

<sup>1</sup> JOSIP K. BARAS  
<sup>2</sup> SNEŽANA T. JOVANOVIĆ

<sup>1</sup> Tehnološko-metalurški  
 fakultet, Beograd

<sup>2</sup> Poljoprivredni fakultet, Zemun

UDK 637.1:628.31

## OTPADNE VODE INDUSTRIJE MLEKA

Problematici nastajanja i zagađivanja otpadnih voda u industriji mleka u domaćoj literaturi nije poklonjena zadovoljavajuća pažnja. Uglavnom su razmatrani problemi nastajanja i prečišćavanja otpadnih voda. Međutim, savremeni principi održivog razvoja uvode širi aspekt zaštite životne sredine, kojim ona postaje sastavni deo tehnološkog postupka i koji vodi konačnom cilju, tehnologiji bez otpada. Održiv razvoj podrazumeva maksimalnu racionalizaciju potrošnje svih prirodnih resursa i maksimalnu reciklažu ili preradu u novim tehnološkim postupcima svih pratećih proizvoda. To zahteva detaljnu analizu tehnoloških postupaka s ciljem utvrđivanja kritičnih faza za nastajanje otpadnih proizvoda i sprovođenje mera radi sprečavanja ili smanjenja nastajanja otpada.

Poštujući principe održivog razvoja, u ovom radu su razmotreni osnovni principi racionalizacije proizvodnje u industriji mleka primenom metodologije određivanja kritičnih tačaka nastajanja otpadnih materija, načina sprečavanja nastajanja otpada, kao i mogućnosti reciklaže ili prerade otpada, koji se ne može izbeći.

U radu su takođe dati karakteristični podaci o potrošnji vode, nastajanju i karakteristikama otpadnih voda. Razmotreni su osnovni principi upravljanja vodom i načinima rešavanja problema otpadnih voda.

Adresa autora:  
 Dr Josip Baras, redovni profesor u penziji,  
 Tehnološko-metalurški fakultet,  
 11000 Beograd, Karnegijeva 4.  
 baras@eunet.yu

**Ključne reči:** industrija mleka • otpadne vode • prerada otpada • racionalizacija proizvodnje • reciklaža otpada • upravljanje vodom

### 1. Uvod

Još od kulturnih knjiga (Asimov, 1979, Kitanović i sar., 1979, Klark, 1976, Lem, 1979, Meadows i sar., 1973) koje su potresle naučnu i stručnu javnost sedamdesetih godina, pa do današnjih nebrojenih naučnih i stručnih napisa, nedvosmisleno se potvrđuje da je sa prvom i drugom industrijskom revolucijom, na putu ka budućnosti čovečanstvo ozbiljno zalutalo i da to lutanje nastavlja i danas. Ostvarivanje visokog profita u svim oblicima delatnosti, posebno u industrijskoj proizvodnji, nametnuto je kao opšte vladajuća dogma. Profit neproglašen jedinom osnovom razvoja i civilizacijskog napretka. Kao neprofitabilna, potisnuta su mnoga iskustvena znanja, koja su vekovima harmonizovala život čoveka u prirodnom okruženju. Kao posledica profitabilnog industrijskog i ostalog razvoja, nastupile su dramatične posledice iscrpljivanja prirodnih resursa i ekstremnog zagađivanja zemljišta, vode i atmosfere. Usledio je odgovor prirode, svedoci smo dramatične promene planetarne klime, opšteg otopljanja, regionalnih poplava ili suša, orkanskih vetrova, kiselih kiša, razorenog ozonskog omotača, itd.

Ova zarezavajuća zbivanja na planeti najbolje ilustruju sledeći navodi. Na *Eko Samitu* 1992. godine u Rio de Žaneiru, zaključeno je da je "Planeta je u teškom stanju"; na *Eko susretu razvijenih zemalja sveta*, 1997. godine u Kjotu zaključeno je "Planeta je u očajnom stanju", a na *Eko Samitu* u Johaneshburgu 2002. godine zaključeno je "Planeta je u tragičnom stanju, planetu treba spasavati". Ovi

skupovi imali su za cilj da se degradacija prirode i iscrpljivanje neobnovljivih prirodnih resursa umanjuje i gde je moguće zaustavi. Proklamovan je koncept *održivog (usklađenog) razvoja*, doneti su mnogi propisi, zakonska i podzakonska akta, ali, nažalost, trend degradacije se ne zaustavlja.

Mora se, nažalost, početi od činjenice da u dosadašnjem periodu nismo poklonjali dovoljno pažnje smanjenju zagađenja koje proizvode prehrambena industrija u celini. Pri tome, nije se dovoljno pažnje posvećivalo ni izboru tehnologija koje proizvode manje zagađenja, broj izgrađenih postrojenja za tretman zagađujućeg otpada je neprihvatljivo mali, a i ona postrojenja koja su u pogonu, deluju sa malim efektom. S pravom, očekivan intenzivan razvoj industrije u našoj zemlji, bez paralelno vođene politike zaštite životne sredine, može postati ozbiljan izvor nesuglasica sa susednim zemljama i sa EU, čije su neke članice istovremeno i podunavske zemlje, aspekt zaštite Dunava sa naše strane čini posebno značajnim. Treba imati na umu da je 75% ukupnog vodenog sliva sa teritorije naše zemlje povezano sa Dunavom u koga se izliva otpadne vode iz naseljenih mesta i industrije. Činjenica da smo evropska i podunavska zemlja obavezuje nas na ponašanje u pogledu zaštite životne sredine u istoj meri u kojoj su se obavezale i ostale evropske zemlje. Ta obaveznost u domenu zaštite voda postaje još veća nakon potpisivanja sa naše strane evropske Konvencije o zaštiti voda Dunava, a, podrazumeva se, i njegovih pritoka. Treba najozbiljnije imati na umu činjenicu da su danas u EU prevaziđene smernice i deklaracije, zahteva se zakonska regulativa, sprovo-

đenje propisa i čvrsta kontrola. Zahtevi u EU postavljeni su još pre 15 godina (EU EEC, Concil Directive, 1991), podrazumevaju maksimalno smanjenje emisije zagađenja svih vrsta, a u sklopu toga i neopravdano smatranog, manje opasnog organskog zagađenja koje proizvodi prehrambena industrija. Uvodi se i stroga zabrana ranije često korišćene manipulacije sa razblaživanjem zagađenih otpadnih voda, čistim vodama. Direktivom EU (EU EEC 91/271), kao minimalni zahtev postavlja se kriterijum za kvalitet efluenta (prečišćenih otpadnih voda) na nivou vrednosti BPK<sub>5</sub> (biološka potreba kiseonika za 5 dana) od 25 mg/L i HPK (hemijska potreba kiseonika) od 125 mg/L, suspendovane materije 35 mg/L, osnovnih nutrijenata za regione osetljive na eutrofikaciju: fosfora 2 mg/L i ukupnog azota 15 mg/L. Ovako strogi kriterijumi zahtevaće od prehrambene industrije u našoj zemlji, a u sklopu nje i od industrije mleka, ozbiljnu promenu politike zaštite životne sredine i ozbiljne poslove na tom planu, naročito kada je u pitanju zagađivanje voda. Nacionalni zakon o zaštiti životne sredine i prirodnih resursa (Sl.gl. RS 2004) inkorporira tokove zakonodavstva u EU.

