

SIRUTKA I NJENO KORIŠTENJE U PREHRAMBENOJ I FERMENTACIJSKOJ INDUSTRIJI

Prof. dr. Zdravko DUVNJAK, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb i N. KOSARIC, Chemical and Biochemical Engineering, Faculty of Engineering Science, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada N6A 5B9

Kao i druge tako i mljekarska industrija ima otpadnih materijala koji trebaju biti obrađeni prije njihovog ispuštanja u prirodne vodotokove ili na zemljište. Obrada takvih materijala je dosta skupa i može znatno utjecati na cijenu proizvoda koje ta industrija izrađuje, a ako bi bili ispušteni neobrađeni zagadili bi okolinu.

Otpadni materijali iz mljekarske industrije su uglavnom slijedeći:

- sirutka
- stepka
- prolito mlijeko i mlijeko iz oštećene ambalaže
- neutrošeni ostaci čistih kultura, separatorski talog, površinski sloj gruš, razni drugi otpaci i pokvareni proizvodi.

Od navedenih materijala sirutka je zastupljena u najvećoj količini i zbog toga će taj materijal biti tretiran u ovom radu.

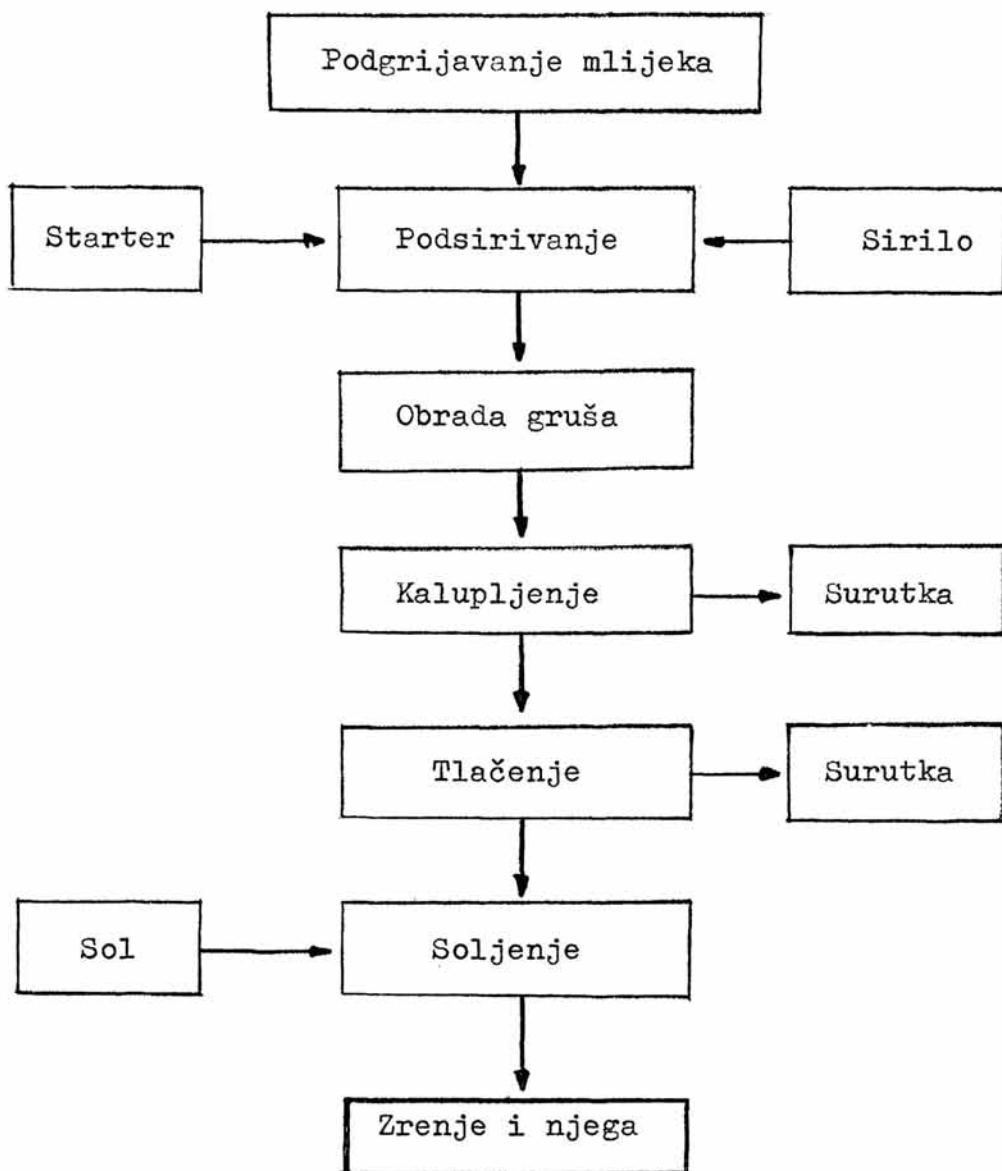
Sirutka je otpadni materijal koji se dobiva prilikom proizvodnje sira (slika 1).

Mljekarska industrija širom svijeta proizvede ogromne količine sirutke što je vidljivo iz tabele 1 (Blanc, 1974). Količina proizvedene sirutke je u stalnom porastu zbog sve veće proizvodnje sira.

Tabela 1

Godišnja proizvodnja sirutke u nekim zemljama (Blanc, 1974)

Zemlja	Količina (tona)
Australija	1,459.000
Austrija	680.000
Belgija	249.000
Brazil	480
Bugarska	273.000
Kanada	1,208.592
Danska	1,084.000
Finska	392.000
Francuska	4,800.000
SR Njemačka	630.000
Velika Britanija	1,469.000
Irska	364.000
Izrael	188.000
Italija	3,880.000
Japan	90.000
Holandija	2,662.000
Novi Zeland	1,830.000
Poljska	1,373.000
Švedska	558.000
Švicarska	1,048.945
Južna Afrika	167.000
Španija	300.000
SAD	11,804.000
SSSR	3,500.000



Slika 1

Tehnološka shema proizvodnje sira (Baković, 1965)

Prema stepenu kiselosti sirutke se obično dijele u slatke, srednje kisele i kisele (tabela 2; Zall, 1979).

Slatka sirutka sadrži malu količinu mlječne kiseline i dobije se prilikom proizvodnje sireva gdje se za koagulaciju kazeina koristi sirilo.

Kisele sirutke se dobiju precipitacijom kazeina pomoću kiselina, te sadrže veće količine mlječne ili mineralne kiseline.

Sirutka je materijal složenog sastava koji sadrži laktozu, proteine, masti, mlječnu kiselinu, aminokiseline, vitamine i pepeo.

Sastav sirutke ovisi o sastavu upotrebljenog mlijeka za proizvodnju sira, kao i o tehnološkom postupku proizvodnje sira, tj. o vrsti sira. Sastav sirutke pri proizvodnji »cheddar« i »cottage« sira je prikazan u tabeli 3 (Kosikowski, 1977).

