
IN MEMORIAM prof. dr. sc. Davoru Bakoviću

Rado se sjećamo vremena provedenog s dragim nam prof. dr. sc. Davorom Bakovićem. Veoma smo ga poštovale kao čovjeka i visoko cijenile njegov doprinos znanosti, struci i profesiji. Nažalost, rano nas je napustio.

Ovaj rad je posvećen prof. dr. sc. Davoru Bakoviću u znak pažnje, poštovanja i nekadašnje uspješne suradnje.

Neka mu je vječna slava!

Retrospektiva razvoja tehnologije koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda

Marijana Carić i Ljerka Gregurek

Revijalni prikaz-Review

UDK: 637.137

Sažetak

U radu je prikazana retrospektiva razvoja tehnologije koncentriranja i sušenja mlijeka u industrijskoj preradi mlijeka. Od Marca Pola (XIII. stoljeće), kada se prvi put spominje koncentriranje i sušenje, u industrijskim uvjetima tijekom XIX. stoljeća počinje se razvijati ovaj proces na bazi pronalazaka Nicholasa Apperta, G. Bordena, J. Meyenberga.

Prava ekspanzija industrije koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda je u XX. stoljeću. Krenulo se početkom stoljeća sa sušenjem na valjcima, ali je istovremeno razvijeno i sušenje raspršivanjem primjenom Percyevog patenta. Ta izvanredna inovacija omogućila je proizvodnju mnogih suhih proizvoda veoma visoke kakvoće, kako mliječnih tako i drugih kombiniranih prehrambenih, infant formula, farmaceutskih proizvoda.

Zatim su uslijedila poboljšanja u koncentriranju i sušenju: u raspršivanje je uvedena instantizacija (1955.). Za industrijsku primjenu razvijene su membranske metode koncentriranja s frakcioniranjem (1970-tih godina), a uvedeno je i trostupnjevito sušenje (1980-tih godina).

Ključne riječi: koncentriranje i sušenje, mliječni proizvodi, membranske metode, instantizacija

Uvod

Desetljećima je proizvodnja mlijeka u prahu u stalnom porastu u svijetu i čini značajan dio u industriji mlijeka, i šire promatrano, industriji hrane. Osnovni razlozi su:

- smanjenje volumena i mase, što znači lakši i ekonomičniji transport i čuvanje u odnosu na tekuće mlijeko,
- mlijeko u prahu ne zahtijeva posebne uvjete skladištenja,
- minimalni sadržaj vode (manje od 4%) sprječava rast i razmnožavanje mikroorganizama, što osigurava dugo skladištenje suhih proizvoda,
- minimalne su promjene kvalitete proizvoda tijekom skladištenja,
- suvremene metode sušenja, kojim se kvaliteta proizvoda poslije rekonstituiranja bitno ne razlikuje od početnog,
- sušenje osigurava mogućnosti prerade i skladištenja svih tržišnih viškova mlijeka i sporednih proizvoda pri preradi mlijeka,
- postojanje mlijeka u prahu osigurava primjenu i preradu mlijeka i u krajevima sa nepovoljnim klimatskim uvjetima (tropi),
- mlijeko u prahu je važno u neuobičajenim uvjetima prehrane, kao npr. kod potresa, rata, epidemija itd.,
- porast asortimana raznih novih proizvoda tipa dresinga, umaka, preljeva, novih konditorskih proizvoda, u kojima se kao komponenta nalazi mlijeko, također doprinosi povećanju proizvodnje i potrošnje mlijeka u prahu.

Povijesni pregled

Jedan od prvih i najjednostavnijih postupaka konzerviranja je sušenje korištenjem sunčeve energije. Marco Polo je u zapisima sa istraživačkih putovanja tijekom XIII. stoljeća opisao proizvod za koji se smatra da je mlijeko u prahu. 1809. godine francuz Nicholas Appert je uspio ugustiti mlijeko na 1/3 početnog volumena, osušiti ga na zraku i na kraju tabletirati (Olson, 1950.). Od tog razdoblja postepeno se pokreće razvoj koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda u industrijskom volumenu, pri čemu se posebno izdvajaju Gail Borden, SAD i Meyenberg, Švicarska. Meyenberg je patentirao svoje proizvode u SAD (Meyenberg, 1884. i 1887.).

Razvoj osušenih mliječnih proizvoda tekao je na taj način da se mlijeku dodavala neka druga komponenta, kao što su šećer, žitarice i / ili druge tvari.

Međutim, pravi napredak u razvoju koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda nastaje u XX. stoljeću, poslije pronalaska dvije osnovne industrijske metode sušenja mlijeka, koje su u uporabi i danas: sušenje na valjcima i sušenje raspršivanjem. Sušenje je raspršivanjem danas našlo primjenu i u drugim granama industrije kao npr. u kemijskoj industriji, biotehnologiji i sl.