Jedan od nezaobilaznih zadataka na putu uvođenja naše industrijske proizvodnje u celini, a u okviru nje i industrije mleka, u evropske tokove razvoja jeste i uvođenje sistema upravljanja kvalitetom ISO 9000/2000, HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point), GMP (Good Manufacture Practice) i GEP (Good Engineering Practice), kao i sistema upravljanja zaštitom životne sredine prema standardima ISO 14000. Zahtevi zaštite životne sredine baziraju se na temeljima TQM (Total Quality Management – totalno upravljanje kavalitetom).

Sva navedena akta nedvosmisleno pokazuju da sve veća složenost poslovanja u privredi, neizostavno dovodi do toga da vođenje poslova i uređivanje odnosa sa okruženjem (država, društvo, životna sredina) zahteva sistematičnost i proverljivost. Zahteva se praćenje proizvoda, u opštem smislu "od kolevke do groba" ("from cradle to grave"), tj. "od projektovanja do rashodovanja", a u industriji mleka "od njive-staje do trpeze". Takvim pristupom jedino je moguće ostvariti zahteve savremenog potrošača u pogledu kvaliteta proizvoda, uz istovremenu zaštitu životne sredine, što je imperativ na putu ka ostvarenju održivog razvoja kao planetarnog cilja.

Na putu praćenja proizvoda "od njive-staje do trpeze" moraju se ostvariti zahtevi racionalizacije u pogledu po-

trošnje svih inputa, materijalnih i energetskih, mora se smanjiti zagađivanje okoline u celini i sprečiti da neizbežan otpad, čvrst, tečan i gasovit zagadi okolni prostor. Dakle, problemi zaštite životne sredine, u savremenom pristupu, rešavaju se kao deo proizvodnje, odnosno proizvodnog ciklusa, a ne po ranijem, prevaziđenom principu "end-of-pipe" zaštite (postupci zaštite na kraju proizvodnog ciklusa), koji je krajnje neracionalan i neefikasan (Baras, 1996, Baras i Turubatović, 1997).

Iz ovoga sledi zaključak da probleme zaštite životne sredine u industriji mleka treba rešavati počevši bar od staje, ako ne i od njive, što znatno proširuje dosadašnji pristup po kome se problemi zaštite rešavaju u pogonu mlekare. To proističe iz činjenice da preterana hemizacija u poljoprivredi (proizvodnji stočne hrane), preterano korišćenje supstanci koje imaju zaštitnu ili lekovitu ulogu (npr. antibiotici i hemoterapeutici), ili biostimulativnu ulogu (minerali, kao što su cink, bakar, selen, hrom, itd.) u gajenju stoke, sa mlekom u pogon mlekare unose se rezidue upotrebljenih sredstava, koje će činiti deo zagađenja koje mlekara proizvodi.

## 2. Industrija mleka i zaštita životne sredine

U svakoj industrijskoj proizvodnji, tj. preradi sirovina do proizvoda, pa i u prehrambenoj industriji, nastaje određena količina otpada (pratećih proizvoda), koja u našoj zemlji najčešće bez odgovarajućeg tretmana završava u prirodnom okruženju, izazivajući posledice koje su u prethodnom tekstu razmotrene. Koja vrsta i koja količina tih materijala će nastati, pre svega zavisi od vrste tehnologije.

Uobičajeno je da se smatra da je najveći zagađivač životne sredine hemijska industrija, a prehrambena industrija je svrstavana u red industrija koje proizvode otpad koji je prirodnog porekla, pa zbog toga njegovo delovanje u prirodi nije štetno. Ovakav pristup nije ispravan, a ispravna naučno-stručna analiza pokazuje da se prehrambena industrija mora ubrojiti u ozbiljne zagađivače životne sredine. Zbog toga je u ovom tekstu razmatran položaj industrije mleka kao potencijalnog zagađivača životne sredine.

U analizi uticaja pojedinih proizvodnih pogona na životnu sredinu polazi se od osnovne tehnološke šeme, vrši se analiza osnovnih procesa i operacija i sirovinskih tokova, bilansira se ulaz (input)

i izlaz (output) materijala i energije. Na osnovu dobijenih podataka, a posebno na osnovu vrste i količine izlaznog toka (proizvodi, prateći proizvodi, gubici), dobija se slika uticaja razmatrane tehnologije na životnu sredinu. Pri tome se, pored analiziranja i merenja osnovnih materijalnih i energetskih tokova, analiziraju i mere emisije (mirisi, buka).

Nažalost, u domaćoj literaturi, izuzimajući jedan ozbiljniji rad (Klašnja, 1997), nedovoljno je razmatrano i mesto industrije mleka kao zagađivača životne sredine, a još manje problematika uvođenja principa održivog razvoja u toj industriji. Zbog toga je u ovom radu toj problematici posvećena posebna pažnja.