Tabela 2

Podjela sirutke prema kiselosti (Zall, 1979)

Tip sirutke	Kiselost određena titracijom (‰)	pH
Slatka	0,10—0,20	5,8—6,6
Srednje kisela	0,20—0,40	5,0—5,8
Kisela	0,40—0,60	4,0—5,0

Tabela 3

Sastav tekuće i sušene sirutke, u ‰ (Kosikowski, 1977)

Komponenta	Tekuća sirutka		Sušena sirutka	
	slatka ¹	kisela ²	slatka	kisela
Suha tvar	6,35	6,50	96,5	96,0
Voda	93,70	93,50	3,5	4,0
Masti	0,50	0,04	0,8	0,6
Proteini	0,80	0,75	13,1	12,5
Laktoza	4,85	4,90	75,0	67,4
Mlječna kiselina	0,05	0,40	0,2	4,2
Pepeo	0,50	0,80	7,3	11,8

¹ Sirutka iz proizvodnje »cheddar« sira

² Sirutka iz proizvodnje »cottage« sira (svježi kravliji)

Sirutka sadrži znatne količine vitamina iz mlijeka (tabela 4).

Sirutka sadrži oko 15‰—22‰ od ukupne količine proteina u mlijeku. Sastav njenih proteina je prikazan u tabeli 5.

Proteini sirutke po svojoj biološkoj vrijednosti nadmašuju životinjske proteine. To se vidi iz tabele 6. Rezultati potiču iz dva izvora i donekle se razlikuju, ali i pored toga je jasno da sirutkini proteini prevazilaze po biološkoj vrijednosti ne samo goveđe nego i one iz jaja, a koji se obično uzimaju kao standard za upoređivanje (Renner, 1974; Jekat i Kofranyi, 1970).

Tabela 4

Vitaminski u mlijeku i sirutki pri proizvodnji ementalca (Blanc, 1969)

Vitaminski	Mlijeko	Sirutka	
Topivi u vodi (10 ⁻⁶ g ‰)	Tiamin	47	38
	Riboflavin	186	137
	Piridoksin	34	44
	Kobalamin	0,38	0,29
	Ca-pantotenat	281	385
	Biotin	1,7	1,8
	Vitamin C	440	203
Topiv u mastima (I. J./100 g)	Vitamin A	102	87

Tabela 5**Sastav proteina sirutke koja potiče iz proizvodnje kazeina
(Robinson i sur., 1976)**

Proteini	%
β — laktoglobulin	58
α — laktalbumin	21
Imuno globulin	10
Serum albumin	5—8
Proteozno peptonska frakcija	5—6

Tabela 6**Nutritivna vrijednost proteina**

Proteini	Prosječna biološka vrijednost	
	(1)	(2)
cijelog jajeta	100	100
sirutke	124	104
mlijeka	88	92
goveđi		78
kazeina	72	73
krumpira		69
pšenice		45

(1) Jekat i Kofranyi, 1970

(2) Renner, 1974

Tabela 7**Aminokiselinski sastav proteina sirutke**

Aminokiseline (g/16g N)	Albumini mlijeka ¹	Proteini sirutke ²	β — Lakto- globulin ³	α — Lacta- bumin
Lizin	10,5	7.85	11.8	11.5
Histidin	2.3	1.10	1.6	2.9
Treonin	8.0	5.93	5.0	5.5
Cistin/cistein	4.0	1.21	3.4	6.4
Valin	6.6	5.77	6.1	4.7
Metionin	2.6	2.40	3.2	0.95
Izoleucin	7.5	—	6.9	6.8
Leucin	12.1	13.49	15.5	11.5
Tirozin	5.3	2.53	3.7	5.4
Fenilalanin	5.0	2.97	3.5	4.5
Triptofan	2.5	1.25	2.7	7.0
Prolin	—	—	5.1	1.5
Glicin	—	—	1.4	3.2
Arginin	—	—	2.8	1.2
Asparaginska kiselina	—	—	11.4	18.7
Serin	—	—	4.0	4.8
Glutaminska kiselina	—	—	19.3	12.9
Alanin	—	—	7.0	2.1

¹ Amundson (1967)² Surazynski i sur. (1967)³ Gordon i Whittier (1965)

Treba također napomenuti da sirutkini proteini sadrže sve esencijalne aminokiseline potrebne u čovjekovoj ishrani. U tom pogledu su vredniji i od proteina kazeina. Da bi se povećala nutritivna vrijednost proteini kazeina miješaju se sa proteinima sirutke.

Aminokiselinski sastav proteina sirutke je prikazan u tabeli 7.

Osim u proteinima sirutka sadrži izvjesnu količinu slobodnih aminokiselina (tabela 8).

Iz navedenih podataka očito je da je sirutka vrlo bogat materijal koji može biti upotrebljen u razne svrhe. Dugo vremena ona se bacala jer je bila smatrana otpadnim materijalom. Iza toga se počela djelomično koristiti u ishrani životinja, a zatim je otpočela i njena industrijska prerada. Ali i pored toga još uvijek se bacaju velike količine ovog bogatog materijala. Iz godine u godinu rapidno se smanjuje količina bačene sirutke u razvijenim zemljama što se vidi i iz kanadskog primjera (tabela 9).

U SAD se iskoristi nešto više od 50% proizvedene sirutke, a ostatak se baci (Zall, 1979).

Tabela 8

Aminokiselinski sastav sirutke, mg/l (Davidov i Fainger, 1971)

Sirutka	Aminokiseline u proteinima			
	ukupne	esencijalne	ukupne	esencijalne
Slatka	132,7	51,0	6490	3326
Kisela	450,0	356,0	5590	2849

