehaničko-termičke obrade u ekstruderu odmah, ili nakon kraćeg dosušivanja, pakiraju i šalju na tržište. Jedna od takve vrste hrane je «Snack» hrana. Za proizvodnju «Snack» hrane koriste se najčešće dvopužni korotirajući ekstruderi u kojima se sirovina podvrgava visokim temperaturama obrade uz kratko vrijeme zadržavanja unutar ekstrudera te intenzivnu ekspanziju uz nagli pad tlaka. Najčešće se kao osnovne sirovine za ovu vrstu proizvoda koriste kukuruzno, pšenično, raženo i rižino brašno, koje sadrži maksimalno do 9% proteina. Razvojem tehnologije ekstruzije posebna se pozornost poklanja obogaćivanju ekstrudiranih proizvoda različitim vrstama proteina u koje spadaju i proteini sirutke, te se posebno u smjesu za ekstruziju dodaju u određenim postocima koncentraciji proteina sirutke. U ovom radu dat ćemo prikaz najnovijih istraživanja i postignuća ugradnje raznih tipova koncentrata proteina sirutke u vrstu hrane tipa «Snack», koji predstavlja rastući segment prehrambenih proizvoda za direktnu konzumaciju, a kojima dodatak koncentrata proteina sirutke daje dodatnu nutricionističku kvalitetu i funkcionalnost.

Ključne riječi: proteini sirutke, ekstruzija, ekstrudati

Uvod

Danas je u svijetu prehrambene industrije nezaobilazan tip hrane pod popularnim nazivom «Snack» hrana. Pod tu vrstu prehrambenih proizvoda podrazumijevaju se svi proizvodi koji u sebi nose (na neki način) prefiks «hrana za slobodno vrijeme» (Grenus i sur., 1993.; Miller, 1985.). Popularni nazivi «Čips», «Flips», «Smoki» i sl. kod određenog broja ljudi su omiljeni, a kod drugih se ne konzumiraju. Većina ljudi danas, barem što se tiče hrane, dobro je upućena u vrste prehrambenih proizvoda, njihove (osnovne) sastojke pa i na način proizvodnje određenih vrsta prehrambenih proizvoda. Pojmovi poput «Omega kiseline», «Kolesterob», «Low Density Lipoproteins» (LDL)*, «High Density Lipoproteins» (HDL)**, «Nezasićene masne kiseline», «Slobodni radikali» i dr. najčešći su u svakodnevnom razgovoru ljudi dok ili kupuju ili konzumiraju hranu. Tome je, između ostalog, doprinijela rastuća informatizacija, ali i stupanj svijesti kod većeg broja krajnjih potrošača. Tako i «Snack» hrana ima svoje konzumente, ali i one koji se protive takvoj vrsti prehrambenih proizvoda (Brnčić i sur., 2006.).

Proizvođači ovakve vrste hrane shvatili su prednosti, ali i mane ovakvog proizvoda. Da je na bilo koji način ovakav tip hrane štetan po potrošača, ne bi se niti proizvodila. Ono što zaista treba da bi ovakva hrana zauzela još istaknutije mjesto u prehrani jesu unapređenje proizvodnog procesa i poboljšanje nutritivnih i organoleptičkih svojstava proizvoda. Većinom se, npr. flipsovi, proizvode od kukuruzne krupice ili kukuruznog brašna. Dodavanje određenih vrsta proteina može poboljšati prehrambena svojstva. Najčešće korišteni tipovi proteina za obogaćivanje «Snack» proizvoda jesu: proteini sirutke (životinjskog porijekla) i proteini soje (bilnog porijekla) (Kitabatake i sur., 1985.; Kim i Maga, 1987.).

U ovome radu dat ćemo opširan pregled korištenja proteina sirutke za obogaćivanje ekspandiranih i direktno ekspandiranih «Snackova». Tu se posebno misli na proizvodnju procesom ekstruzije. Za dobivanje ovakvih proizvoda najčešće se koriste, radi svojih dobrih svojstava, dvopužni ekstruderi s korotirajućim okretanjem pužnica gdje se obje pužnice okreću simultano i u istom smjeru (Onwulata i sur., 2006.; Kumar i sur., 2008.; Sokhey i sur., 1994.; Kirby i sur., 1988.; Gogoi i sur., 1996.; Della Valle i sur., 1987.).

* i ** U tekstu su napisane engleske verzije izraza, jer su tako u upotrebi u svakodnevnoj terminologiji.

Sirutka

Još od antičkih vremena ističe se vrijednost sirutke kao napitka. Hipokrat (460. god. p. n. e.) preporuča korištenje sirutke kao sredstva za terapiju u liječenju različitih vrsta bolesti, kao što su kožna oboljenja, tuberkuloza, žutica i bolesti probavnih organa. U razvijenim europskim zemljama u 18. i 19. stoljeću (Švicarska, Njemačka i Austrija) smatralo se da sirutka posjeduje svojstva diuretika i da pomaže u oporavku i okrepjenju nakon bolesti i fizičkih napora (Tratnik, 2003.).

Sirutka se dobiva u tehnološkom procesu proizvodnje sira ili kazeina kao sporedni proizvod. Mogućnosti korištenja sirutke u prehrambenoj industriji su velike te se već dulje vrijeme ulažu naponi da se sirutka osim za stočnu hranu, pravilno iskoristi i u ljudskoj prehrani. Osnovna podjela sirutke je vezana uz način koagulacije kazeina te se dijeli na sirutku nastalu djelovanjem kiseline (kisela sirutka) i sirutku nastalu djelovanjem enzima (slatka sirutka) (Tratnik, 1998.). Postoji još i tehnička sirutka koja se dobiva taloženjem proteina mlijeka s drugačijim agensima u odnosu na one koji se upotrebljavaju pri proizvodnji kisele i slatke sirutke.