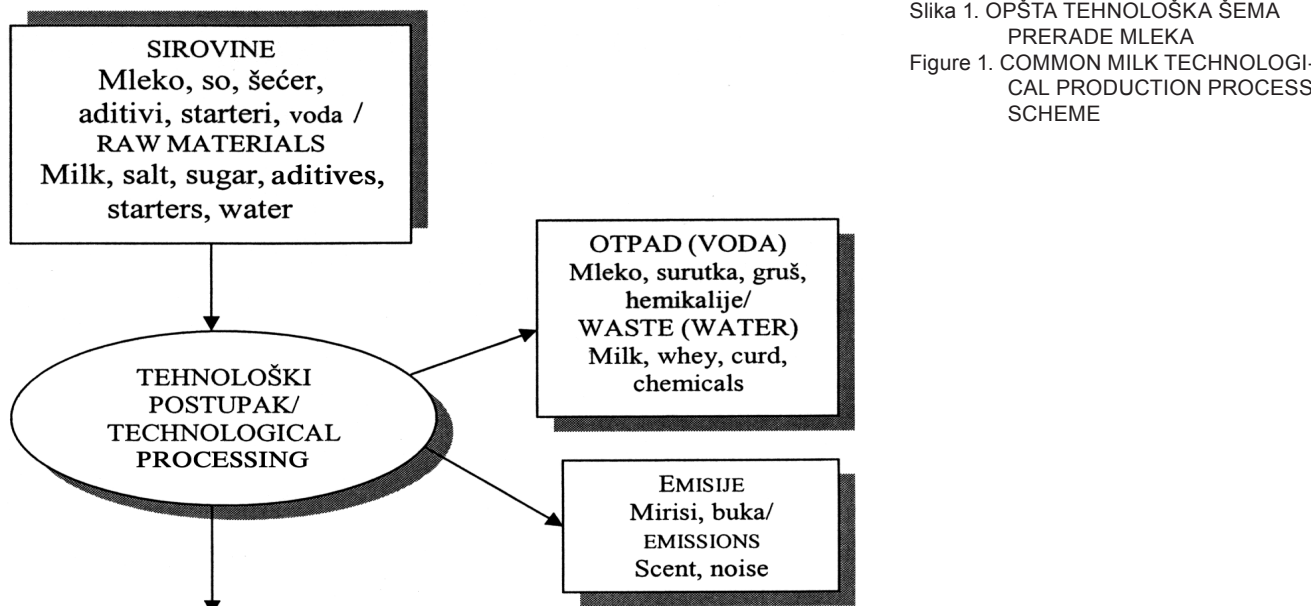
Na slici 1 prikazana je osnovna tehnološka šema prerade mleka u pogonu mlekare sa naznakom potencijalnog otpada i emisija.

Osnovna tehnološka šema (slika 1) pokazuje da u tehnološkom postupku prerade mleka može nastati otpad koga čini rasuto mleko, surutka, gruša, ingredijenti (so, šećer, aditivi), a njega prate hemikalije koje su korišćene kao sredstva za pranje (deterdženti, baze i kiseline), sredstva za održavanje sterilnosti u pogonu (dezinficijensi). Sve ovo ulazi u sastav otpadnih voda, tako da se može reći da u pogonima mlekare, sem otpadne ambalaže, etiketa i slično, čvrstog otpada praktično nema.

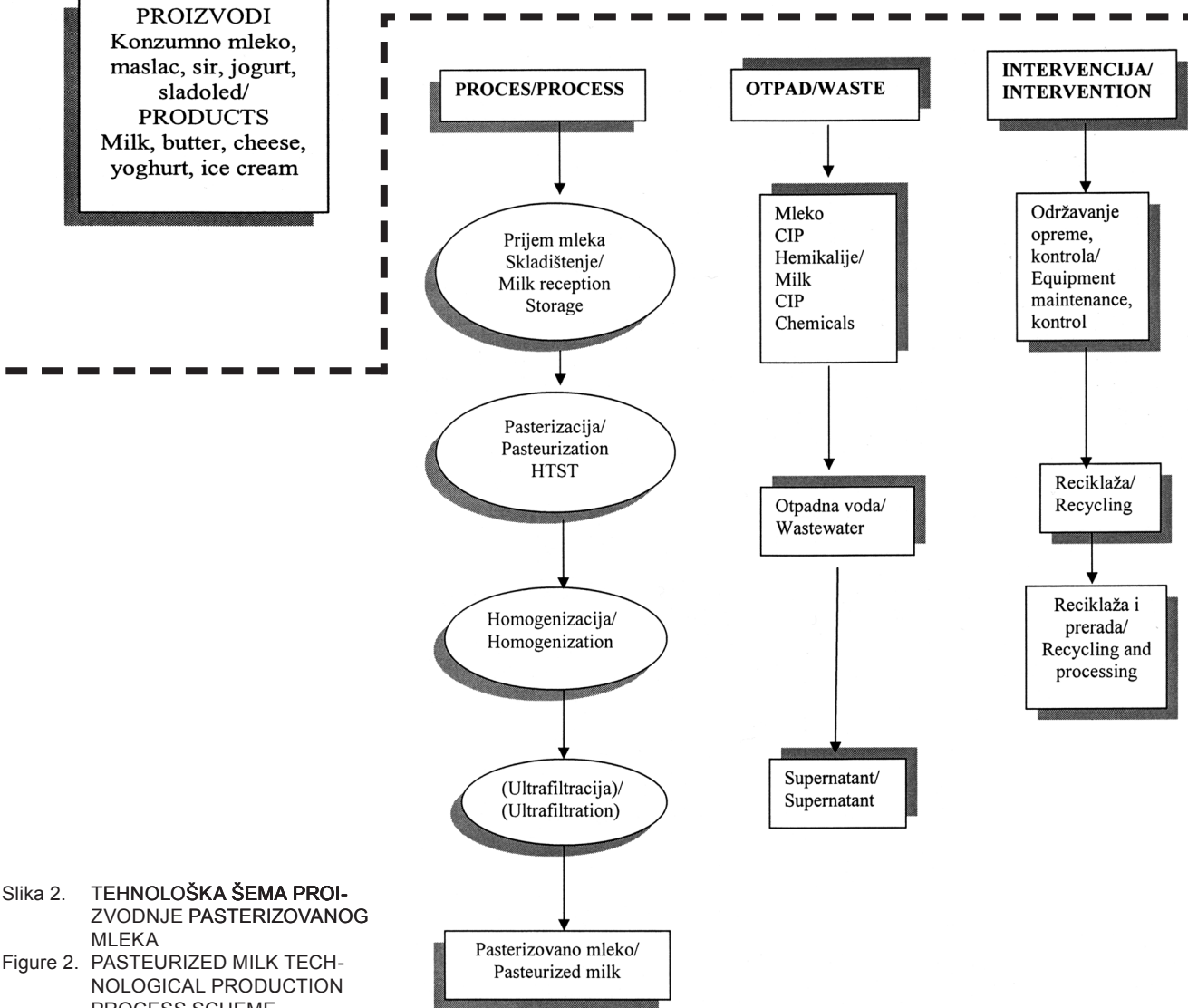
Opšta šema prikazana na slici 1, ne daje detaljniji uvid u proizvodnju i nastajanje otpada i emisija pri dobijanju pojedinih proizvoda, konzumnog mleka, sira, jogurta, maslaca, sladoleda itd., ali ukazuje na osnovnu vrstu otpada i emisija, koje su karakteristične za industriju mleka. Zbog toga je neophodno izvršiti detaljniju analizu nastajanja otpada i emisija za svaki proizvod posebno, jer se time mogu utvrditi faze nastajanje otpada i zagađujućih supstanci, a to znači da se mogu utvrditi mesta na kojima treba izvršiti zahvate izbegavanja i redukcije otpada i zagađenja.