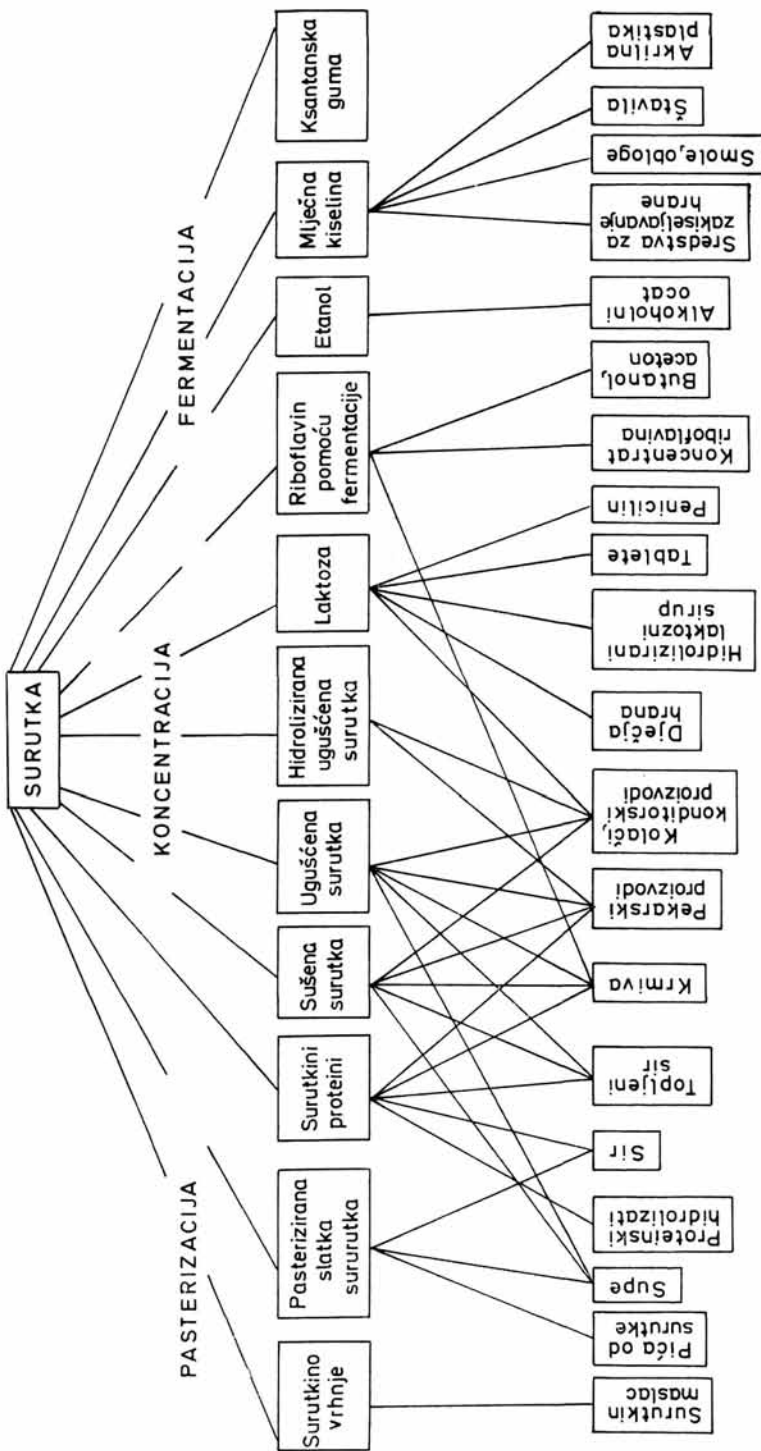
Tabela 9

Proizvodnja, iskorištenje i bacanje sirutke u Kanadi (1973—1978)
(Modler i Mueller, 1979)

Godina	proizvedena kgx10 ⁶	iskorištena u hrani i suhim krmivima, kgx10 ⁶	Sirutka iskorištena u tečnim krmivima kgx10 ⁶	bačena kgx10 ⁶	odnos bačena proizvedena %
1973	1184	384	93	707	59,7
1974	1318	455	93	770	58,4
1975	1229	498	93	637	51,9
1976	1282	586	93	602	47,0
1977	1367	713	93	561	41,1
1978	1420	821	93	506	35,6

Bacanjem sirutke ne gubi se samo koristan materijal nego se zagađuje okolina. Biološka potreba za kisikom (BPK) raznih sirutki varira između 30.000 i 60.000 mg/l, od čega oko 90% otpada na laktozu.

Tona sirutke ispuštene u sistem za obradu otpadnih materijala izazove opterećenje ekvivalentno onom koje prouzrokuje 470 ljudi. Ako se uzme u obzir da većina tvornica sira ispusti svakodnevno od nekoliko pa do 150 m³, onda se vidi da to odgovara količini otpadaka koju stvore ljudi jednog po veličini srednjeg grada (Zall, 1979).



Slika 2

Neki predloženi procesi i proizvodi u vezi s korištenjem sirutke (Robinson i Tamime, 1978)

Prema istom autoru za biološku oksidaciju jednog m³ sirutke ispuštene u rijeku treba 4,500 m³ nezagađene, aerirane vode. Takođe treba imati u vidu da kisela sirutka korodira metale (metalni tankovi, cjevovodi, oprema) što predstavlja dodatni problem.

Iz navedenog je jasno da je upotreba sirutke kao sirovine imperativ ne samo sa stanovišta njenog iskorištenja nego i sa stanovišta smanjenja troškova za njenu obradu kao otpadnog materijala i zaštite čovjekove okoline.

Obzirom na kemijski sastav sirutka može biti upotrebljena u mnoge svrhe što je vidljivo iz slike 2 (Robinson i Tamine, 1978). Osim navedenih proizvoda u tabeli 2 preradom sirutke mogu se dobiti i mnogi drugi. Jedan od nenavedenih je i proizvodnja jednostaničnih proteina, a o čemu će, zbog njihove važnosti, biti govora i u ovom radu.

Sirutka se upotrebljava u nekim slučajevima u onakvom obliku u kakvom se dobije nakon proizvodnje sira. Sve se više koristi ugušćena i sušena sirutka, a u izvjesnim slučajevima i izolirane pojedine frakcije sirutke kao npr. proteini ili laktoza.

Poželjno je da sirutka bude upotrebljena ili prerađena u što kraćem vremenu nakon njenog dobivanja. Ako se to ne učini dolazi do znatnog povećanja ukupnog broja mikroorganizama, koji za svoj razvitak koriste hranjive komponente iz sirutke. U tabeli 10 prikazan je porast ukupnog broja mikroorganizama u ovisnosti o temperaturi i vremenu čuvanja (Baković, 1972).

U neke prehrambene artikle dodaje se sušena sirutka, koja dosta često zamjenjuje obrano mlijeko u prahu. Za dobivanje sušene sirutke u principu postoje 2 načina. Jedan je vakuum uparavanje, a drugi sušenje na valjcima ili raspršivanjem. Za sušenje se najviše koristi tehnika sušenja raspršivanjem, a kojem prethodi koncentracija pomoću ultrafiltracije (Silverman, 1977 i Young, 1970). Tim načinom dobije se kilogram sirutke u prahu za svega nekoliko američkih centi.

Tabela 10

Ukupan broj mikroorganizama u toku čuvanja sirutke (Baković, 1972)

Sirutka iz proizvodnje	Temperatura čuvanja (°C)	Ukupan broj mikroorganizama u ml sirutke			
		0	Vrijeme čuvanja (sati)		
			12	24	48
Gaude	20	12 × 10 ⁴	14 × 10 ⁶	12 × 10 ⁸	36 × 10 ¹¹
	4	12 × 10 ⁴	56 × 10 ⁴	28 × 10 ⁵	14 × 10 ⁷
Trapista	20	12 × 10 ⁴	41 × 10 ⁶	21 × 10 ⁸	63 × 10 ¹¹
	4	12 × 10 ⁴	56 × 10 ⁴	28 × 10 ⁵	14 × 10 ⁹

Kao što je već naprijed rečeno sirutka sadrži do 1% visoko vrijednih proteina. Oni mogu biti izdvojeni kiselinom i termičkom obradom sirutke. Međutim tim postupkom dolazi do denaturacije proteina te se gubi njihova funkcionalnost uslijed smanjenja njihove topivosti. Denaturacija proteina pojačava njihovu interakciju, koja rezultira u stvaranju proteinskih aglomerata velike molekularne težine. Takvi aglomerati izazivaju jako zamućenje i nisu pogodni za pripravljanje nekih pića i hrane (Morr, 1976).