1902. godine je Just patentirao jedan od prvih uređaja za sušenje na valjcima (dva valjka) (Just, 1902.). Na osnovu Percyevog patenta iz 1872. godine razvijen je postupak sušenja raspršivanjem (Percy, 1982.). Razvoju sušenja raspršivanjem u industrijskoj praksi su dali doprinos mnogi inovatori kao Stauf, R., 1901., MacLachlan, 1905., Merrell, L.C., Merrell, I.S. i Gere, 1907., Gray i Jensen, 1913., Rogers, 1917., (Hall i Hedrick, 1971.). Na taj način je došlo do razvoja sušenja i mnogih drugih mliječnih proizvoda, pa su razvijeni postupci sušenja sladolednih i drugih smjesa, kazeinata, sira, vrhnja i drugo.

Značajna novost u tehnologiji sušenja i u kvaliteti mliječnih i drugih prehrambenih proizvoda u prahu je donio postupak instantizacije (Peebles, 1955.), poboljšanjem sposobnosti brze i potpune rekonstitucije proizvoda. Tijekom osamdesetih godina prošlog stoljeća došlo je do unapređenja kvalitete proizvoda i ekonomičnosti sušenja uvođenjem trostepenog sušenja.

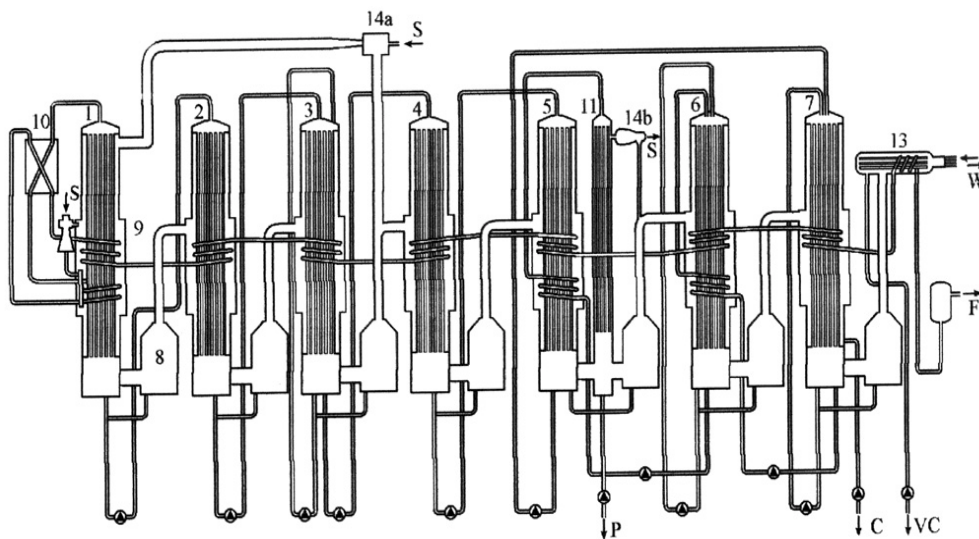
Veliki je napredak u metodama koncentriranja nastao primjenom membranskih metoda (ultrafiltracija, reverzna osmoza, elektrodijaliza, ionska izmjena), koje su sedamdesetih godina prošlog stoljeća razvijene do industrijske primjene. Tijekom proteklog desetljeća membrane su usavršene, a primjena razvijena za mnoge proizvode (koncentrirane i sušene fermentirane napitke, sireve, pri preradi sirutke). Primjenom i kombiniranjem membranskih metoda je omogućeno ne samo ugušćivanje mlijeka i drugih tekućina u prirodnom stanju, nego i frakcioniranje i industrijska proizvodnja pojedinih komponenata mlijeka (WPC- *whhey protein concentrate* – koncentrat proteina sirutke, laktalbumini, laktoglobulini).

U početku je primjena membranskih postupaka bila najrazvijenija na području prerade mlijeka i sirutke, a kasnije se proširila i na druge industrijske grane, kao npr. industriju prerade voća i povrća, jaja, proizvodnju piva, tehnologiju kave i slično.

Koncentriranje u tehnologiji mlijeka

Uparavanje

Prva industrijska metoda, koja je i danas najzastupljenija je koncentriranje odnosno ugušćivanje prehrambenih proizvoda, pa i mlijeka, je uparavanje u vakuum isparivačima. Početkom dvadesetog stoljeća uveden je kontinuirani postupak isparavanja u višestepenim vakuum isparivačima što je omogućilo primjenu sekundarne pare i ogromnu uštedu energije (više od 50%).



Slika 1: Višestepeni vertikalni isparivač s padajućim filmom i toplinskom rekompresijom pare (TVR) 1-7 – isparivači, 8-odvajač pare, 9-jedinica za pasterizaciju, 10- izmjenjivač topline, 11-završna faza proizvodnje, 12-predgrijač, 13-kondenzator, 14a i 14b-termokompresor, F- napajanje (ulaz sirovine), S –para, C kondenzat, VC vakuum, W-voda, P-proizvod) (materijali tvrtke APV Anhydro A/S)

Fig.1: Vertical multistage evaporator with falling film and thermo vapour recompression (TVR) 1-7 - evaporators, (8) vapour removal, (9) pasteurisation unit, (10) heat exchanger, (11) final production phase, (12) pre-heater, (13) condenser, (14a and 14b) thermo compressor, F-supply (fluid inlet); S-vapour; C-condenser; VC-vacuum; W-water; P-product. (APV Anhydro A/S)

Razvojem cijevnih isparivača s padajućim filmom tijekom 1955. godine znatno je poboljšana kvaliteta proizvoda.