Tehnološke šeme toka proizvodnje pasterizovanog mleka i sira, sa naznakom faza u kojima nastaje otpad i zagađujuće supstance, kao i intervencije koje je neophodno izvršiti da bi se smanjila količina otpada i nastalog zagađenja, prikazane su na slikama 2 i 3.

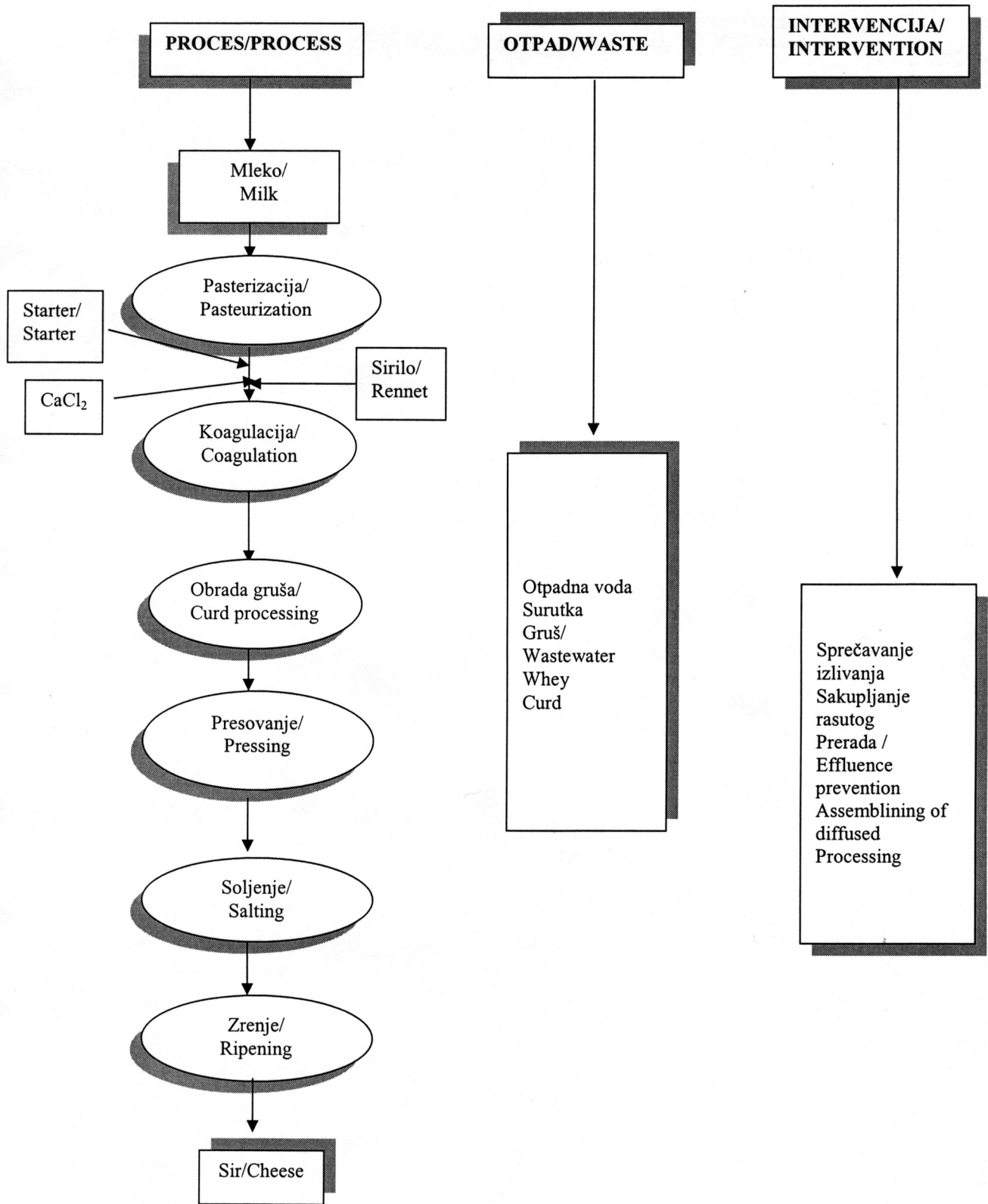
Iz prikazanih šema se može videti da u industrijskoj preradi mleka nastaju otpadne materije kao posledica rastura mleka, surutke i gruša, aditiva (so, S/E, arome, boje, itd.) i hemijskih supstanci, koje se koriste u proizvodnom postupku (sredstva za pranje, dezinfekciju i neutralizaciju). Najveći deo, ako ne i



Slika 1. OPŠTA TEHNOLOŠKA ŠEMA PRERADE MLEKA  
Figure 1. COMMON MILK TECHNOLOGICAL PRODUCTION PROCESS SCHEME



Slika 2. TEHNOLOŠKA ŠEMA PROIZVODNJE PASTERIZOVANOG MLEKA  
Figure 2. PASTEURIZED MILK TECHNOLOGICAL PRODUCTION PROCESS SCHEME



Slika 3. TEHNOLOŠKA ŠEMA PROIZVODNJE SIRA  
 Figure 3. CHEESE TECHNOLOGICAL PRODUCTION PROCESS SCHEME

sve navedene supstance, najčešće se iz pogona izbacuju sa vodom kojom se vrši pranje i sanitacija procesne opreme i pogona. Zbog toga su otpadne vode osnovni zagađivač životne sredine, koje prouzrokuju pogoni mlekare.

Od postupanja sa otpadom, a posebno sa otpadnim vodama, zavisi u kojoj meri će se ispoljiti negativan uticaj mlekare na okolinu. Ako se ne vrši obrada otpadnih tokova, ili se oni ne izlivaaju u javne kolektore, već u prirodne recipijente ili odlažu na zemljište, posledice su zagađivanje sva tri prirodna ambijenta:

- 1.a. površinskih voda – deoksigenacijom i eutrofikacijom,
- 1.b. podzemnih voda – spiranjem sa površina na koje je izliven otpad iz mlekare,
2. zemljišta – poremećajem bazno-kisele ravnoteže i izazivanje debalansa biogenih elemenata,
3. vazduha – neprijatnim mirisima izazvanim biološkim raspadom, odnosno truljenjem otpada.

Da bi se zagađivanje životne sredine sprečilo, naopodno je smanjiti gubitke i rastur sirovina i pomoćnih materijala primenom interventnih mera, koje se razmatraju u sledećem tekstu.