Da bi se izbjegla denaturacija, a u cilju ugušćivanja proteina pripremaju se njihovi koncentracije raznim procesima kao što su ultrafiltracija, elektro-

dijaliza, gel filtracija, kompleksiranje metafosfatima itd. Sada se najčešće koristi tehnika ultrafiltracije.

U tabeli 11 prikazan je sastav koncentrata sirutkinih proteina, koji su ugušćeni različitim metodama.

Komercijalno raspoloživi koncentraci sirutkinih proteina sadrže od 35—60% proteina.

Ugušćeni sirutkini proteini imaju funkcionalna svojstva koja su prikazana u tabeli 12. Ta svojstva su vrlo važna, a da bi ona bila ispoljena glavni je preduvjet potpuna topivost sirutkinih proteina u prehranbenim proizvodima kao što su npr. emulzije, kreme, pića itd.

Tabela 11
Sastav koncentrata sirutkinih proteina pripravljenih pomoću membranskih i srednjih procesa (Delaney, 1976)

Proces	Proteini (%)	Laktoza (%)	Soli (%)	Masti (%)
Elektrodijaliza	20—35	46—60	3—18	2—4
Kompleksiranje metafosfatima	55—60	18—22	10—18	6—9
Gel filtracija (GF)	54	25	14	2
Ultrafiltracija (UF)	30—70	20—55	3—5	4—5
Ionski izmjenjivači (II)	15	7—8	1	1
UF i GF	81	12	2	3
II i UF	76	16	1	3

Tabela 12
Funkcionalna svojstva ugušćenih sirutkinih proteina (Morr, 1976)

Disperzibilnost/topivost
Viskoznost/stabilizacija
Elastičnost/kohezija/adhezija
Emulgiranje
Pjenjenje i stabilnost
Vežanje vode
Zelatiniranje

Publicirano je (Morr i sur., 1973) da koncentrirani sirutkini proteini imaju slabiji emulgirajući kapacitet nego kazein. Taj kapacitet može biti znatno povećan pripremljanjem kompleksa sirutkinih proteina sa karboksimetil celulozom. Emulgirajući kapacitet sirutkinih proteina je prilično konstantan u širem pH rasponu (Delaney, 1976).

Sirutkini koncentrirani proteini mogu vezati određenu količinu vode (tabela 13). Moć vezanja vode je ista i kod denaturiranih kao i kod nendenaturiranih proteina (Delaney, 1976).

Tabela 13
Kapacitet apsorpcije vode sa koncentratima proteina iz mlijeka (Delaney, 1976)

Proteini	% apsorpcije
HCl kazein	68
Na — kazeinat	250
Obrano mlijeko	65—75
Koncentraci sirutkinih proteina dobiveni:	
ultrafiltracijom	50
gel filtracijom	62

Zbog slabijeg vezanja vode koncentraciji sirutkinih proteina čak i pri višim koncentracijama suhe tvari (45—50%) imaju niži viskozitet nego u slučaju Na-kazeinata. Zbog toga mogu biti sušeni raspršivanjem bez poteškoća i koncentraciji sa 50% suhe tvari (Delaney, 1976).

Proteini iz sirutke djeluju želatinirajuće. Njihovim dodatkom (1,5%) u obrano mlijeko može se dobiti krema slična onoj napravljenoj od jaja i mlijeka. Pripravljena krema je stabilna čak ako je 5 minuta izložena temperaturi od 85°C, a takođe je stabilna i pri promjeni pH vrijednosti. Da bi se dobila krema sličnih svojstava, ali od jaja, potrebna je dvostruko veća količina jajčanih albumina od količine sirutkinih proteina (Delaney, 1976).

Ugušćeni sirutkini proteini mogu biti tučeni i upotrebljeni umjesto bjelanjka od jaja. Bolje svojstvo u pogledu tučenja imaju ugušćeni sirutkini proteini dobiveni termičko-kiselinskim procesom nego oni koji su dobiveni ultrafiltracijom (Richert i sur., 1974). Tretman sirutkinih proteina sa vodikovim peroksidom povećava sposobnost njihovog tučenja. Podešavanjem pH otopine kompleksa sirutkini proteini — karboksimetil celuloza na 9,5 takođe se povećava sposobnost tučenja tih proteina (Hansen i Black, 1972).

Proteini mlijeka i laktoza imaju važnu ulogu u formiranju poželjne boje, okusa i teksture konditorskih i pekarskih proizvoda (Hugunin i sur., 1978). Izlaganjem proteina mlijeka termičkoj obradi postižu se različiti okusi što je prikazano u tabeli 14.

Tabela 14

Karakterizacija okusa nastalog u proizvodima uslijed termičke razgradnje aminokiselina (Hugunin i sur., 1978)

Aminokiselina	Tipičan okus
Fenilalanin, glicin	karamel
Leucin	okus kruha i tosta
Glicin, cistin	dim
Alanin	lješnjak
d-aminomaslačna kiselina	orah
Prolin	krekeri, pekarski proiz.
Ornitiin	krekeri
Glutamin, lizin	maslac
Arginin	prženi kukuruz
Metionin	grah
Leucin, arginin, histidin	krušast

Sirutka se odavno koristila kao dodatak animalnoj hrani. U tu svrhu ona može biti korištena ili u svom prirodnom obliku, ili u ugušćenom ili u sušenom stanju (Mann, 1975).

Zahvaljujući vrijednosti sirutke i njenim dobrim funkcionalnim osobinama ona ili pojedine njene frakcije mogu biti upotrebljene u mnogim prehrambenim proizvodima (Clark, 1979), kao što su mlječni i pekarski proizvodi, pića, voćni sokovi, dječja i dijetetska hrana, jela na bazi kukuruza itd. Sirutkini proteini takođe uspješno zamjenjuju obrano mlijeko u prahu, bjelance od jaja i kazeinate, te mogu biti upotrebljeni u proizvodnji kolača, biskvita, pjenastih nadjeva, u imitaciji kiselog vrhnja, kao začini za salatu itd.

Upotreba suhe tvari sirutke u mlječnim i pekarskim proizvodima zamijenila je za 39—36% količinu obranog mlijeka u prahu u tim proizvodima u periodu između 1973. i 1976. godine u SAD. U tabeli 15 i 16 prikazana je fun-

kcija i upotreba sirutke u nekim proizvodima (Keay, 1971; Robinson i Tamine, 1978).

Tabela 15
Upotreba i funkcija sirutke u raznim prehrambenim proizvodima (Keay, 1971)

Prehrambeni proizvod	Upotrebljena suha tvar sirutke (%)	Funkcija
Kruh, krekeri i ostali pekarski proizvodi	3,0 (od upotrebljenog brašna)	okus, tekstura, kraće vrijeme dizanja, poboljšana svojstva u toku čuvanja, boja
Sladoled	2,7	okus, stabilnost
Kolači	10,0	okus, zadržavanje vlage, svojstva tučenja, punoća
Glazura u kolačima	6,0	
Đemovi	4,0	
Napitci na bazi smjese surutke i soje sa limunovim okusom	6,0	okus, mlječna kiselina
Smjesa sušene sirutke i soje	66,0	prekriva okus soje
Topljeni sir	10,0	punoća, okus
Mrvice za pohanje	5,0	boja, okus

U tabeli 17 prikazan je porast upotrebe sirutke ili njenih derivata upotrebljenih u raznim prehrambenim proizvodima u periodu od 1975. do 1978. godine.