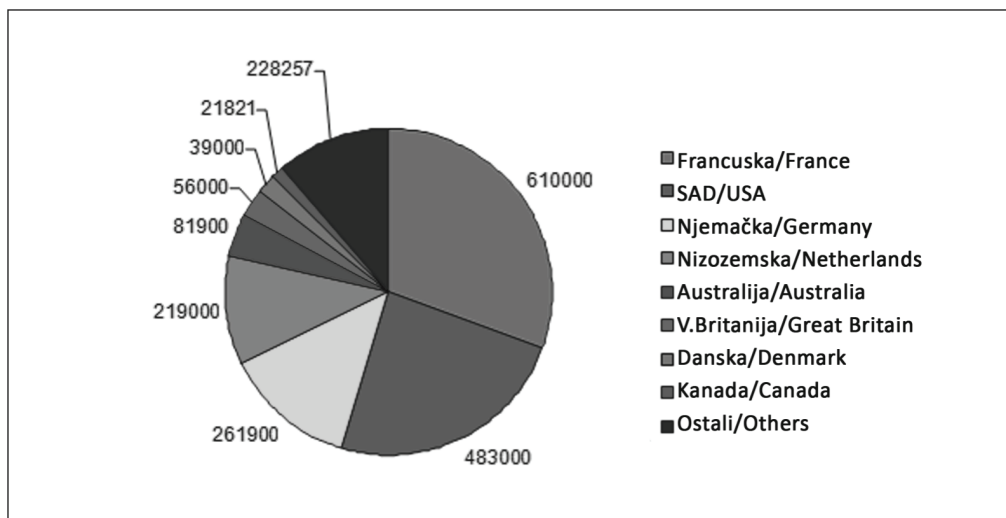
Oko 50% od suhe tvari mlijeka prelazi u sirutku, i to laktoza i proteini sirutke u cijelosti, topljive mineralne tvari i vitamini B skupine. Tijekom proizvodnje sira razgradi se vitamin C. U tablici 1 prikazan je primjer prosječnih udjela sastojaka sirutke (Tratnik, 2003.).

Tablica 1: Sastojci suhe tvari u sirutki (Tratnik, 1998.)

Table 1: Dry matter composition in whey (Tratnik, 1998)

Sastojci suhe tvari Dry matter constituents	(g/100 mL) (g/100 mL)	(%) od ukupnih (%) of total
Laktoza Lactose	4,66	71,7
Proteini sirutke Whey proteins	0,91	14,0
Mineralne tvari Mineral matter	0,50	7,7
Mliječna mast Milk fat	0,37	5,7
Ostalo Other	0,06	0,9
Ukupno Total	6,50	100,0

U svjetskim razmjerima najveća proizvodnja sirutke u prahu (67% ukupne svjetske proizvodnje) podijeljena je u dvije zapadno europske velesile (Francuska i Njemačka) te na Sjedinjene Američke Države. Na slici 1 prikazana je proizvodnja sirutke u tonama u 2004 g. (Rimac, 2006.).



Slika 1: Svjetska proizvodnja sirutke u prahu u tonama za 2004. godinu (Rimac, 2006.)

Fig. 1: World manufacture of powdered whey in tonnes for year 2004 (Rimac, 2006)

Globalno gledano, trgovina prehrambenih proizvoda sa sirutkom povećala se za 12% u razdoblju između 1995. i 2000. godine (Voorbergen i Zwanenberg, 2002.; Allen i sur, 2007.). Iako je ovo povećanje značajno, potražnja za prehrambenim proizvodima sa sirutkom kao dodatkom još uvijek nije zadovoljavajuća. Mogućnosti tehnološke manipulacije sirutkom, uz relativno nisku cijenu nabave, otvaraju nove mogućnosti u istraživanju i stvaranju novih proizvoda.

Proteini sirutke

Proteini sirutke su sporedni proizvod pri proizvodnji sira i za sada su nedovoljno iskorišteni u ljudskoj prehrani. Uslijed svoje nutritivne vrijednosti

(velikog udjela esencijalnih aminokiselina, aminokiselina koje sadrže sumpor te aminokiselina razgranatog lanca) i poželjnih funkcionalnih svojstava, proteini sirutke se sve više koriste u proizvodnji različitih, tradicionalno pripremljenih proizvoda, ali i novostvorenih prehrambenih proizvoda. Kako imaju aminokiselinski sastav blizu biološkog optimuma, smatraju se nutritivno najvrjednijim proteinima (Rimac, 2006.).

Brojna istraživanja posljednjih godina pokazala su 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). Također su provedena 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 (Sacks, 2002.; Spercher i sur., 2003.; Areas, 1992.; Clemente, 2000.; De Witt, 1998.). Pokazalo se da proteini sirutke mogu značajno pomoći pri liječenju ili ublažavanju simptoma određenih bolesti (Singh i sur., 2007.; Huber i Rokey, 1990.).

Neka otkrića djelovanja proteina sirutke pokazala su da njihovo korištenje usporava rast karcinoma dojke, ojačava imunološki sistem ljudi oboljelih od AIDS-a i smanjuje formiranje zubnog plaka i karijesa (Pins i Keenan, 2002.; Schmidl i sur., 1994.; Ziegler i sur., 1998.; Loimaranta i sur., 1999.). Korisnost proteina sirutke pokazala se i kod djece, aktivnih mladih zdravih ljudi, sportaša, kao i kod ljudi u zrelijoj dobi. Tako dodavanje proteina sirutke u «Snack» hranu koja je danas nezaobilazna u modernom potrošačkom društvu posebno zapadnih zemalja (Europa, SAD), tijekom proizvodnje, tj. obogaćivanje iste, daje pozitivan učinak te povećava potrošnju ove vrste proteina ugrađenih u ovu vrstu prehrambenih proizvoda (Brnčić, 2006.).

Od ukupnog udjela proteina u sirutki polovicu čini β -laktoglobulin. Slijedi α -laktalbumin sa 22% te onda imunoglobulini, proteoza peptoni, albumin krvnog seruma te u manjoj količini laktoferin, laktolin, glikoprotein i transferin. Kinsella (1986.) je u svojem istraživanju opisao mliječne proteine s posebnim osvrtom na njihova fizikalno kemijska i funkcionalna svojstva. U tablici 2 prikazan je ukupan udio proteina u sirutki. Strukturalno gledano, proteini sirutke su tipični, kompaktni globularni proteini s relativno ravnomjernom raspodjelom niza nepolarnih (hidrofobnih), polarnih (neutralnih) te nenabijenih ili nabijenih ostataka aminokiselina (kisele ili bazne).

Tablica 2: Udio proteina u sirutki (Kinsella,1986.)

Table 2: Amount of proteins in whey (Kinsella,1986)

Proteini sirutke Whey proteins	(%) od ukupnih (% of total)
β -laktoglobulin β -lactoglobulin	50
α -laktalbumin α -lactalbumin	22
Imunoglobulini Immunoglobulins	12
Proteaza peptoni Protease peptons	10
Albumin krvnog seruma Blood serum albumin	5
Ostali Others	1

Intramolekularna nabrana struktura tih proteina rezultat je disulfidnih veza (S-S) između ostataka cisteina, koje su unutar molekule uglavnom prekrivene hidrofobnim ostacima (Tratnik, 1998.).

Aminokiselinski udio, pogotovo udio slobodnih aminokiselina, vrlo je različit. U kiseloj sirutki udio slobodnih aminokiselina je i do 10 puta veći od udjela slobodnih aminokiselina u početnom mlijeku. U slatkoj je sirutki taj udio 4 puta veći (Bucci i Unlu, 2000.).