### 3. Intervencije u cilju smanjenja količine otpada i zagađujućih supstanci iz pogona mlekare

Da bi se moglo govoriti o intervencijama u bilo kom industrijskom pogonu, sa ciljem ušteda, racionalizacije proizvodnje i sprečavanja zagađivanja životne sredine, pre svega je neophodno utvrditi vrstu i potrošnju osnovnih i pomoćnih sirovina, koje se u proizvodnji koriste. Pošto je ovaj rad posvećen razmatranju otpadnih voda i zagađenju koje one mogu izazvati, sledeća analiza izvršena je u tom cilju.

#### 3.1. Potrošnja vode i upravljanje vodom

Prehrambena industrija u celini je je veliki potrošač vode, ali između pojedinih industrija u toj grani postoji značajna razlika. Ekstremni potrošači vode su šećerane i klanice, dok mlekare spadaju u srednje potrošače, što se može videti u tabeli 1.

Za mlekarske pogone je karakterističan cikličan tok proizvodnje, pa je i dinamika ispuštanja otpadnih voda neujednačena. Istovremeno je neujednačena i potrošnja vode u pojedinim fazama tehnološkog postupka. Zbog toga postoje značajne razlike u pogledu potrošnje vode u pojedinim pogonima mlekara, što je u funkciji proizvodnog asortimana. Međutim, potrošnja vode u najvećoj meri zavisi od gazdovanja vodom u pogonu mlekare. Najbolji svetski rezultat u potrošnji vode u mlekarama je 0,5–1 L vode/L mleka, što je nekoliko puta manje od potrošnje u našim mlekarama. Očigledno je potrebno obratiti najveću moguću pažnju na gazdovanje vodama u pogonu, što će direktno uticati i na količinu otpadnih voda.

#### 3.2. Izdvajanje i prerada surutke

U tehnološkim procesima prerade mleka, kao što su standardizacija mleka, proizvodnja sira i kazeina, proizvodnja

maslaca, nastaju tri prateća proizvoda – obrano mleko, surutka i mlaćenica, koji mogu da se koriste za dalju preradu i pri tome da služe kao osnovna sirovina (Bylund, 1995, Carić, 1990, Jovanović i sar., 2000, Popović-Vranješ i Vujičić, 1997).

Od pratećih proizvoda u preradi mleka najznačajnija je surutka, tečnost žućkasto-zelene boje, zbog prisustva riboflavina (vit. B<sub>2</sub>) i male količine masti. Od ukupne količine mleka, u procesu proizvodnje sira i kazeina čak 85–90% čini surutka, koja sadrži približno 50% suve materije mleka. Sastav surutke zavisi od vrste i sastava mleka korišćenog u tehnološkom procesu, kao i od načina koagulacije i vođenja tehnološkog postupka. U tabeli 2 prikazan je hemijski sastav slatke i kisele surutke.

Pošto surutka ima veoma visoku BPK vrednost (preko 40.000 mgO<sub>2</sub>/L, tabela 5), njeno izlivanje u kanalizaciju predstavlja dvostruku štetu: gubi se dragocena sirovina a u velikoj meri se povećava i količina i zagađenost otpadnih voda, koja se mora prečišćavati pre ispuštanja u prijemnik.

Mogućnosti iskorišćenja surutke kao pratećeg proizvoda su veoma brojne (Bylund, 1995, Carić, 1990, Jokić i sar., 1995, 1998, Jovanović i sar., 2000, Popović-Vranješ i Vujičić, 1997), što je i dato u šematskom prikazu na slici 4.

Tabela 2. SASTAV SURUTKE (CARIĆ, 1990)  
Table 2. COMPOSITION OF WHEY (CARIĆ, 1990)

Pokazatelji kvaliteta / Parameters of quality (%)	Slatka / Sweet	Kisela / Acid
Voda / Water	93.65	93.50
Suva materija / Total solid	6.35	6.50
Mlečna mast / Fat	0.50	0.04
Laktoza / Lactose	4.85	4.90
Proteini / Proteins	0.80	0.75
Min. materije / Ash	0.50	0.80
Mlečna kiselina / Lactic acid	0.05	0.40

Tabela 1. PROSEČNI NORMATIVI POTROŠNJE VODE U DOMAĆINSTVU I PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI  
Table 1. AVERAGE NORMATIVES OF WATER CONSUMPTION IN HOUSEHOLDS AND FOOD INDUSTRY

Oblast/Area	Jedinica mere / Measure unit	Količina / Quantity (L)
Domaćinstvo / Household	Stanovnik / Resident	100–300
Šećerane / Sugar refinery	100 kg repe / beet	
Bez cirkulacije / without circulation		1.5–2x10 <sup>3</sup>
Sa cirkulacijom / with circulation		0.5–1.5x10 <sup>3</sup>
Klanice / Slaughterhouse	1 zaklano govedo / slaughtered cattle	4–5x10 <sup>3</sup>
Mlekare / Dairy	1 L mleka / milk	2–6
Pivare / Brewery	1 L piva / beer	3–10
Sladare / Malthouse	1t ječma / barley	0.4–1.3x10 <sup>3</sup>
Skrobare / Starch production	1t kukuruza / corn	2–4x10 <sup>3</sup>
Pogon za proizv. alkohola / Alcohol production	1L etanola / ethanol	5–10
Prerada voća i povrća / Fruit and vegetable processing	1t	3–30 m <sup>3</sup>

3.3. Upravljanje vodom

Upravljanje vodom u industrijskim pogonima, pre svega u cilju smanjenja njene potrošnje i smanjenja količine i stepena zagađenosti otpadnih voda, jedan je od imperativnih zadataka TQM (Total Quality Management – totalno upravljanje kvalitetom) i održivog razvoja.

Ranije se u pogonima prehrambene industrije, pa i u industriji mleka, stepen ostvarene higijene merio količinom utrošene vode. Danas taj pristup nije prihvatljiv iz dva osnovna razloga:

1. u toku je stalni rast cene vode, što daje sve jači ekonomski motiv za štednju vode i
2. uvođenjem savremene tehnološke opreme i racionalnijih proizvodnih procesa ostvaruje se visok higijenski učinak uz sve manju potrošnju vode.