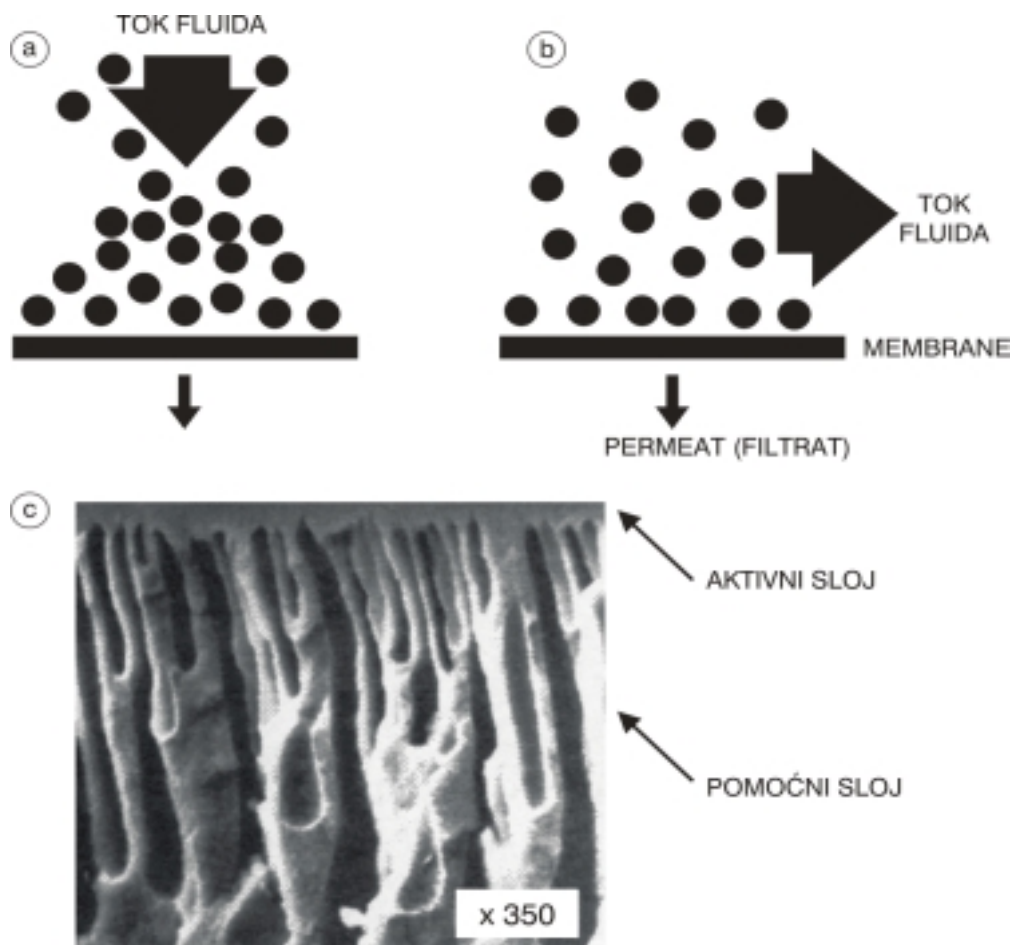
Povećanje ekonomičnosti procesa slijedilo je u novije vrijeme uvođenjem u industrijsku primjenu toplinske rekompresije pare (TVR – *thermal vapour recompression*). i od 1980-tih i mehaničke rekompresije pare (MVR – *mechanical vapour recompression*). Na odluku o tome koji od dva načina rekompresije uvesti u proces u početku je utjecao kapacitet, zbog relativno većih investicionih troškova mehaničke rekompresije pare, iako su radni troškovi bili niži u usporedbi sa toplinskom rekompresijom pare. Danas, kada su investicijski troškovi približno isti u oba slučaja, odluka o izboru ovisi o svakom pojedinačnom slučaju. Zna se da troškove rada određuje cijena električne energije što je bitno za mehaničku rekompresiju pare, odnosno vodene pare što je bitno za toplinsku rekompresiju pare. U zemljama gdje postoje izvori prirodnog plina, ekonomičnije je za rad postrojenja sa mehaničkom rekompresijom pare koristiti plinske motore (Carić, 1993., Carić, 1994.).

Primjena većeg broja isparivača i toplinske i mehaničke rekompresije pare dovodi da se potrošnja energije za uparavanje smanji na manje od 15% (slika 1.).