Koncentrati proteina sirutke

Koncentrat proteina sirutke je proizvod koji se na tržištu razlikuje po udjelu proteina. Tvornički (najčešći) naziv mu potječe od izvornog engleskog «Whey protein concentrate» ili kratice WPC, kod nas kao KPS. Tako ga nalazimo (izvorno) u više tipova i to kao: WPC 34, WPC 50, WPC 60, WPC 75 i WPC 80. Brojevi iza izvorne engleske kratice označavaju udjel proteina. Npr. WPC 60 označava koncentrat proteina sirutke sa 60% proteina. Koncentrat proteina sirutke se proizvodi različitim tehnološkim postupcima kao što su ultrafiltracija, elektrodijaliza, dijaliza, reverzna osmoza, diafiltracija, mikrofiltracija, taloženje s reagensima (metafosfati, karboksimetilceluloza, željezo i alkohol) te fizikalne i kromatografske metode

(gel filtracija, ionska izmjena, ultracentrifugiranje, koncentriranje upje-njavanjem) (Schmidt, 1984.).

Sastav nekih vrsta koncentrata proteina sirutke prikazan je u tablici 3.

Tablica 3: Sastav nekih koncentrata proteina sirutke (Rimac, 2006.)

Table 3: Composition of some whey protein concentrates (Rimac, 2006)

Sastojak Component	KPS 34 WPC 34	KPS 50 WPC 50	KPS 60 WPC 60	KPS 75 WPC 75	KPS 80 WPC 80
Protein (%) Proteins (%)	34,0 - 36,0	50,0 - 52,0	60,0 - 62,0	75,0 - 78,0	80,0 - 82,0
Laktoza (%) Lactose (%)	48,0 - 52,0	33,0 - 37,0	25,0 - 30,0	10,0 - 15,0	4,0 - 8,0
Masti (%) Fats (%)	3,0 - 4,5	5,0 - 6,0	1,0 - 7,0	4,0 - 9,0	4,0 - 8,0
Pepeo (%) Ash (%)	6,5 - 8,0	4,5 - 5,5	4,0 - 6,0	4,0 - 6,0	3,0 - 4,0
Vlaga (%) Moisture (%)	3,0 - 4,5	3,5 - 4,5	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0	3,5 - 4,5

Ekstruzija

Tehnologija ekstruzije

Ekspanzija korištenja ekstrudera u prehrambenoj industriji dogodila se u drugoj polovici dvadesetog stoljeća korištenjem jednopužnih ekstrudera u proizvodnji različitih vrsta «Snack» proizvoda (Brnčić i sur., 2000.). Ekstruzijskom postupku u prehrambenoj industriji daje se prednost pred drugim procesnim tehnikama u smislu kontinuirane prerade sirovine s velikim stupnjem produktivnosti i značajnim očuvanjem nutritivnih svojstava proizvoda, radi obrade koja se događa u vrlo kratkom vremenu zadržavanja, a pri visokim temperaturama obrade (Guy, 2001.).

Zanimljiv je razvoj ekstruzijskog postupka u prehrambenoj i srodnim industrijama, a danas je sam proces proizvodnje hrane ekstruzijom postao usavršen i nezaobilazan (Ježek i sur., 1996.; Brnčić i sur., 2002.). 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 expandiranje kroz jednu ili više precizno oblikovanih sapnica koje su izvedene tako da se uslijed ekspanzije i naglog pada tlaka proizvod-ekstrudat formira i suši (Castells i sur., 2005.; Akdogan H., 1996.; Elsey i sur., 1997.).

Tijekom prerade namirnica postupkom ekstruzije u prehrambenoj industriji zbivaju se sljedeći fizikalno-kemijski procesi: geliranje, ekstruzijsko kuhanje, molekularna dezintegracija, sterilizacija, miješanje, oblikovanje i ekspanzijsko sušenje (Mohamed, 1990.). Mehanička energija nastala uslijed okretanja jednog ili više puževa, tijekom transporta i prerade sirovine pretvara se u toplinu (Cai i Diosady, 1993.). Ta se toplina prenosi na materijal koji se pretvara u visokoelastičnu masu koja se na kraju procesa istiskuje kroz sustav sapnica. Novonastali ekspanzirani proizvod-ekstrudat se ili samo dosušuje ili odmah pod aseptičnim uvjetima pakira (Mulvaney i Tai, 1996.; Chinnaswamy R., 1995.).

Dvopužni ekstruderi imaju više prednosti od jednopužnih ekstrudera zbog karakteristika puža. Njihov veći prijenosni kut stvara veće mogućnosti za rukovanje s velikim brojem elemenata pužnice. Poboljšana prerada sirovine također se pojavljuje zbog jednolikosti smicanja kroz kanal ekstrudera i pojačanog miješanja u pužnom kanalu (Brnčić i sur., 2002.; Ćurić i sur., 1998.; Padmanabhan i Bhattacharya, 1989.).

Ekstruzija uz dodatak koncentrata proteina sirutke

Korištenje procesa ekstruzije za obogaćivanje ekstrudiranih direktno ekspanziranih «Snack» prehrambenih proizvoda proteinima sirutke tj. koncentratima proteina sirutke relativno je novo područje u proizvodnji hrane (Matthey i Hanna, 1997.).

Budući da sirovine za ekstruziju sadrže od 5,95 do 10,33 % proteina (tablica 4), dodatak proteina sirutke značajno poboljšava prehrambenu vrijednost ekstrudata, ali se mora vrlo pažljivo dozirati i procesno kontrolirati količina dodanog koncentrata proteina sirutke s obzirom na njegova svojstva i termolabilnost tj. denaturaciju pri temperaturama većim od 60 °C.

Dodavanje veće količine koncentrata proteina sirutke u smjesu za proizvodnju direktno ekspaniranog obogaćenog ekstrudata, a pri manjem broju okretaja pužnica ekstrudera i višim temperaturama (iznad 140 °C), moglo bi izazvati zagaranje smjese brašna ili krupice i proteina, povećanje torzije, tlaka i u konačnici zastoja rada ekstrudera.

Tablica 4: Udio proteina u različitim vrstama brašna (Drake i sur., 1989.)