Tabela 16
Upotreba sušene ili koncentrirane sirutke u mlječnim proizvodima (Robinson i Tamine, 1978)

Mlječni proizvod	Funkcija
Tučene kreme	poboljšanje svojstava tučenja i stabilnost pri zamrzavanju i odmrzavanju
Jogurt	poboljšanje viskoziteta i kiselosti
Sir	poboljšanje kvalitete i prinosa, okusa i punoće
Sladoled	zamjena mlijeka — okus, stabilnost

Vrlo često se sušena sirutka koristi u zamjenu za obrano mlijeko u prahu. Kondenzirana i sušena sirutka koristi se u velikim količinama i u mlječnim proizvodima, a takođe i u pripravi drugih, a koji nisu na bazi mlijeka (Anon., 1977). Korištenjem sirutke u pekarskim proizvodima poboljšava se konzistencija, okus i miris i usporava starenje tih proizvoda. Tijesto sa 2% sušene sirutke ima povećan kapacitet zadržavanja plina (Mann, 1976). Ti proizvodi imaju zlatno-smeđu boju (Keay, 1971).

Sirutka produžava vijek čuvanja suhих smjesa za juhe, pudinge, kolače, te zamrznute hrane (Keay, 1971). Dodatkom sirutkinih proteina povećava se proteinska vrijednost mnogih proizvoda (kao npr. makarona i drugih tjestenina) (Anon., 1975).

Laktalbumini iz sirutke ili sušena sirutka iz koje je laktoza djelomično uklonjena mogu se koristiti kao punila, emulgatori ili vežući agensi u mesnim proizvodima i jelima kao npr. u kobasicama i čuftama (Mann, 1977).

Tabela 17
Upotreba slatke sirutke u ljudskoj hrani (Clark, 1979)

Sušena sirutka upotrebljena u	Količina	
	1975	1978
	× 10 ⁶ kg	
pekarstvu	37,5	42,4
mljekarstvu	41,7	59,8
raznim smjesama	12,1	18,7
mesnim prerađevinama	0,27	0,86
konditorskim proizvodima	2,95	4,67
bezalkoholnim pićima	0,23	0,27
supama	0,54	0,32
ostalom	2,49	32,2
Ugušćena sirutka upotrebljena u		
pekarstvu	1,59	1,32
mljekarstvu	2,04	4,45
konditorskim proizvodima	0,23	1,41
raznim smjesama	1,18	—
ostalom	32,2	19,97
Modificirani sirutkini proizvodi upotrebljeni u		
pekarstvu	0,41	3,04
mljekarstvu	2,8	6,2
konditorskim proizvodima	1,09	1,04
dječjoj hrani	4,9	4,6
raznim smjesama	1,6	0,18
ostalom	0,4	3,72

U nekim slučajevima laktoza u sirutki se hidrolizira u glukozu i galaktozu. Ta hidroliza se može provesti pomoću kiselina ili pomoću enzima β -galaktidaze, koja može biti upotrebljena u slobodnom ili vezanom obliku.

Osim u mnogim prehrambenim proizvodima sirutka može poslužiti kao dobar supstrat u proizvodnji raznih proizvoda pomoću mikroorganizama kao npr. alkohola, jednostaničnih proteina, antibiotika, ksantanske gume itd. U ovim slučajevima se obično koristi deproteinizirana sirutka, bilo razrijeđena ili ugušćena. Ponekad se iz sirutke izolira laktoza, koje ima oko 5%, a zatim se taj ugljikohidrat koristi kao izvor ugljika u fermentativnim procesima.

Sirutka je odavno razmatrana kao sirovina za proizvodnju jednostaničnih proteina. U tu svrhu su uglavnom kvasci bili upotrebljavani. Vrlo često se spominje *Kluyveromyces fragilis* (Amundson, 1967; Vananuvat i Kinsella, 1975; Bernstein i Everson, 1973) s obzirom da dobro metabolizira laktozu. Spominju se i drugi kvasci kao *Candida intermedia* (Bayer, 1977), *C. pseudotropicalis*, *C.*

utilis (Bechtle i Claydon, 1971), *C. tropicalis* (Davidov i sur., 1963), *Saccharomyces anamensis* (Hanson i sur., 1947) itd.

Korišteni su i drugi mikroorganizmi za proizvodnju jednostaničnih proteina na bazi sirutke, a među njima i više gljive kao *Morchella hortensis* i *Agaricus campestris* (Duvnjak i sur., 1977; Kosaric i Miyata, 1981).

S obzirom da sirutka ne sadrži sve potrebne elemente (ili u nedovoljnim količinama) za rast mikroorganizama ona se obogati amonijevim i fosfornim solima kao npr. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i KH_2PO_4 , te s kvaščevim ili kukuruznim ekstraktom. Dvije zadnje navedene sirovine su vrlo kompleksnog sastava i bogate su i vitaminima i aminokiselinama, koji su potrebni za rast mikroorganizama.

Prije inokuliranja sirutka se sterilizira ili pasterizira. Publicirani su radovi kultiviranja kvasaca i u nesterilnoj sirutki (Amundson, 1967). Proces proizvodnje može teći šaržno, polukontinuirano ili kontinuirano. U toku procesa mikrob treba snabdjeti sa znatnom količinom kisika.

Shematski prikaz proizvodnje jednostaničnih proteina na bazi sirutke pomoću Bel Fromagerie procesa prikazan je na slici 3 (Blanchet i Biju-Duval, 1969; Vrignaud, 1976). U tom procesu se koristi *Kluyveromyces fragilis* kao radni mikroorganizam. Nakon razrjeđivanja sirutke na 3,4% laktoze i pasterizacije sirutka se deproteinizira, a zatim se kvasac kultivira kontinuiranim postupkom pri temperaturi od 38°C i pH 3,5. Intenzitet aeracije je 1.800 m³ zraka na sat za 22 do 23 m³ podloge. Kvaščeva masa se odvoji centrifugiranjem, a zatim termolizira, osuši na 95% suhe tvari i pakuje. U tabeli 18 je dat prikaz prinosa biomase kao i produktivnosti pojedinih procesa proizvodnje jednostaničnih proteina.