Poznato je da se u klasičnim izvedbama višestepenih isparivačkih stanica troškovi nabavke većeg broja isparivača nadoknađuju uštedom energije. Najčešće se maksimalna ekonomičnost postiže već sa četverostepenom isparivačkom stanicom gdje se troši 0,3 kg ogrijevne pare po 1 kg isparene vode. Pri uparavanju se smjese u četverostepenoj isparivačkoj stanici utrošak pare u odnosu na trostepenu isparivačku stanicu smanjuje za 25%. Ušteda je ogrijevne pare u isparivačkoj stanici s primjenom toplinske rekompresije pare nešto veća nego za četverostepene isparivačke stanice i ovisi prije svega o potrebnom povišenju tlaka (temperature) supare u kompresoru. Jasno je da je ušteda ogrijevne pare pri ovom postupku veća kada je potrebno manje povećati tlak supare u kompresoru. Treba također znati da ovaj postupak nije ekonomičan za smjese, čija je temperatura depresije veća od 10°C. Također se ekonomičnost ugušćivanja smjese znatno poboljšava ako se suvišak komprimirane pare upotrijebi za grijanje nekog drugog postrojenja. U protivnom se suvišak supare odvodi u barometarski kondenzator što nije ekonomično (Ibarz, 2003.)

Membranske metode koncentriranja

Sredinom sedamdesetih godina prošlog stoljeća su razvijene metode koncentriranja i frakcioniranja do industrijske primjene. Ovaj razvoj je osigurao sasvim drugačiji način koncentriranja, ali i čitav niz novih proizvoda u tehnologiji mlijeka kao i u drugim granama prehrambene industrije. Tako su



Slika 2: a) "Dead-end" filtracija; b) "Cross flow" filtracija; c) Poprječni presjek asimetrične UF membrane

Fig. 2: a) «Dead-end» filtration; b) Cross flow» filtration; c) Cross section of asymmetric UF membrane.

razvijene prije svega ultrafiltracija i reverzna osmoza, a zatim i mikrofiltracija i nanofiltracija. Uvođenje nanofiltracije u industrijsku tehnologiju potpuno se uklapa u novu međunarodnu terminologiju koja je svrstava među nanotehnologije. Ovakav novi pristup je omogućen pronalaskom asimetričnih membrana (Loeb i Sourirajan, 1964.) i primjenom «cross flow» filtracije (slika 2.).

Mornarica SAD je prva primjenila reverznu osmozu za desalinizaciju morske vode. Uskoro membranske metode su našle široku primjenu u industriji, pa i u tehnologiji mlijeka.

U kombinaciji sa klasičnim metodama, kao i s demineralizacijom, membranska filtracija je omogućila ne samo koncentriranje nego i frakcioniranje pojedinih komponenata mlijeka (Tratnik i sur., 1988., Tratnik i Kršev, 1984. a i b, Hanser i sur., 1985., Tratnik i Kršev, 1991. a i b, Tratnik i Kršev, 1988. a i b, Milanović i Carić, 1991., Savello et al., 1997., Krstić i sur., 2002.). Tako je nastao niz sasvim novih proizvoda, kao koncentrat proteina sirutke (WPC), laktalbumin, laktoglobulin, proizvodi hidrolize sirutke, permeat, laktoza, demineralizirana sirutka.

Pored navedenih koncentriranih i sušenih mliječnih proizvoda, ultrafiltracija je našla i značajnu primjenu u tehnologiji fermentiranih mliječnih proizvoda i mnogih vrsta sireva.

Sušenje u tehnologiji mlijeka

U tehnologiji mlijeka su najraširenija dva industrijska postupka sušenja i to:

- sušenje raspršivanjem u struji toplog zraka (slika 3)
- sušenje na valjcima, u vakuumu ili pri atmosferskom tlaku.

Ipak treba reći da postoje i drugi pokušaji da se razviju novi postupci sušenja, koji su iz različitih razloga svi završili s neuspjehom (Carić, 1990., Carić i Kalab, 1987.).

Osnovna prednost sušenja raspršivanjem je što je kvaliteta dobivenog proizvoda odlična (Tratnik i Kršev, 1984.), a ekonomičnost procesa pri sušenju raspršivanjem višestruko bolja od svih drugih do danas poznatih načina sušenja. Prednost sušenja raspršivanjem je (Carić, 1990., 1994., 2003., 2004.):

- proces prijenosa mase i topline se odvija vrlo brzo, 15-30 s, a prašak se zagrijava samo na temperaturu bliskoj temperaturi izlaznog zraka, pri čemu

se količina topline ulazećeg zraka troši na osjetljivu toplinu isparavanja vode;

- brzo sušenje i niska temperatura praška tijekom raspršivanja rezultira kvalitetnim proizvodom, koji je sličan proizvodu dobivenom liofilizacijom (npr. lijekovi, starteri i drugi bioaktivni materijali);
- tijekom raspršivanja se mogu automatski regulirati parametri sušenja i svojstva gotovog proizvoda;
- postupak je kratak i automatiziran, tako da i visoka produktivnost zahtijeva minimalnu radnu snagu;
- proizvod dodiruje stijenke komore za sušenje tek u suhom stanju, što omogućuje bolje higijenske uvjete i lakše održavanje uređaja.