Table 4: Protein content in various types of flours (Drake et al., 1989)

Vrsta brašna Type of flour	Udio proteina Protein content (%)
Ječmeno brašno Barley flour	9,91
Kukuruzno brašno Corn flour	9,42
Rižino brašno (smeđe) Rice flour (brown)	7,28
Rižino brašno (bijelo) Rice flour (white)	5,95
Raženo brašno Rye flour	9,39
Pšenično brašno Wheat flour	10,33

Da bi se zastoj rada ekstrudera spriječio za proizvodnju direktno ekspanziranih ekstrudata koristi se usavršena dvopužna ekstruzija uz korištenje visoke temperature obrade i kratko vrijeme zadržavanja sirovine u procesu. Poznatiji je originalni engleski naziv «HTST» (High temperature-short time), pa će se stoga koristiti engleska kratica u daljnjem tekstu ovog rada. Ovo znači da se pri visokim temperaturama obrade, sirovina uz dodatak vode i raznih dodataka (u ovom slučaju koncentrat proteina sirutke) vrlo kratko zadržava u kritičnim sekcijama ekstrudera (Brummer i sur., 2002.; Kumar i sur., 2008.; Pansawar i sur., 2008.). Kako je koncentrat proteina sirutke, a to je već navedeno u radu, vrlo osjetljiv na temperature iznad 60 °C, te sekcije ekstrudera su zadnje dvije ili samo zadnja u kojim su temperature najčešće iznad 90 °C. To je sekcija u kojoj se prehrambeni materijal tlači prema sapnici ili više sapnica, te zatim ekspandira uz nagli pad tlaka.

Dodatak proteina sirutke utječe na teksturu, okus i boju ekstrudata (François i Hanna, 1996.; Brnčić i sur., 2008.). Teksturalna svojstva direktno ekspanziranog ekstrudata određuju se direktno očitavanjem dobivenih

vrijednosti nakon ekspanzije, zatim analizatorom teksture i na kraju proračunom dobivenih vrijednosti maksimalnih sila (N) i pomaka tj. djelomičnog ili potpunog loma uzorka (kolapsa). Za direktno ekspanzirani ekstrudat određuju se sljedeća teksturalna svojstva:

- Promjer
- Ekspanzijski omjer
- Ravna duljina
- Ekvivalentna težina
- Specifična duljina
- Nasipna gustoća
- Indeks loma

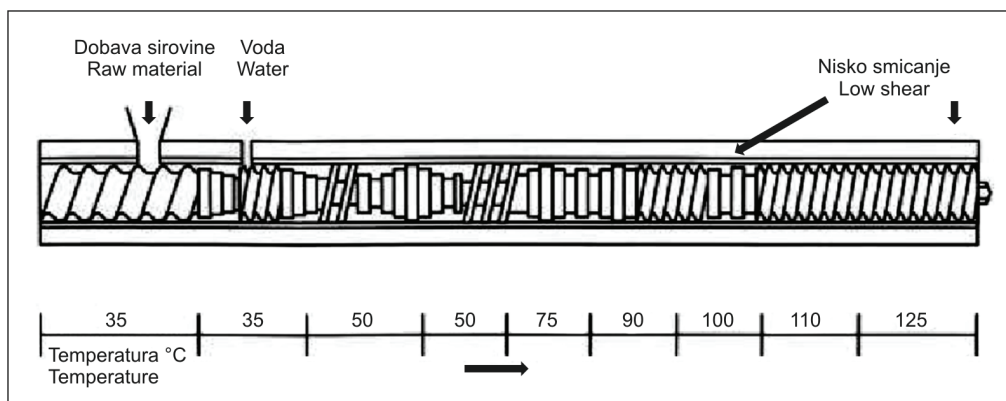
Na teksturu direktno ekspaniranog ekstrudata značajno utječe i dodatak određene količine proteina za obogaćivanje smjese. Dodatak proteina očvršćava stijenku proizvoda i smanjuje stupanj ekspanzije, a povećava indeks loma (IL). Promjene u teksturi su uzrokovane gubitkom vlažnosti, formiranjem ili raspadom emulzija i gelova, hidrolizom polimernih ugljikohidrata i koagulacijom ili hidrolizom proteina (Akdogan i sur., 1997.). Varijabilnost sastava sirutke, različiti načini proizvodnje sirutke, nedovoljno poznavanje interakcija sirutke s drugim komponentama (kao što su na primjer interakcije protein-ugljikohidrati u tijeku ekstruzije) ograničavaju njihovu širu primjenu (Martinez-Serena i Villota, 1992.).

Godine 2001. Onwulata i sur. upotrijebili su sirni koncentrat proteina sirutke u pokušaju da unaprijede kvalitetu «Snack» proizvoda dobivenih dvopužnom HTST ekstruzijom. Iako su pronašli neke pokazatelje gdje su ekspanzija i indeks loma ekstrudata bili poboljšani pravilnim doziranjem vode, koncentrata proteina sirutke i različitih tipova i vrsta brašna, opći je zaključak bio da povećanje unosa koncentrata proteina sirutke dovodi do povećanja indeksa loma i smanjenja ekspanzije direktno ekspaniranog ekstrudata, što nisu poželjna svojstva. Njihove mješavine bile su sa dodatkom od 0, 25 i 50% koncentrata proteina sirutke.

S kukuruznom krupicom, kao osnovnom sirovinom, postignuto je značajno smanjenje ekspanzijskog omjera ekstrudata i kod 25% i kod 50% dodanog koncentrata proteina sirutke, dok je indeks loma ekstrudata bio malo veći kod 25% dodanog koncentrata proteina sirutke, ali zato značajno veći za 50% dodanog koncentrata proteina sirutke. Slični su rezultati postignuti i za ekstrudate kojima je osnovna sirovina bilo kukuruzno brašno, dok je kod korištenja rižinog brašna kao osnovne sirovine ustanovljeno značajno

smanjenje promjera ekstrudata i ekspanzijskog omjera za ekstrudate sa 25% dodatka koncentrata proteina sirutke i za one sa 50% dodatka koncentrata proteina sirutke, prema ekstrudatima dobivenim samo na osnovu ekstrudiranog rižinog brašna.

Svi su pokusi napravljeni u dvopužnom korotirajućem ekstruderu uz dva postava pužnica. Postav ekstrudera s niskim smicanjem (slika 2) gdje su svi elementi pužnica postavljeni potpuno uspravno ili s nagibom prema izlazu iz ekstrudera dao je prihvatljivije rezultate i za stupanj ekspanzije i za konačnu čvrstoću ekstrudata tj. indeks loma ekstrudata.