U mnogim mlekarskim pogonima ne zna se tačno kolika je potrošnja vode, naročito nije poznat utrošak vode iz sopstvenih bunara, koji su retko opremljeni vodomernima. Često se ne meri ni vodovodska voda, već se utrošak obračuna-

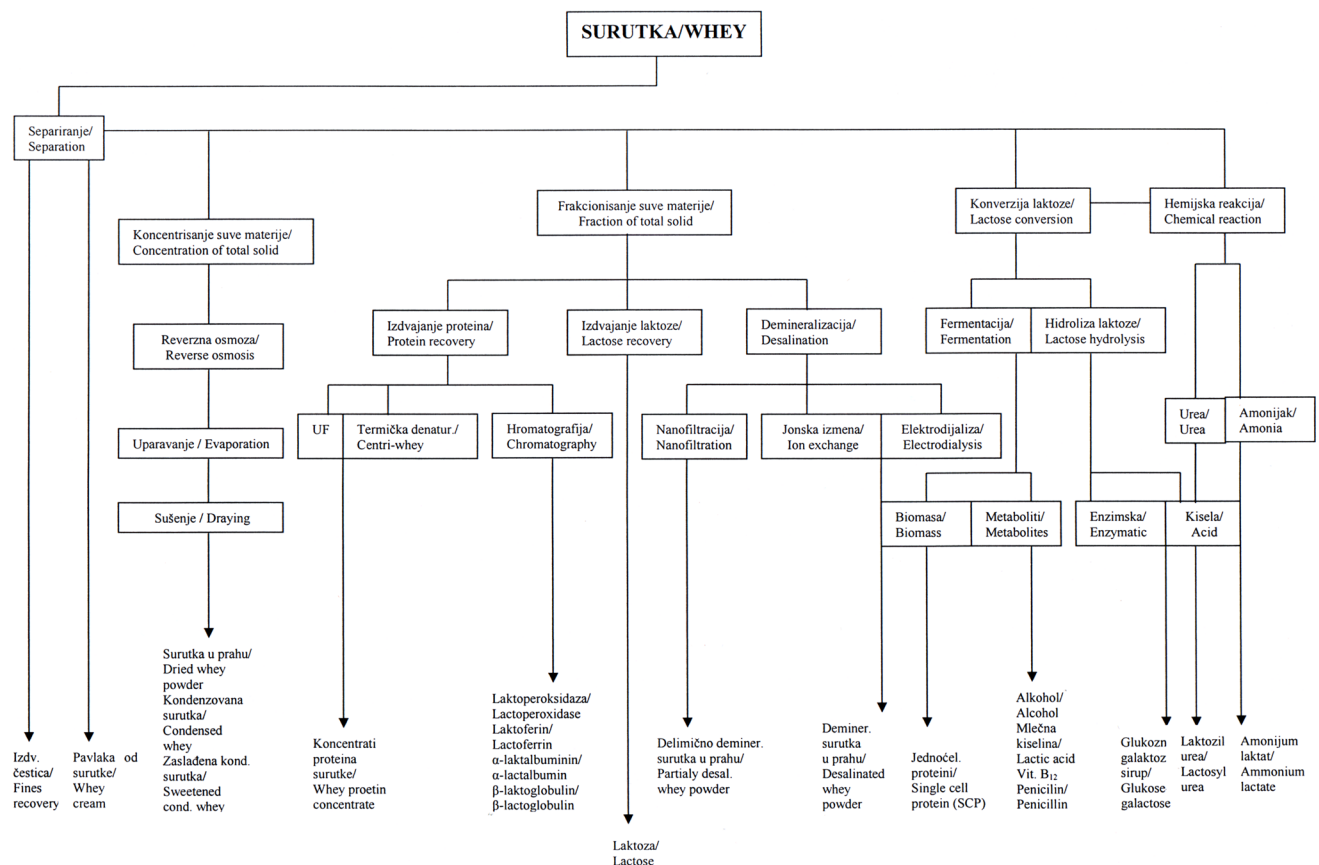
va i naplaćuje svojevrsnim paušalom koji može, ali i ne mora, da odgovara nekoj prosečnoj potrošnji. Još se ređe zna tačna dinamika potrošnje vode.

Smanjenje potrošnje vode jedan je od imperativa savremene industrije uopšte, iz više razloga, a osnovni su:

1. rastući troškovi vodosnabdevanja, bez obzira da li se ono vrši iz vodovodne mreže ili vlastitog izvorišta (bunari),
2. problemi vezani za stalnu raspoloživost dovoljnih količina vode potrebnog kvaliteta i
3. troškovi snabdevanja vodom direktno su povezani sa troškovima ispuštanja otpadnih voda u javne kolektore ili troškovima prečišćavanja otpadnih voda, ako se primarno ili konačno prečišćavanje vrši u okviru pogona. Pri tome treba imati na umu da paralelno sa porastom cene vode raste i cena prečišćavanja otpadnih voda.

U kontekstu gazdovanja vodom u industrijskim pogonima, principi održivog razvoja zahtevaju:

- racionalno korišćenje vode u svim fazama proizvodnje sa što manje gubitaka i recirkulacijama vode u pogonu kada je to moguće;
- smanjenje, po mogućnosti potpuno izbegavanje rastura međuproizvoda, proizvoda i pratećih proizvoda;
- smanjenje toksičnosti otpadnih voda korišćenjem biorazgradljivih deterdženata i dezinficijensa sa kratkom karencom;
- revizija razvoda cevovoda i razmatranje razdvajanja cevovoda za vodu kvaliteta za piće i za procesnu i tehničku vodu;
- kontrola potrošnje vode ugradnjom vodomera polazeći od činjenice da *ono što se ne meri to se i ne štedi*;
- redovna kontrola i održavanje mašinske opreme;
- recirkulacija i ponovno korišćenje vode, što u principu zahteva njenu prethodnu obradu;
- vođenje zatvorenih umesto otvorenih sistema hlađenja;
- vraćanje kondenzata;
- smanjenje gubitaka vode, npr. curenje na slavinama, spojevima cevi,



Slika 4. MOGUĆNOSTI PRERADE SURUTKE  
Figure 4. WHEY PROCESSING POSSIBILITIES

osovini pumpi, kroz naprsline na cevovodima i zidovima rezervoara.

Poštovanjem navedenih zahteva pri projektovanju i gradnji pogona, odnosno i intervencijama u pogonu u kome navedeni principi nisu primenjeni, moguće je značajno smanjiti i količinu i stepen zagađenosti otpadnih voda. Takođe, treba naglasiti da se većina mera za smanjenje gubitaka vode relativno brzo isplati. Neke od mera, sa potencijalno velikom uštedom vode, još uvek su za naše prilike preskupe, kao što je npr. recirkulacija vode od pranja posle odgovarajuće obrade. Međutim, poskupljenje vode, naročito vodovodske, verovatno će dosta brzo demantovati ovakvu procenu. Ponovo treba naglasiti da mere smanjenja potrošnje vode treba posmatrati i u kontekstu troškova za rešavanje problema otpadnih voda. Lako je dokazati da se proširenje kapaciteta postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, koje zahteva velike investicije, može izbeći time što će se smanjiti potrošnja vode u proizvodnom procesu.