Slika 3: Laboratorijski model uređaja za sušenje raspršivanjem, Model Lab 1, APV Anhydro A/S, Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu

Fig. 3: Laboratory model of spray dried equipment, Model Lab 1, APV Anhydro A/S, Faculty of Technology, University of Novi Sad.

Treba ukazati da su mnoge tvrtke razvile kompjuterske programe za potrebe prehrambene industrije, tako je NIZO food resaerch iz Nizozemske razvio kompjuterske modele za sušenje raspršivanjem koji skraćuju vrijeme potrebno za praktične pokuse na razvoju novih proizvoda i postupaka. Ovi postupci povećavaju efikasnost istraživanja i smanjuju često vrlo značajna financijska sredstva koja je do sada u njih trebalo ulagati (Verdurmen, et al., 2002.).

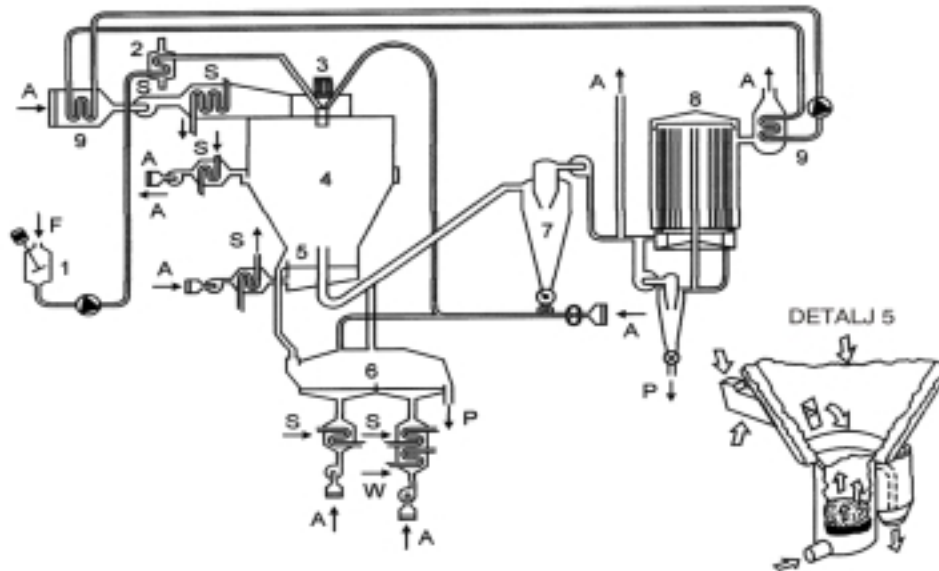
Dalji napredak u tehnologiji sušenja raspršivanjem je uvođenje dvostepenog sušenja – instantiziranje (Peebles, 1955.). Aglomeracija praška poslije prvog stupnja sušenja uzrokuje povećanje količine zraka inkorporiranog između čestica praška stvorenih aglomerata, koji se za vrijeme rekonstituiranja zamjenjuju vodom.

Velika kontaktna površina omogućuje trenutni kontakt velike količine vode i čestica praška, što sprječava stvaranje viskoznog sloja oko grupa čestica i izrazito bolje i brže rekonstituiranja instant praška u usporedbi s praškom sušenim u jednoj fazi.

Intresantan je primjer dvostepenog sušenja radi dobivanja mlijeka u prahu u dvostepenoj sušari sa raspršivanjem koja se sastoji iz dva vanjska fluidizirana sloja i kapaciteta isparavanja vode od 70000 kg/h. (Kelly et al., 2002.).

Najnovija tehnologija sušenja je trostupanjско sušenje (slika 4), tj. sušenje na većim temperaturnim razlikama, što znači višim ulaznim, odnosno nižim izlaznim temperaturama. U dvostepenom postupku sušenja to nije bilo moguće poslije određene granice, jer niže izlazne temperature ne osuše u potpunosti prah koji ostaje vlažan i ljepljiv pa ga je teško transportirati do sljedećeg stupnja sušenja, instantizera.

Tijekom osamdesetih godina razvijen je «integrirani, statički fluidizirani sloj», kao međustupanj sušenja između raspršivača i instantizera. «Integrirani fluidizirani sloj» se nalazi na dnu raspršivača, kružnog je oblika i visine 400 mm. Proizvod sa 10-18 % vode se zadržava u integriranom statičkom fluidiziranom sloju oko 10-20 minuta, poslije čega je potpuno suh ili se transportira u treći stupanj sušare, eksterni instantizer. Ovom tehnikom sušenja se omogućuje veća temperaturna razlika ulaznog i izlaznog zraka, čak oko 170°C. Niska temperatura izlaznog zraka omogućava veoma visoku kvalitetu gotovog proizvoda. Svojstva praška, posebno fizička, ovise od načina sušenja. «Scanning» elektronskim mikroskopom (SEM) su snimljeni prahovi