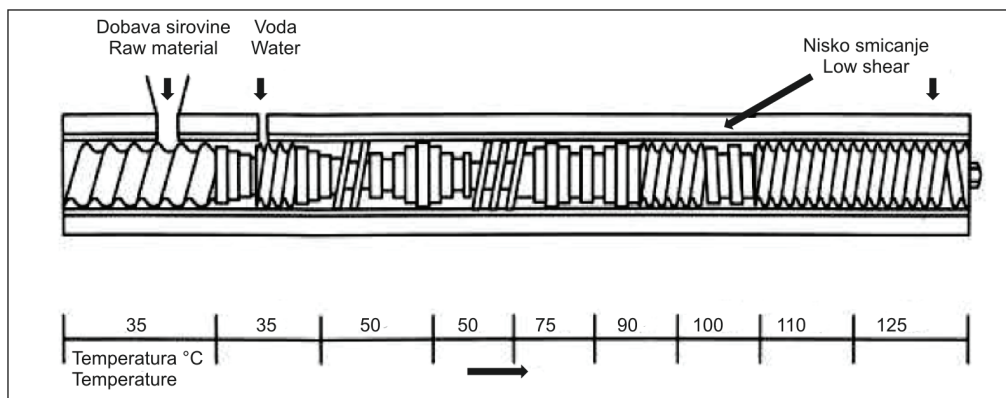


Slika 2: Shematski prikaz postava ekstrudera s konfiguracijom niskog smicanja (Onwulata i sur., 2001.)

Fig. 2: Schematic representation of low shear screw configuration (Onwulata et al., 2001)

Autori su uočili razliku za sve uzorke dobivene postupkom visokog smicanja (slika 3), gdje su u dvije zone rada ekstrudera puževi postavljeni pod suprotnim kutem. Objašnjenje ovakvog postava leži u mogućnosti većeg vezanja vode (uslijed sudaranja nadolazeće mase i onog dijela koji se vraća) u tim zonama rada ekstrudera te naknadnom boljem isparavanju vode u trenutku ekspanzije.

Rezultati usporedbe ova dva postava ipak su pokazali da je ekstruder s niskim smicanjem bolji za ovaj prehrambeni materijal, tj. mješavinu različitih tipova brašna i proteina sirutke. Autori su dali pojašnjenje da koncentrat proteina sirutke ne podnosi više sile smicanja te da kao takav pridonosi većem vezanju vode u ove dvije zone rada ekstrudera. Dolazi do za nijansu većeg vezanja vode u masu prije ekspanzije te do slabije ekspanzije ekstrudata, koji u



Slika 3: Shematski prikaz postava ekstrudera s konfiguracijom visokog smicanja (Onwulata i sur., 2001.)

Fig. 3: Schematic representation of high shear screw configuration (Onwulata et al., 2001)

konačnici analizom teksturalnih svojstava daje slabiji ekspanzijski omjer i veću lomnu čvrstoću te veći izračunati indeks loma ekstrudata.

U istom radu iz 2001. g. Onwulata i sur. zaključuju da bi se dobio ekstrudat poželjnih organoleptičkih i teksturalnih svojstava udio proteina ne bi trebao biti veći od 25% s obzirom na masu smjese, ali termolabilnost proteina sirutke koji denaturiraju pri duljem zadržavanju već na temperaturi od 60 °C djelomično ograničava njihov veći udio u ekstrudatima.

Osim u nativnom obliku, proteini mogu biti i hidrolizirani prije dodatka sirovini za ekstruziju. Dodatak hidroliziranih proteina sirovini za ekstruziju ima za posljedicu smanjenje čvrstoće ekstrudata u odnosu na čvrstoću ekstrudata dobivenih sa dodatkom nehidroliziranih proteina (Brnčić, 2006.).

Također su provedena istraživanja o dodatku različitih prehrambenih vlakana sirovini za ekstruziju (Hsieh i Huff, 1993.; Jin i sur., 1995.). Njihov dodatak je ograničen malim brojem izvora vlakana kao što su pšenica, zob, šećerna repa i soja. Dodatak pšeničnih mekinja i mliječnih proteina u različitim omjerima može značajno povećati prehrambenu vrijednost «snack hrane» (Onwulata i sur., 2001.; Kim i Maga, 1987.).

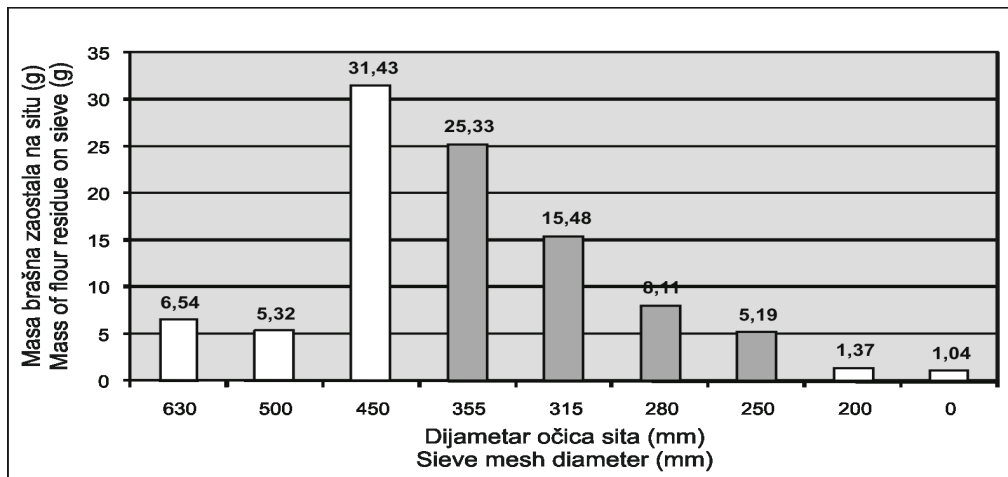
Dvopužna ekstruzija koristi se češće nego jednopužna pri proizvodnji ekstrudata s povećanim udjelom proteina. Istraživanja pokazuju da dvopužni ekstruder, zbog mogućnosti različitog postavljanja konfiguracije puža, omogućava proizvodnju raznovrsnih ekstrudiranih proizvoda. Prema

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 koncentrata proteina sirutke. 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 i unos vode, čime se postiže bolja ekspanzija ekstrudata.

Prema Ryu i Ng-u (2001.) parametri ekstruzijskog postupka, kao što su maseni udio vode, temperatura u pojedinim sekcijama ekstrudera, konfiguracija puža i svojstva sirovine značajno utječu na teksturalna svojstva ekstrudata, te da mehanička svojstva ekstrudata značajno ovise i o sadržaju amiloze. Za ulazne sirovine na bazi škroba povećanje glutena ili proteina, amiloze i sadržaja vode rezultira većom čvrstoćom proizvoda, a prema Faubion i Hosoney-u (1982.) čvrstoća ekstrudata od pšeničnog brašna raste s povećanjem udjela masti u sirovini, ali se smanjuje dodatkom pšeničnog škroba.