#### 4. Otpadne vode, nastajanje i karakteristike

Pored toga što je veliki potrošač vode, prehrambena industrija se ubraja i u producente znatnih količina značajno zagađenih otpadnih voda, što se može videti iz podataka datih u tabelama 3 i 4.

Pošto u preradi mleka, izuzimajući proizvodnju sladoleda, voda ne ulazi u sastav proizvoda, praktično sva voda koja je uneta u pogon izlazi iz njega kao otpadna voda u raznim oblicima. Njoj se pridružuju i otpadni tečni tokovi iz proizvodnog procesa. Iz ukupnog zbira može se izuzeti mala količina vode koja je otparila ili je rasuta u nekanalisan prostor.

#### 4.1. Uticaj otpadnih voda na prijemnike

Najveći deo zagađenja otpadnih voda prehrambene industrije čine organske materije. Kada se takve otpadne vode neprečišćene ispuste u prirodne prijemnike (vodotoci i vodoakumulacije), dolazi do spontane razgradnje biorazgradljivog dela organskih materija pod uticajem mikroflora, koja normalno postoji u vodi recipijenta, za šta se troši rastvoreni kiseonik iz vode. Ako je zagađenje otpadnom vodom veće od tzv. *kompenzacione moći*, odnosno moći samoprečišćavanja prijemnika, koja uključuje aktivnost bioloških vrsta i reoksigenaciju, dolazi do smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi (*deoksigenacija* vode) i uništavanja aerobnih bioloških vrsta u prijemniku. Ako koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi padne ispod kritičnih 1,5–2,0 mg/L, stvaraju se anaerobni uslovi u vodi, odnosno dolazi do truljenja, što ima za posledicu nastajanje materija sa izrazito neugodnim mirisom i ukusom, kao i do promene boje vode. Pošto otpadna voda iz pogona industrije mleka sadrži znatnu količinu azota i fosfora (tabela 2), koji su glavni makronutrijenti biljaka, dolazi do prekomernog rasta biljaka, njihovog odumiranja i taloženja, odnosno dolazi do procesa *eutrofikacije* vode. Ova pojava je naročito nepovoljna za akumulacije vode i spore vodotokove.

Veći problem predstavlja izlivanje toksičnih supstanci, npr. sredstava za dezinfekciju i sterilizaciju opreme, biodegradabilnih deterdženata i alkalnih i kiselih voda od pranja.

Imajući u vidu navedeno, potrebno je poznavati uzroke nastajanja otpadnih voda i njihove karakteristike. Za karakterizaciju otpadnih voda, pre svega je potrebno utvrditi njihovo poreklo.

#### 4.2. Nastajanje i karakterizacija otpadnih voda

**Prvi korak** u karakterizaciji otpadnih voda jeste utvrđivanje njihovog porekla. Otpadne vode industrije prerade mleka sastoje se od:

1. otpadnih voda iz proizvodnje koje potiču iz:
  - (a) procesa proizvodnje i nazivaju se *procesne otpadne vode*,
  - (b) iz postupaka pranja procesne opreme i pogona i često ih zovu *tehnološkim otpadnim vodama* i
  - (c) energane i hlađenja;
2. *sanitarne*, tj. *fekalne*, otpadne vode koje potiču iz sanitarnih čvorova, kuhinje i restorana u pogonu i
3. *oborinske vode* (kiša, topljenje snega).

Kada se zna poreklo otpadne vode može se, bez pretencioznijih određivanja, na osnovu literaturnih podataka i iskustva, utvrditi gruba predstava o poreklu, količini i stepenu zagađenosti otpadnih voda.

Procesna otpadna voda je obično i najzagađenija. Pocesi prerade mleka su u principu ciklični, što ima za posledicu velike varijacije u količini i u stepenu zagađenosti otpadnih voda. Otpadne vode iz pojedinih faza prerade se veoma razlikuju po vrsti i koncentraciji prisutnog zagađenja.

Sanitarna otpadna voda je po svom sastavu veoma slična otpadnoj vodi domaćinstva, ta vrsta otpadne vode je u principu nisko zagađena (tabela 2). *Oborinska, atmosferska voda* dospeva sa krovova fabričkih zgrada i iz fabričkog kruga. To je u pravilu sasvim slabo zagađena voda, ukoliko se pazi na čistoću fabričkog kruga (da se ne prosipaju sirovine i proizvodi, otpadni proizvodi, ulje i nafta transportnih vozila, i slično).

Tabela 3. KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA PREHRAMBENE INDUSTRIJE U POREĐENJU SA OTPADNOM VODOM IZ DOMAČINSTVA

Table 3. FOOD INDUSTRY WASTEWATER CHARACTERISTICS COMPARING TO HOUSEHOLD WASTEWATER

Otpadna voda iz proizvodnje / prerade Production / processing wastewater	BPK <sub>5</sub> /BOD <sub>5</sub> (mg/L)	Uk. N/Total N (mg/L)	Uk. P/Total P (mg/L)	N/BPK <sub>5</sub> / N/BOD <sub>5</sub>	P/BPK <sub>5</sub> / P/BOD <sub>5</sub>
Krompirov čips / Potato chips	2000	250	25	0.13	0.013
Prerada krompira / Potato processing	2500	125	60	0.05	0.024
Slatkiši / Sweets	3500	40	0.6	0.01	–
Konzervisano povrće / Preserved vegetable	1700	45	15	0.03	0.01
Mlekara / Dairy	500–4000	30–150	20–100	0.07	0.05
Bezalkoholna pića / Soft drinks	180–370	6–40	6–9	0.08	0.03
Voćni sokovi / Fruit juices	2500–4000	10–30	8–30	0.007	0.007
Pivara / Brewery	800–2000	30–100	10–30	0.05	0.02
Otpadne vode domaćinstva / Household wastewater	315	58	13	0.18	0.04

**Drugi korak** u karakterizaciji otpadnih voda fabrike je utvrđivanje njihove količine. Do tog podatka se može doći na dva načina:

- merenjem količine otpadne vode mernim uređajima i
- procenom količine.

Procena se vrši na osnovu: normativa i količine utrošene vode, kao i procene na osnovu podataka iz literature. Količina sanitarne otpadne voda može se dosta tačno utvrditi na osnovu podatka o količini otpadne vode koja nastaje po stanovniku. Količina oborinske vode može se relativno tačno proceniti na osnovu podataka o padavinama iz najbliže meteorološke stanice i veličine površine krovova zgrada i fabričkog kruga, mada se mnogo tačniji podaci dobijaju postavljanjem kišomera u samoj fabrici.