Slika 4: Trostepena sušara s raspršivanjem. 1 - spremnik za sirovinu; 2 - predgrijač koncentrata; 3 - raspršivač; 4 - komora za sušenje, 5 - integrirani instantizer; 6 - eksterni instantizer; 7 - ciklon; 8 - filter za zrak; 9 - izmjenjivač topline; F –ulaz sirovine-koncentriranog mlijeka, A-zrak; S –para, W-voda, P-proizvod; Detalj: 5 - integrirani instantizer (materijal tvrtke APV Anhydro A/s)

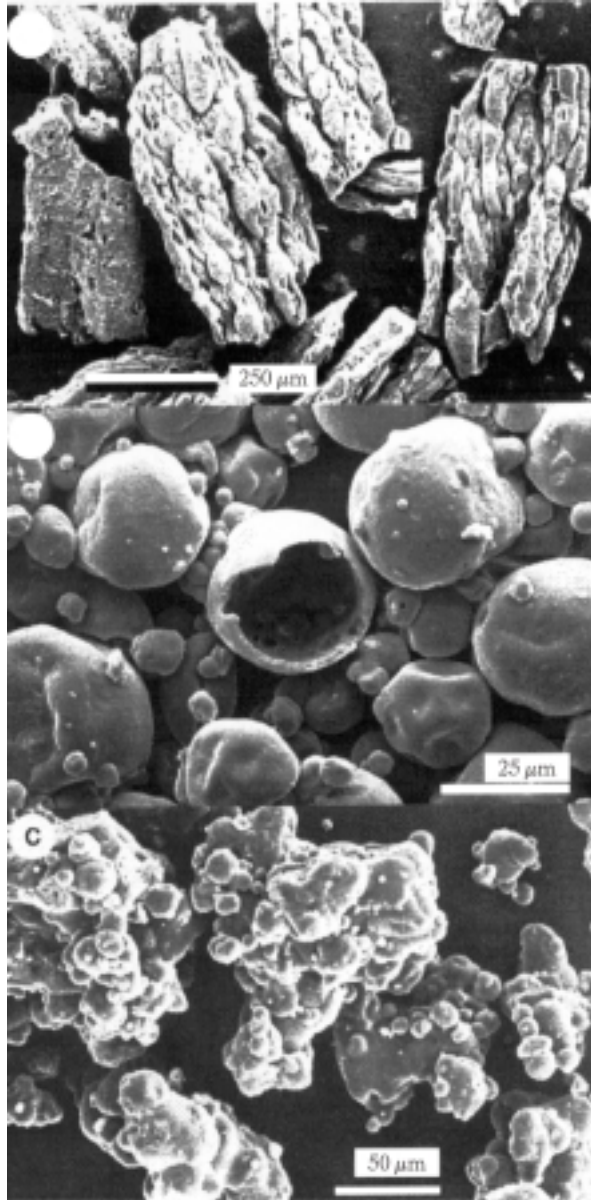
Fig. 4: Three-stage spray drying. 1 - Supply tank; 2 - Pre-heating; 3 - Atomiser, 4 - Spraying chamber; 5 - Integrated instantizer; 6 - External instantizer; 7 - Cyclon; 8 - Air filter; 9 - Heat exchanger. F - concentrated milk inlet, A - air; S - vapour; W - water, P - product. Details: 5 - Integrated instantizer. (APV Anhydro A/s)

mlijeka dobijeni sušenjem na valjcima, u sušari s raspršivanjem i instantizacijom (Carić i Milanović, 2002.) (slika 5.)

Uspješno sušenje specijalnih proizvoda, sa visokim sadržajem masti i /ili proteina, opisali su mnogi autori i proizvođači sušara s raspršivanjem kao što su Niro Atomizer, APV Anhydro, Pasilac, Damrow, Storck itd. (Kelly et al., 2002., Bimbenett et al., 2002., Schuck, 2002.).