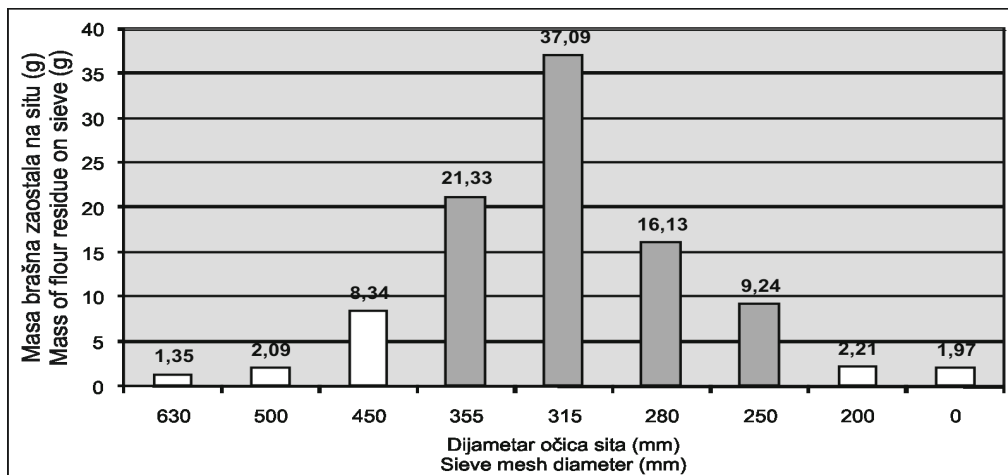
Raspodjela veličine čestica ima znatan utjecaj na parametre ekstruzije i osobine ekstrudiranog proizvoda (Servais i sur., 2002.; Onwulata i Konstance, 2006.). Zhang i Hosoney (1998.) proučavali su svojstva ekstrudata obzirom na veličinu čestica ulazne sirovine. Oni su došli do zaključka da veće čestice vode ka slabijoj ekspanziji. Huber i Rokey (1990.) objavili su da mekša tekstura ekstrudiranog proizvoda nastaje zbog finije granulacije. Ovakvi rezultati su razumljivi jer doziranje materijala jednolike raspodjele i veličine čestica utječe na stvaranje pravilne raspodjele, npr. koncentrata proteina sirutke pri stvaranju kompleksa protein-škrob u jednoj od sekcija ekstrudera, što na kraju pri ekspanziji gotovog proizvoda stvara pravilnu umreženu strukturu ekstrudata. Da bi se dobila pravilno umrežena struktura ekstrudata, koristi se prosijavanje prehrambenog materijala. Kako se tijekom prosijavanja stvaraju aglomerati (O'Connell, 2003.), uslijed međusobnog sudaranja čestica kukuruznog brašna, poželjno je koristiti se nekim pomagalicama (staklene kuglice) ili novim tehnikama kao što je ultrazvuk visokog intenziteta snage ($>1\text{W}/\text{cm}^2$) (Leighton, 2007.). Postav se sastoji od tresilice s vertikalno postavljenim sitima s padajućom veličinom očica sita. Optimalna veličina čestica, npr. kukuruznog brašna za HTST ekstruziju uz dodatak koncentrata proteina sirutke, je u granicama 200 - 450 μm (Brnčić, 2006.). Na slici 4 prikazana je sitena analiza kukuruznog brašna bez djelovanja ultrazvuka u trajanju od 10 minuta, amplitude trešnje sisanja od 2 mm i

intervala sisanja od 5 sekundi. U navedenom optimalnom području (200 - 450 μm) zaostaje 55% sirovine što ne odgovara zahtjevima ekstruzije, dok se na slici 5 vidi učinak prosijavanja s istim uvjetima sisanja uz dodatak ultrazvučnog prstena i djelovanje ultrazvuka od 90% amplitude, s rezultatom od gotovo 85% sirovine za ekstruziju u navedenom optimalnom području veličine čestica.



Slika 4: Sitena analiza kukuruznog brašna bez djelovanja ultrazvuka

Fig. 4: Sieve analysis of corn flour without ultrasonic treatment



Slika 5: Sitena analiza kukuruznog brašna uz djelovanje ultrazvuka

Fig. 5: Sieve analysis of corn flour with ultrasonic treatment

Količina vode značajno utječe na apsorpciju i topljivost kod procesa s visokim silama smicanja, ali inverzno u procesima s niskim silama smicanja. Visoko smicanje ima tendenciju smanjenja topljivosti i povećanja apsorpcije vode. Najznačajniji utjecaj dodatka proteina sirutke sirovini za ekstruziju vidi se na svojstvima koja se izražavaju kao indeks adsorpcije vode i indeks topljivosti gotovog ekstrudiranog proizvoda (Onwulata i sur., 2001.; Onwulata i sur., 1998; Brnčić, 2006.). Prema François i Hanni (1996.) dodatak koncentrata proteina sirutke utječe na topljivost proteina. Njihova istraživanja pokazuju da tijekom ekstruzije dolazi do smanjenja topljivosti proteina i stvaranja protein-škrob kompleksa (Brnčić i sur., 2007.).

Ispitivanja fizikalno-kemijskih i funkcionalnih svojstava ekstrudata su provedena kombinirajući različiti udio amiloze i proteina sirutke s ciljem da se utvrdi njihov najbolji omjer za dobivanje ekstrudata odgovarajućih svojstava. Prema Chinnaswamy i Hanni (1993.), povećanjem količine amiloze dolazi do smanjenja ekspanzije ekstrudata te do povećane potrebe za energijom za kuhanje tijekom želatinacije. Proteini sirutke značajno smanjuju ekspanziju ekstrudiranih produkata (Kim i Maga, 1987.; Martinez-Serena i Villota, 1992.). Također je utvrđeno da međudjelovanje između ova dva faktora utječe na promjer ekstrudata i boju (François i Hanna, 1996.). Cjelokupna boja ekstrudata teži prema žuto-smeđoj boji. Poznato je da je glavni razlog za razliku u boji Maillardova reakcija koja se odvija u tri stadija (inicijalni stadij - reakcija između šećera i amina pri čemu nastaju nebojeni produkti, intermedijarni stadij - nastaju bezbojni ili žuto obojeni produkti te finalni stadij - nastaju intenzivno obojeni produkti) (Goedeken, 1991.).

Senzorske analize su u širokoj upotrebi za određivanje karakteristika snack proizvoda kao što su ekstrudati, čips ili ekspanzirana hrana (Roudat i sur., 2002.). Istraživanja pokazuju usku vezu između instrumentalnog ocjenjivanja i senzorskog opažanja tijekom kompresije: mrvljenje, lomljivost i hrskavost se odnose na mehaničke uspone i padove, ili akustička glasnoća koja se odnosi na senzorsku emisiju (Barrett i sur., 1994.; Duzier i sur., 1998.; Liu i Tan, 1999.).