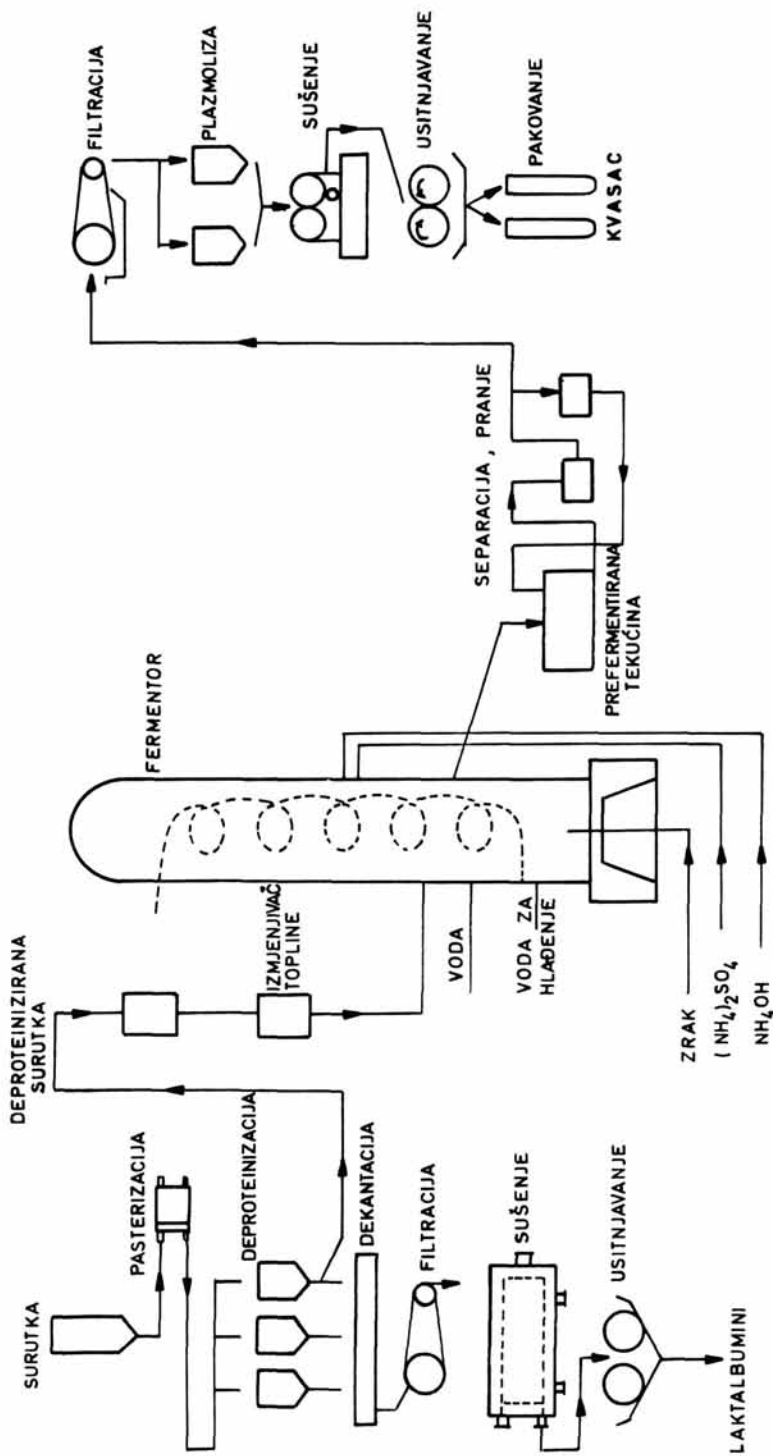
Tabela 18

Produktivnost i prinos jednostaničnih proteina proizvedenih na bazi sirutke

Način kultiviranja	Mikroorganizam	Prosječna produktivnost (g/l·h)	Biomasa na 100 g laktoze (g)	Sirovi proteini u suhoj biomasi (%)	Izvor podataka
Kontinuirani	<i>K. fragilis</i>	4,0	50	47	Blanchet i Biju-Duval, 1976; Vrignaud, 1976
Kontinuirani	<i>Candida intermedia</i>	4,5	54	—	Bayer i Meyerath, 1976
Kontinuirani	<i>C. utilis</i>	1,5	32	52,5	Demmler, 1950
Kontinuirani	<i>Trichosporon cutaneum</i>	3—10,5	75	21,3	Atkin i sur., 1967
Šaržni	<i>K. fragilis</i>		32	50	Amundson, 1967

Aminokiselinski sastav biomase dobivene kultiviranjem nekih kvasaca u sirutki prikazan je u tabeli 19.

Sirutka može biti upotrebljena za proizvodnju etanola putem fermentacije. Nema mnogo mikroorganizama koji mogu fermentirati laktozu u etanol. *Kluyveromyces fragilis* se pokazao dosta efikasan u transformaciji laktoze u etanol i zbog toga se taj kvasac često koristi u ovom slučaju (O'Leary i sur., 1977).



Slika 3 Shematski prikaz proizvodnje jednostaničnih proteina iz sirutke (Blanchet i Bijju-Duval, 1969; Vrignaud, 1976)

Tabela 19

Aminokiselinski sastav kvaščeve biomase kultivirane u sirutki

Amino-kiselina (g/16 g N)	<i>Kluyveromyces fragilis</i> Blanchet i Biju-Duval (1969)	<i>Kluyveromyces fragilis</i> Delaney i sur., (1975)	<i>Candida intermedia</i> Bayer i Meyrath (1976)	<i>Trichosporon cutaneum</i> Aitkin i sur., (1967)
Lizin	6,65—7,30	8,0	6,7	8,41
Histidin	1,20—2,25	2,0	—	2,47
Treonin	5,20—5,90	5,3	5,7	4,69
Cistin/cistein	0,95—1,20	1,7	1,7	—
Valin	5,30—6,95	5,6	5,3	5,69
Metionin	1,20—1,40	1,5	1,3	1,97
Izoleucin	4,45—6,45	4,8	5,1	4,44
Leucin	7,45—7,65	8,1	7,2	7,15
Tirozin	—	3,9	—	4,21
Fenilalanin	3,75—4,30	4,2	4,0	7,42
Triptofan	1,30—1,35	1,7	—	—
Prolin	—	4,2	3,7	4,21
Glicin	—	3,7	3,1	5,94
Arginin	4,80—5,00	4,9	3,6	—
Asparaginska kiselina	—	9,4	9,8	8,9
Serin	—	4,7	5,1	5,45
Glutaminska kiselina	—	13,8	14,7	12,37
Alanin	—	5,8	5,2	7,91

U nekim slučajevima se laktoza u sirutki prije fermentacije hidrolizirala u glukozu i galaktozu, a zatim se za fermentaciju koristio *K. fragilis* i *Saccharomyces cerevisiae* (Roland i Alm, 1975; O'Leary i sur., 1977). *S. cerevisiae* brže fermentira glukozu, a i rezistentniji je na više koncentracije etanola nego *K. fragilis*. *S. cerevisiae* može fermentirati i galaktozu (iako dosta slabo) ako je u prethodnom rastu adaptiran na taj supstrat.