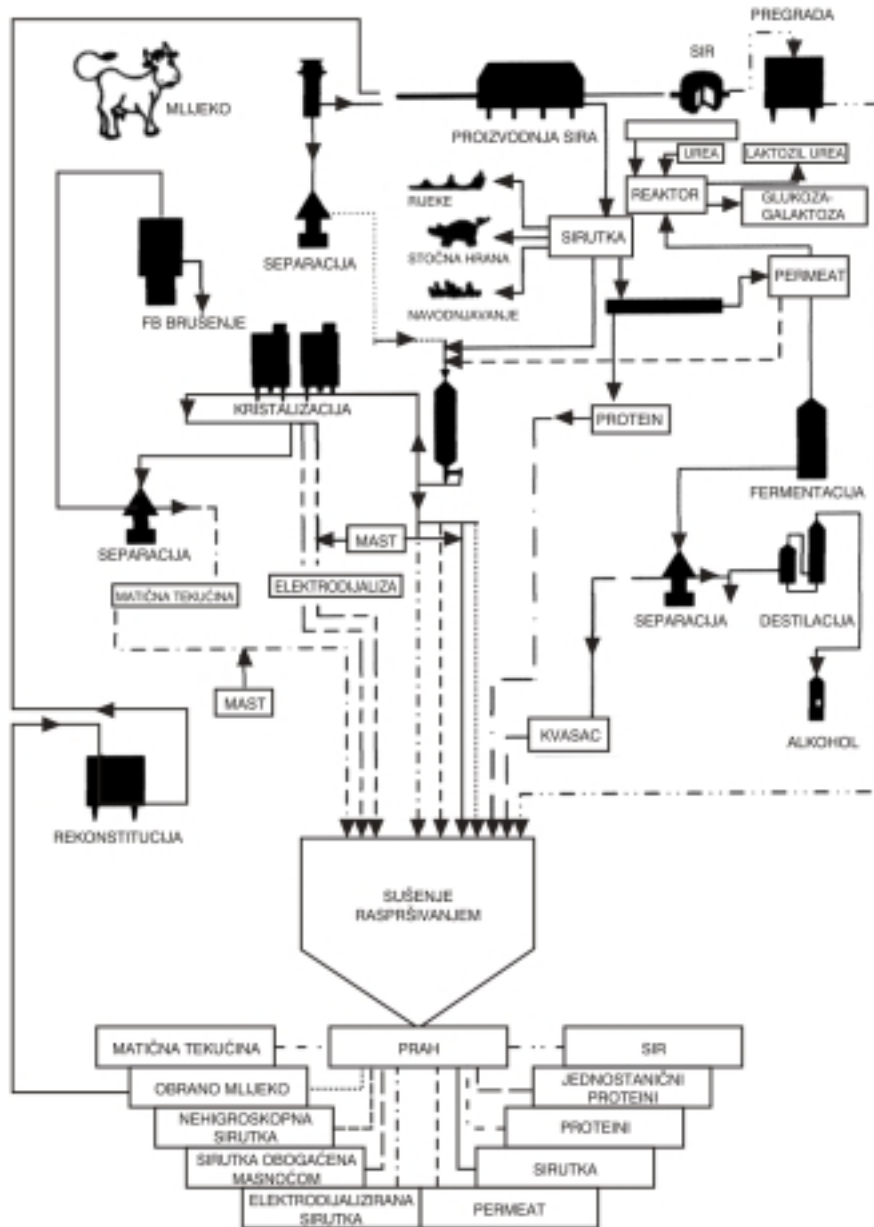
Razvijene su sušare s raspršivanjem posebne namjene, kao npr dvije izvedbe «tower» raspršivač (toranjski) i filtermat raspršivač.

Primjer širokog asortimana proizvoda dobivenih preradom sirutke sušenjem raspršivanjem uz kombinaciju sa drugim metodama, prikazan je na slici 6.



Slika 5: Mikrostruktura mlijeka u prahu dobijenog sušenjem: a) na valjcima; b) raspršivanjem; c) instantizacijom.

Fig. 5: Microstructure of milk powder obtained by drying: a) on rolls; b) by spraying; c) by instantizer



Slika 6: Sušeni mliječni proizvodi dobijeni iz sirutke. A/S NIRO Atomizer

Fig. 6: Dried dairy products obtained from whey. A/S NIRO Atomizer

RETROSPECTIVE OF CONCENTRATED AND DRIED DAIRY PRODUCTS DEVELOPMENT

Summary

In this study the retrospective of the concentrating and drying technology in dairy industry has been reviewed. Concentrating and drying have first been mentioned in the description of Marco Polo's wanderings in 13th century. However, development of industrial application of these procedures, based on the inventions of Nicholas Appert, G. Borden and J. Meyenberg, started during 19th century.

The real expansion of the concentrated and dried milk industry was in 20th century. The start-up was with roller-drying, while simultaneously, the spray-drying, based on Percy's patent, has also been developed. This remarkable invention enabled the production of many different dry products of high quality, not only dairy, but combined food products, infant formulas and pharmaceuticals.

Afterwards, the main improvements in concentrating and drying have followed: the instantization has been introduced in spray drying (1955), membrane methods of concentrating and fractionating have been developed for industrial application (in the 1970's), and three-stage drying procedure has been introduced in the 1980's.

Key words: concentrating and drying technology, dairy product, membrane methods, instantization

Literatura

- BIMBENETT, J. J., SCHUCK, P., ROIGNANT, M., BRULE, G., MEJEAN, S. (2002.): Heat balance of a multistage spray-dryer: principles and example of application, *Lait*, 82 (4) 541-551
- CARIĆ, M., KALAB, M. (1987.): Effects of drying techniques on milk powders quality and microstructure: a review, *Food Microstructure*, 6, 171-180.
- CARIĆ, M. (1990.): Tehnologija koncentrovanih i sušenih mlečnih proizvoda. Naučna knjiga, Beograd, p.293.
- CARIĆ, M. (1993.): Concentrated and Dried Dairy Products. In: Hui, Y.H. (ed.) Dairy Science and Technology Handbook, vol. 2, Product Manufacturing, pp. 257-300. New York: VCH.