Zaključak

Obogaćivanje direktno ekspandiranih ekstrudata na bazi različitih vrsta brašna koncentratima proteina sirutke sve više se prakticira kod proizvodnje «Snack» hrane. Optimiranjem procesnih parametara ekstruzijskog postupka,

teksturalnih svojstava ekspanziranih ekstrudata i njihovih fizikalno kemijskih svojstava u kombinaciji s dodanim koncentratom proteina sirutke daje sasvim novi pristup u proizvodnji popularne «Snack» hrane. Najbolja svojstva pokazuju ekstrudati obogaćeni koncentratom proteina sirutke uz maksimalni dodatak do 25% na ukupnu masu smjese za ekstruziju. Kako raste udio dodatka proteina na ukupnu masu smjese za ekstruziju, tako pada ekspanzijski omjer a raste čvrstoća ekstrudata i izračunati indeks loma. Poželjna svojstva teksture, kao što su veći ekspanzijski omjer i manji indeks loma ekstrudata, izraženiji su kod ekstruzije sa niskim smicanjem od ekstruzije sa višim smicanjem.

ENRICHMENT OF EXTRUDED SNACK PRODUCTS WITH WHEY PROTEINS

Summary

Highest share in products with whey proteins addition belongs to aromatised drinks, aromatised protein bars and various dietetic preparations. In the last few years, there is increased use of the extrusion process for production of food products. This process is, besides other things, used for obtaining directly expanded products, which are immediately packed and sent on market after mechanical and thermal treatment in extruder, or after drying for a short time. One of these food products is “snack” food. Snack food is made with twin corotating screw extruders, in which raw materials are submitted to high temperatures and short time, with intensive expansion and rapid pressure drop. For the production of this category of food products, basic ingredients like corn, wheat, rye and rice, with the maximum of 9 % of proteins, are used. With the development of extrusion technology, special attention is focused on the enrichment of extruded products with different types of proteins, including proteins. In this paper, review of the newest research and achievements in embedding various types of whey concentrates in snack food will be represented. This category of food products for direct consumption is constantly increasing, and addition of whey protein concentrate adds better nutritional value and increased functionality.

Key words: whey proteins, extrusion, extrudates

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.
- AKDOGAN, H., TOMAS, R.L., OLIVEIRA J.C. (1997): Rheological properties of rice starch at high moisture contents during twin-screw extrusion. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 3, 691-701.
- ALLEN, K. E., CARPENTER, C. E., WALSH, M. K. (2007): Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 953-960.
- AREAS, J.A.G. (1992): Extrusion of food proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32(4), 365-392.
- BARRETT, A.H., CARDELLO, A.V., LESHER, L.L., TAUB, I.A. (1994): Cellularity, mechanical failure and texture of food sponge. *Journal of Cereal Science*, 9, 77-95.
- 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., JEŽEK, D., TRIPALO, B., KARLOVIĆ, D., ČURIĆ, D. (2002): Povijesni pregled tehnološkog razvoja ekstrudera i primjene ekstruzije u prehrambenoj industriji, PBN Revija, br.1-2, 5-7.
- BRNČIĆ, M. (2006): Utjecaj ultrazvuka na svojstva sirovine za ekstruziju i gotovog ekstrudiranog proizvoda. Disertacija. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.
- BRNČIĆ, M., JEŽEK, D., RIMAC, B.S., BOSILJKOV, T., TRIPALO, B. (2008): Utjecaj dodatka koncentrata proteina sirutke na teksturalna svojstva direktno ekspaniranog kukuruznog ekstrudata. *Mljekarstvo*, 58 (2), 121-139.
- BRNČIĆ, M., TRIPALO, B., RIMAC, B.S., SEMENSKI, D., JEŽEK, D., BOSILJKOV, T. (2007): An experimental study of various whey proteins concentrates addition effects on some textural and physical properties of direct expanded maize extrudates, *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6)*, September 16-20, Copenhagen, Denmark.
- BRNČIĆ, M., TRIPALO, B., MILIČIĆ, M., JEŽEK, D., BOSILJKOV, T. (2007): Twin-screw extrusion of whey protein concentrate/corn flour blends as affected by feed moisture, *Proceedings of the 5th International Congress on Food Technology*, Volume 1, pp.153-158. March 09-11, Thessaloniki, Grčka.
- 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*, 5, 527-536.
- BRNČIĆ, M., TRIPALO, B., JEŽEK, D., MRKIĆ, V., SEMENSKI, D., DRVAR, N., RUČEVIĆ, M. (2002): Determining of Mechanical Hardness of Extrudates. *Proceedings of the 4th Croatian Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists*, October 3-5, Opatija, Croatia. Pg. 72-77. (ISBN 953-96846-5-X)

- BRÜMMER, T., MEUSER, F., LENGERICH, V.B., NIEMANN, C. (2002): Expansion and functional properties of corn starch extrudates related to their molecular degradation, product temperature and water content. *Starch/Stärke*, 54, 9-15.
- BUCCI, L., UNLU, L. (2000): Proteins and amino acid supplements in exercise and sport, U: Energy yielding macronutrients and energy metabolism in sports nutrition (Driskell, J., Wolinsky, I., ured), CRC Press, 191.
- CAI, W., DIOSADY, L.L. (1993): Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder. *Journal of Food Science*, 58, 872-876.
- CASTELLS, M., MARIN, S., SANCHIS, V., RAMOS, A.J. (2005): Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review. *Food Additives and Contamination*, 22, 150-157.
- CHINNASWAMY, R., HANNA, M.A. (1995): Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *Journal of Food Science*, 53, 834-840.
- CLEMENTE, A. (2000): Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 254-262.
- ĆURIĆ, D., KARLOVIĆ D., TRIPALO B., JEŽEK D. (1998): Enzymatic Conversion of cornstarch in twin-screw extruder, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 12, 63-71.
- DELLA VALLE, G., TAYEB, J., MELCION, J. P. (1987): Relationship of extrusion variables with pressure and temperature during twin-screw extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, 6, 423-444.
- DE WIT, J. N. (1998): Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, 81, 597-608.
- DRAKE, D.L., GEBHARDT, S.E. MATTHEWS, R.H. (1989): Composition of Foods: Cereal Grains and Pasta. United States Department of Agriculture. Human Nutrition Information Service. Agriculture Handbook Number 8-20.
- DUZIER, L.M., CAMPANELLA, O.H., BARNES, G.R.G. (1998): Sensory, instrumental measurement of bowl-life and changes in texture over time to ready-to-eat breakfast cereals. *Journal of Texture Studies*, 29, 397-411.
- 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.
- ELSEY, J., RIEPENHAUSEN, J., MCKAY, B., BARTON, G.W., WILLIS M. (1997): Modeling and control of a food extrusion process. *Computers Chemical Engineering*, 21, 361-366.
- 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.