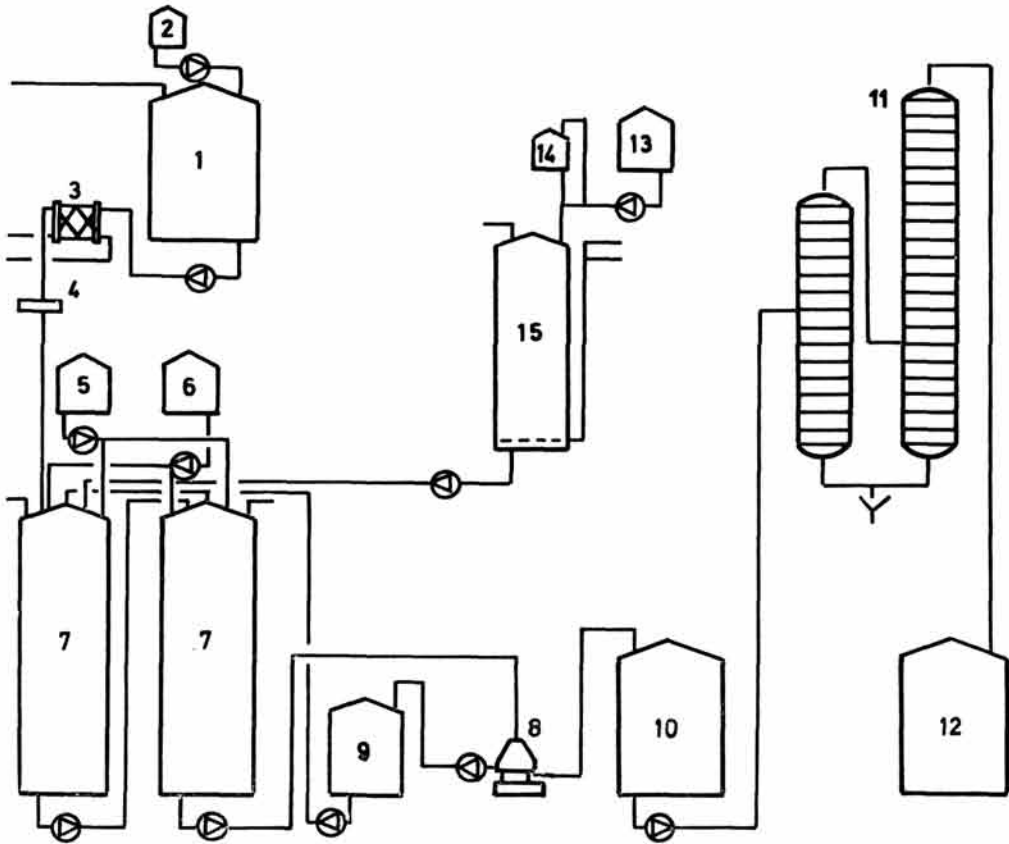
Shematski prikaz proizvodnje etanola iz sirutke je prikazan na slici 4 (Elias, 1979). U ovom procesu sirutka je prvo podvrgnuta ultrafiltraciji i reverznoj osmozi. Sa permeatom koji sadrži pretežno laktozu provede se fermentacija sa *K. fragilis*. Za proizvodnju jedne litre apsolutnog etanola potrebno je 44 litre sirutke, koja sadrži 4,4% laktoze.

Sirutka može biti upotrebljena umjesto vode prilikom ekstrakcije ugljikohidrata iz gomolja topinambura, a nakon toga dobiveni ekstrakt se podvrgne fermentaciji pomoću miješane kulture, koja se sastoji od *K. fragilis* i *K. marxianus*. Prinosi etanola su veći, obzirom na veći procent ugljikohidrata u ekstraktu sa sirutkom, nego u slučaju kada je voda korištena za ekstrakciju (Kosaric i Wiczorek, 1982).

Sirutka se može koristiti u smjesi sa grožđanim sokom za proizvodnju vina pomoću raznih sojeva kvasca *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* (Roland i Alm, 1975).

Također se sirutka može upotrebiti za pripremu gaziranih alkoholnih pića obogaćenih proteinima (Yang i sur., 1976).

Ukoliko se vino pripravljeno na bazi sirutke pomiješa sa raznim voćnim vinima kao i vinima od jagodičnog voća dobiju se specijalna vina ugodnog okusa i mirisa.



Slika 4 Shematski prikaz proizvodnje etanola iz sirutke (Elias, 1979)

Legenda za sliku 4:

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 — rezervoar za permeat sirutke | 8 — separator |
| 2 — rezervoar za kiselinu | 9 — spremnik za kvaščevo mlijeko |
| 3 — pločasti izmjenjivač topline | 10 — rezervoar za puffer |
| 4 — mjerni uređaj | 11 — destilacione kolone |
| 5 — rezervoar za sredstvo protiv pjene | 12 — spremnik za alkohol |
| 6 — rezervoar za kemikalije | 13 — rezervoar za podlogu |
| 7 — reaktori | 14 i 15 — reaktori za inokulum |

I bezalkoholna pića mogu biti proizvedena na bazi sirutke (Mann, 1972 i 1977; Holsinger i sur., 1974). U tu svrhu pasterizirana i dezodorirana sirutka se pomiješa sa koncentratom voćnog soka i aditivima. Takvo jedno piće je pripravljeno na Missisipi Univerzitetu (Shannon i Cardwell, 1971) miješanjem sirutke, šećera, narančinog koncentrata, limunske kiseline i aditiva. Od 956 osoba, koje su kušale to piće 76,5% je dalo zadovoljavajuću ocjenu tom proizvodu.

Hranjiva vrijednost bezalkoholnih pića može biti pojačana dodatkom sirutkinih proteina. Pića koja sadrže 1% sirutkinih proteina zadrže bistrinu i

boju u toku jednogodišnjeg čuvanja na sobnoj temperaturi (Holsinger i sur., 1973).

Sirutka može poslužiti bilo direktno ili indirektno (kao sirovina za proizvodnju laktoze) u proizvodnji nekih antibiotika kao npr. penicilina, nisina i bacitracina (Jarvis i Johnson, 1947; Bär, 1946). Takođe može biti iskorištena i u proizvodnji vitamina kao npr. vitamina B₁₂ pomoću *Bacillus megaterium* (Garibaldi i sur., 1951), mikrobnih lipida bilo pomoću *Rhodotorula glutinis* ili *R. gracilis* (ili nekih drugih mikroorganizama), te nekih drugih mikrobnih metabolita.

Jedan od takvih metabolita je i ksantanska guma, koja se koristi u prehrambenoj industriji. To je polisaharid kojeg sintetizira *Xanthomonas campestris* prilikom njegovog kultiviranja u glukoznoj podlozi. Ako se laktoza u sirutki hidrolizira ovaj mikroorganizam prvo iskoristi glukozu, a zatim nešto sporije i galaktozu. U podlozi koja osim ostalih komponenata sadrži 2,05% glukoze, 2,05% galaktoze i 0,3% laktoze dobije se nakon 90 sati oko 3,4% ksantana (Charles i Radjai, 1977).

Iz iznesenog prikaza u kojem su navedeni neki primjeri primjene sirutke vidljivo je da se ona ni u kom slučaju ne može smatrati otpadnim materijalom nego kao sirovina koja se može korisno upotrebiti u humanoj i animalnoj hrani, proizvodnji energije, u fermentacijskoj industriji za produkciju mnogih proizvoda pomoću mikroorganizama itd. Daleko je šira mogućnost upotrebe sirutke nego što je to ovdje izneseno. Svakim danom ova vrijedna sirovina nalazi nova područja njene primjene, a paralelno s tim sve je manja količina sirutke koja se baca što doprinosi i očuvanju čišće čovjekove okoline. Takođe treba napomenuti da je upotreba sirutke kao sirovine za proizvodnju raznih proizvoda i ekonomski opravdana.