- CARIĆ, M. (1994.): Concentrated and Dried Dairy Products. New York: VCH Publishers, p. 249.
- CARIĆ, M. and MILANOVIĆ, S., (2002.): Milk powders: Physical and Functional Properties of Milk Powders. In: Roginski, H., Fuquay, J.W. and Fox, P.F. (eds.) Encyclopedia of Dairy Sciences, vol. 1, Elsevier Science Ltd., 1874-1880.
- CARIĆ, M. (2004.): *Milk powders* in Food Processing: Principles and Application, Iowa State Press (in press).
- HALL, C. W., HENDRICK, T. I. (1971.): Drying of Milk and Milk Products. Wesport, The Avi Publishing Company, Inc.
- HANSER, D., KRŠEV, LJ., TRATNIK, LJ., MARIĆ, O. (1985.): Optimiranje sastava mlijeka za dojenčad sirutkom demineraliziranom ultrafiltracijom, *Mljekarstvo*, 39 (11), 337-354.
- IBARZ, A., CANOVAS-BARBOSA, V.G. (2003.): Unit operations in food engineering, CRC press, Boca Ration, 625-654.
- JONG, P. (2002.): Modeling spray drying processes for dairy products, *Lait*, 82 (4), 453-463
- JUST, J.A. (1902.): Preserving milk in dry form. U.S. Pat. 712, 545.
- KELLY, J., KELLY, P. M., HARRINGTON, D. (2002.): Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders, *Lait*, 82 (4) 401-412.
- KRSTIĆ, D., TEKIĆ, M., CARIĆ, M., MILANOVIĆ, S. (2002.): The effect of turbulence promoter on cross-flow microfiltration of skim milk. *Journal of Membrane Science*, 208, 303-314.
- LOEB, S., SOURIRAJAN, S. (1964.): U.S. Pat. 3, 133,132.
- MAC LACHLAN, J.C. (1905.): Desiccating process. U.S. Pat. 806, 747.
- MEYENBERG, J. (1884.): Apparatus for preserving milk. U.S. Pat. 308, 421 and 308, 422.
- MEYENBERG, J. (1887.): Preserving milk. U.S. Pat. 358, 213.
- MILANOVIĆ, S., CARIĆ, M. (1990.): Production and quality of demineralized: permeate, concentrated permeate and permeate powder, *Milchwissenschaft*, 45, 303-308.
- OLSON, T. M. (1950.): Chapter 34, Miscellaneous dairy products. Elements of Dairying, The Macmillan Co., New York.
- PEEBLES, D.D., CLARY, D.D. Jr. (1955.): Milk treatment process. U.S. Pat. 2, 710, 808.
- PERCY, S.R. (1872.): Process of drying and concentrating liquid substances by atomizing. U.S. Pat. 125, 406.
- SAVELLO, P., CARIĆ, M., MAHMOUD, R. (1997.): Fouling of ceramic membrane by milk proteins during microfiltration. *The Australian Journal of Dairy Technology*, 52, 60-62.
- SCHUCK, P., (2002.): Spray drying of dairy products: state of the art, *Lait*, 82 (4) 375-382.
- STAUF, R. (1901.): Method of desiccating milk. U.S. Pat. 666, 711.
- TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ., MIJATOVIĆ, I. (1988.): Upotreba ionskih izmjenjivača za demineralizaciju slatke sirutke, *Mljekarstvo*, 38 (10), 255-267.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1984.): Nutritivna vrijednost dehidriranih mlječnih proizvoda, *Mljekarstvo*, 34 (1), 18-22.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1984.): Jogurt obogaćen proteinima ultrafiltrirane sirutke, *Mljekarstvo*, 38 (7), 200-203.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1988.a): Ultrafiltracija sirutke. *Mljekarstvo* 273-290 i 291-298.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1988.b): Production of fermented beverages from milk with demineralized whey. *Milchwissenschaft*, 43, 695-698.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1991.a): Ultrafiltracija rekonstituirane demineralizirane sirutke, *Mljekarstvo*, 41 (12), 311-318.

TRATNIK, LJ., KRŠEV, LJ. (1991.b): Production of the whey protein concentrates, *Milchwissenschaft*, 46 (2) 91-94.

VERDURMEN, R. E. M., STRAATSMA, H., VERSCHUEREN, M., VAN HAREN, J. J., SMIT, E., BARGEMAN, G., DE JONG, P. (2002.): Modeling spray drying processes for dairy products, *Lait*, 82 (4) 453-463.

Adresa autora-Autor's addresses:

Prof. dr. sc. Marijana Carić
Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu
Dr. sc. Ljerka Gregurek
Probiotik d.o.o. Zagreb

Prispjelo-Received: 15.01. 2004.

Prihvaćeno-Accepted: 12. 02. 2004.