- GOEDEKEN, D. (1991): Single screw extrusion-cooking of cornstarch with selected proteins. M.S. Thesis. University of Nebraska, Lincoln, U.S.A.
- GOGOI, B.K., OSWALT, A.J., CHOUDURY, G.S. (1996): Reverse screw elements and feed composition effects during twin-screw extrusion of rice flour and fish muscle blends. *Journal of Food Science*, 49(2), 40-43.
- GRENUS, K.M., HSIEH, F., HUFF, H.E. (1993): Extrusion and extrudate properties of rice flour. *Journal of Food Engineering*, 18, 229-245.
- GUY, R. (2001): Extrusion Cooking: Technologies and Application. Pp.3-5. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- HSIEH, H.L., HUFF, H.E. (1993): Corn meal extrusion with emulsifier and soybean. *Fiber, Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 26(6), 544-551.
- HUBER, G.R., ROKEY, G.J. (1990): Extruded snacks. In *Snack Food* (R.G.Booth, ed.) Van Nostrand Reinhold, New York, 107-138.
- JEŽEK, D., ČURIĆ, D., TRIPALO, B., KARLOVIĆ, D. (1996): Production of dietary fibres from sugar beet pulp by enzyme *Betanaza T* in extrusion process. *Chemical and Biochemical 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.
- KIM, C.H., MAGA, J.A. (1987): Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 20(6), 311-318.
- KINSELLA, J.E. (1986): Milk proteins: physicochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 21, 197-262.
- KIRBY, A.R., OLLET, A.L., PARKER, R., SMITH, A.C. (1988): An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 8, 247-272.
- KITABATAKE, N., MEGARD, D., CHEFTEL, J. C. (1985): Continuous gel formation by HTST extrusion-cooking: soy proteins. *Journal of Food Science*, 49, 453-458.
- KUMAR, A., GANJYAL, G. M., JONES, D. D., HANNA, M. A. (2008): Modelling residence time distribution in a twin-screw extruder as a series of ideal steady-state flow reactors. *Journal of Food Engineering*, 84, 441-448.
- LEIGHTON, L. K. (2007): What is ultrasound?. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 93, 3-83.
- LIU, X., TAN, J. (1999): Acoustic way analysis for food crispness evaluation. *Journal of Texture Studies*, 30, 397-408.
- MARTINEZ-SERENA, M.D., VILLOTA, R. (1992): Reactivity, functionality, and extrusion performance of native and chemically modified whey proteins. In: Kokini, J. HO L., C. T., KARWE, M. V., *Food Extrusion Science and Technology*, Marcel Dekker Inc., New York, 387-414.

- MATTHEY, F.P., HANNA, M.A. (1997): Physical and functional properties of twin screw extruded whey protein concentrate-corn starch blends. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 30, 359-366.
- MILLER, R. C. (1985): Low moisture extrusion: Effects of cooking moisture on product characteristics. *Journal of Food Science*, 50, 249-253.
- MOHAMED, S. (1990): Factors affecting extrusion characteristics of expanded starch-based products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 14, 437-452.
- MULVANEY, S.J., TAI, K.H. (1996): Effect of extruder barrel heating and cooling on product temperature measurement. *Extrusion Communiqué*, 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): Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*, 34(8), 679-687.
- 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 Technologie*, 34(7), 424-429.
- ONWULATA, C. I., KONSTANCE, R.P. (2006): Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 475-487.
- PADMANABHAN, M., BHATTACHARYA, M. (1989): Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal Food World*, 34, 945-949.
- PANSAWAT, N., JANGCHUD, K., JANGCHUD, A., WUTTIJUMNONG, P., SAALIA, F.K., EITENMILLER, R.R., PHILLIPS, R.D. (2008): Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice based snacks. *Food Science and Technology*, 41, 632-641.
- PINS, J. J., KEENAN, J. M. (2002): The antihypertensive effects of a hydrolyzed whey protein isolate supplement (Biozate 1®). 11th International Congress of Cardiovascular Pharmacotherapy. Montreal, Quebec, Canada.
- RIMAC, B.S. (2006): Fizikalno kemijska svojstva proteina sirutke u funkciji različitih postupaka obrade. Disertacija. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.
- ROUDAT G., DACREMONT C., VALES PAMIES B., COLAS B., MESTE M. (2002): Crispness. A critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 217-227
- RYU, G.H., NG, P. K. W. (2001): Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch/Stärke*, 53, 147-154.

- SACKS, F. (2002): The role of high-density lipoprotein cholesterol and triglyceride levels in coronary heart diseases. *American Journal of Cardiology*, 91, 575-580.
- SCHMIDL, M. K., TAYLOR, S. L., NORDLEE, J. A. (1994): Use of hydrolysates-based products in special medical diets. *Food Technology*, 48(10),77-85.
- SCHMIDT, R.H. (1984): Effect of processing on whey protein functionality. *Journal of Dairy Science*, 67, 2723-2733.
- SERVAIS, C., JONES, R., ROBERTS, I. (2002): The influence of particle size distribution on the processing of food. *Journal of Food Engineering*, 51, 201-208.
- SINGH, S., GAMLATH, S., WAKELING, L. (2007): Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 916-929.
- SOKHEY, A. S., KOLLENGODE, A. N., HANNA, M. A. (1994): Screw configuration effects on corn starch expansion during extrusion. *Journal of Food Science*, 59, 895-898.
- 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, 575-580.
- TRATNIK, LJ. (1998): *Mlijeko-tehnologija, biokemija i mikrobiologija*, Hrvatska mljekarska udruga, Zagreb, 30-43; 345-379.
- TRATNIK, LJ. (2003): Uloga sirutke u proizvodnji funkcionalne mliječne hrane, *Mljekarstvo*, 53(4), 325-352.
- VOORBERGEN, M., ZWANENBERG, A. (2002): Wheying up the future. *Dairy Industry International*, 67, 25-28.
- ZIEGLER, F., NITENBERG, G., COUDRAY-LUCAS, C., LASSER, P., GIBOUDEAU, J., CYNOBER, L. (1998): Pharmacokinetic assessment of an oligopeptide-based enteral formula in abdominal surgery patients. *American Journal of Clinical Nutrition*, 67, 124-128.
- 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
Sven Karlović, dipl. ing.¹
Tomislav Bosiljkov, dipl. ing.¹
Prof. dr. sc. Branko Tripalo¹
Prof. dr. sc. Damir Ježek¹
Ivana Cugelj¹
Valentina Obradović, dipl. ing.²

Prispjelo - Received: 22.06.2008.

Prihvaćeno - Accepted: 18.07.2008.

¹Zavod za procesno inženjerstvo

Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb

²Poljoprivredni odjel

Veleučilište u Požegi, Pape Ivana Pavla II. br. 6, Požega