Literatura

- AMUNDSON C. H. (1967): *American Dairy Review*, 29, 94.
ANON. (1975): *Fd. Process.*, 36 (10), 52.
ANON. (1977): *Dairy and Ice Cream Field*, 160 (6), 82.
ATKIN, C., WITTER, L.D. i ORDAL, Z.J. (1967): *Applied Microbiol.*, 15, 1339.
BAKOVIĆ, D. (1965): *Preventivna medicina*, 2—3, 173.
BAKOVIĆ, D. (1972): *Mljekarstvo* 22, (11), 249.
BÄR, F. (1946): *Pharmazie*, 1, 52.
BAYER, K. (1977): Doctoral Thesis: University of Agriculture, Vienna
BAYER, K. i MEYRATH J. (1976): *Zentralblatt für Bakteriologie und Hygiene*, 252, 37
BECHTLE R.M. i CLAYDON T.J. (1971): *Journal of Dairy Science*, 54, 1595.
BERNSTEIN S. i EVERSON T.C. (1973): Food Processing Waste Management Cornell Agricultural Waste Management Conference.
BLANC B. (1969): International Dairy Federation Seminar on Whey Processing and Utilization at Weihenstephan, G.F.R.
BLANC B. (1974): *Lattier Romand*, 3, 87.
BLANCHET M. i BIJU-DUVAL F. (1969): International Dairy Federation Seminar on Whey Processing and Utilization at Weihenstephan, G.F.R.
CHARLES M. i RADJAI M.K. (1977): *ASC Symposium Series*, 45, 27.
CLARK W.S. Jr. (1979): *Journal of Dairy Science*, 62 (1), 96.
DAVIDOV R.B. i FAINGAR B.I. (1971): *Moločnaja promišlenost*, 12, 12.
DAVIDOV R. B., GULKO L.E. i FAINGAR B.I. (1963): *Izvestia Timiryazev. Selskohoz. Akademii*, 5, 166.

- DELANEY R.A.M. (1976): **Journal of the Society of Dairy Technology**, 29 (2) 91.
- DELANEY R.A.M., KENNEDY R. i WALLEY B.D. (1975): **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 26, 1177.
- DEMMLER G. (1950): **Die Milchwissenschaft**, 4, 11
- DUVNJAK, Z., ERIC, M. i TAMBURASEV G. (1978): **Mljekarstvo** 28, (2) 38—42.
- ELIAS S. (1979): **Food Engineering**, 51 (1), 99
- GARIBALDI J.A., LJICKI K., LEWIS J.C. i MCGINNIS J. (1951): U.S. Patent No 2,576,932
- WEBB B.H. i WHITTIER E.O. (1970): »Byproducts from Milk« The AVI Publishing Company Inc., Wesport.
- HANSEN P.M.T. i BLACK D.H. (1972): **Journal of Food Science**, 37 (2).
- HANSON, M.A., RODGERS N.E. i MEADE R.E. (1947): U.S. Patent No 2,465,870.
- HOLSINGER, V.H., POSATI, L.P., De VILBISS E.D. i PALLANSCH M.J. (1973): **Food Technology**, 27 (2), 59.
- HOLSINGER V. H., POSATI L.P. i De VILBISS E.D. (1974): **Journal of Dairy Science** 57 (8), 849
- HUGUNIN A.G. i NISHIKAWA R.K. (1978): **Food Product Development**, 12 (1), 46.
- JARVIS F.G. i JOHNSON M.J. (1947): **Journal of Am. Chem. Society**, 69, 3010
- JEKAT F.K. i KOFRANYI E. (1970): **Z. Physiol. Chem.** 351, 47.
- KEAY J. (1971): **Dairy Industries**, 36 (7), 403
- KOSARIC N. i MIYATA N. (1981): **Journal of Dairy Research** 48, 149
- KOSARIC N. i WIECZOREK A. (1982) 1982 Spring National Meeting of the American Institute of Chemical Engineers Orlando, Florida, March 1982.
- KOSIKOWSKI F.V. (1977): »Cheese and Fermented Milk Products«, 2nd edition. EDWARDS Brothers Inc., ANN Arbor, Mich., 450
- MANN E.J. (1972): **Dairy Industries**, 37, 153
- MANN E.J. (1975): **Dairy Industries International**, 40 (12), 487
- MANN E.J. (1976): **Dairy Industries International**, 41 (2), 50.
- MANN E.J. (1977): **Dairy Industries International**, 42 (6), 26.
- MODLER H. W. i MUELLER P.G. (1979): 22nd Canad. Inst. Food Sci. Tech. Congress, Quebec City.
- MORR C.V. (1976): **Food Technology**, 30 (3), 18.
- MORR C.V., SWENSEN P.E. i RICHTER R.L. (1973): **Journal of Food Science**, 38 (2), 324
- NICKERSON T.A. (1978): **Food Technology**, 32 (1), 40
- O'LEARY, V.S., GREEN R., SULLIVAN B.C. i HOLSINGER V.H. (1977): **Biotech. and Bioeng.**, 19, 1010
- RENNER E. (1974): Milch und Milchprodukte in der Ernährung des Menschen, Volkswirtschaftlicher Verlag GmbH, Kempfen.
- RICHERT S.H., MORR C.V. i COONEY C.N. (1974): **Journal of Food Science**, 39 (1), 42
- ROBINSON B.P., SHORT J.L. i MARSHALL K.A. (1976): **New Zealand Journal of Dairy Science and Technology**, 11 (2), 114.
- ROBINSON R.K. i TAMINE A.Y. (1978): **Dairy Industries International**, 43 (3), 14
- ROLAND J.F. i ALM W.L. (1975): **Biotech. and Bioeng.**, 17, 1443
- SILVERMAN T. (1977): »Proc. Whey Prod. Conf., Atlantic City, N.J., Oct. 1976«, 76, USDA AGRIC. Res. Serv. ARS-NE, 81
- SHANNON C.W. i CARDWELL J.T. (1971): **Journal of Dairy Science** 54, 450.
- SURAZYSKI A., CHUDY J. i ALEKSIECZYK Z. (1967): **Journal of Nutrition and Dietetics**, 4, 118
- VANANUVAT P. i KINSELLA J.E. (1975): **Journal of Food Science**, 40, 336.
- VRINGNAUD Y. (1976): **Die Österreichische Milchwirtschaft**, 31, 405.
- YANG, H.Y., RODYFELD F.W., BERGGREN K.E. i LARSEN P.K. (1976): Proc. 6th National Symp. on Food Processing Waste, 180.
- YOUNG H. (1970): »Proc. Whey Utilization Conf.«, College Park, Maryland, USDA Agric. Res. Serv. E.V. Publ. 3340, 61.
- ZALL R.R. (1979): Food Processing Waste Management. The AVI Publishing Co., Inc. Wesport, Connecticut.