Merenjem količine otpadnih voda dobijaju se tačniji podaci. Istovremeno, sukcesivnim merenjem dobija se i podatak o dinamici nastajanja otpadnih voda, koji je veoma značajan za projektovanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Treba imati na umu i to da je merenje i registracija količine otpadnih voda zakonska obaveza (Klark, 1976).

**Treći korak** u karakterizaciji otpadnih voda je određivanje vrste i koncentracije prisutnog zagađenja. Određivanje počinje uzorkovanjem otpadne vode i najčešće se pri tome prave greške zbog neravnomernosti nastajanja i zagađenosti otpadnih voda. Sledeći korak je hemijska, biohemijska i fizičko-hemijska analiza, koja zahvaljujući savremenim metodama određivanja daje pouzdane rezultate.

Na osnovu podataka o količini otpadne vode, vrsti i koncentraciji zagađenja izračunavaju se dva osnovna pokazatelja *hidrauličko* i *organsko opterećenje*, koji su neophodni za procenu uticaja otpadnih voda na okolinu i za izbor i projektovanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Ovi param-

tri se izražavaju preko HPK (hemijske potrošnje kiseonika) ili BPK<sub>5</sub> (biohemijske potrošnje kiseonika za 5 dana).

Od značaja su i pojedini specifični parametri zagađenosti, npr. sadržaj masnoća, suspendovanih supstanci, makronutrijenata (N i P), pH vrednost itd.

## 5. Postupci smanjivanja zagađenosti otpadnih voda

S obzirom na to da ispuštanje otpadnih voda u prirodne prijemnike nije dozvoljeno (Sl. glasnik RS 6/1991, Sl. glasnik RS 46/1991, Sl. glasnik RS 53/1993, Sl. glasnik RS 54/1996), a da postoje i norme zagađenosti otpadnih voda za njihovo ispuštanje u javnu kanalizaciju (Milojević, 1993), najefikasniji je, a može se reći i obavezan put, u skladu sa principima održivog razvoja, smanjenje količine i stepena zagađenosti otpadnih voda. U sledećem tekstu dat je pregled opštih i posebnih intervencija u toku pojedinih postupaka prerade mleka, koji vode ka navedenom cilju.

Opšti zahvati u cilju smanjenja zagađenosti otpadnih voda

Od opštih zahvata koje je potrebno primeniti, bez obzira na vrstu prerade mleka, najbitniji su:

- smanjenje zagađenosti otpadnih voda recirkulacijama i rekuperacijama sirovina, glavnih i pratećih proizvoda, jer su oni nosioci najvećeg zagađenja otpadnih voda (tabela 5);
- smanjenje potrošnje vode, kako bi se sadašnje nastajanje otpadnih voda od 2.5 L/L prerađenog mleka svelo na najbolji rezultat u svetu koji iznosi 0.5 L/L prerađenog mleka;
- kod prijema mleka, posebno pri pražnjenju cisterni, neophodno je da cisterna bude najmanje 0.5 m iznad prijemnog silosa, a crevo za pražnjenje da je dobro povezano;
- cevovodi moraju biti označeni po vrsti i blago nagnuti radi potpunog

pražnjenja, a spojevi među njima dobro fiksirani;

- fitinzi ne smeju biti propusni za vazduh;
- svi tankovi moraju imati kontrolu nivoa sa automatskim isključivanjem pumpi pri dostizanju maksimalnog nivoa;
- proveriti potpunu ispražnjenost cevovoda pre njihovog ispiranja vodom;
- razdvajanje kanalizacione mreže sanitarnih, procesnih (industrijskih) i atmosferskih voda;
- predtretman jače zagađenih i toksičnih otpadnih voda iz pojedinih faza proizvodnje;
- primena programiranog mašinskog umesto ručnog pranja, tj. primena centralnih CIP (Cleaning In Place) sistema pranja gde god je to moguće;
- modifikacija programa CIP-pranja u cilju manje potrošnje vode i hemikalija;
- upotreba biodegradabilnih sredstava za pranje;
- primena dezificijenasasa sa što kraćom karencom;
- zamena ili smanjenje upotrebe hemikalija koje su nosioci makronutrijenata N i P;
- smanjenje sodifikacije vode zameonom dela Na–soli sa K–solima;
- provera i osavremenjivanje proizvodnih procedura;
- obuka kadrova u skladu sa konceptom održivog razvoja, itd.

Imperativni zahtev da se smanji rastur sirovina, međuproizvoda i gotovih proizvoda proističe iz dva osnova:

- smanjenjem gubitaka racionalizuje se proizvodnja i ostvaruje materijalna dobit, jer sadašnji gubici u mlekarama, kako navode Carawan i sar. (1979) iznose 2% do 3% i
- sprečava se unošenje u otpadne vode supstanci koje nose najveći deo zagađenja, što se jasno vidi iz činjenice da su one nosioci izrazito visokih vrednosti BPK<sub>5</sub>, što je prikazano u tabeli 5.

## 6. Prečišćavanje otpadnih voda

Pošto prečišćavanje otpadnih voda zahteva ozbiljna investiciona ulaganja u izgradnju odgovarajućeg postrojenja, kao i za troškove tokom njegovog rada i održavanja, pre izbora postupaka potrebno je detaljno proanalizirati postojeću situaciju. Tu se, pre svega, podrazumeva primena svih mogućih intervencija

Tabela 5. VREDNOSTI BPK<sub>5</sub> POJEDINIH MLEČNIH PROIZVODA (mg O<sub>2</sub>/L)  
Table 5. BOD<sub>5</sub> VALUES OF SEVERAL MILK PRODUCTS (mg O<sub>2</sub>/L)

Proizvod / Product	BPK <sub>5</sub> / BOD <sub>5</sub>	BPK <sub>7</sub> / BOD <sub>7</sub>
Pavlačka / Cream (40% ml. masti / fat)	400.000	450.000
Punomasno mleko / Milk (4% ml. masti / fat)	120.000	135.000
Obrano mleko / Skim milk (0.05% ml. masti / fat)	70.000	80.000
Surutka / Whey (0.05% ml. masti / fat)	40.000	45.000
Koncen. surutka / Conc.whey (60%SM / TS)	400.000	450.000
1 kg mlečne masti / fat	3 kg BPK	
1 kg laktoze / lactose	1.13 kg BPK	
1 kg proteina / proteins	1.36 kg BPK	
1 zaposleni (ili stanovnik) / employer or resident	55–60 mg BPK	



i zahvata koji rezultiraju u smanjenju količine i stepena zagađenosti otpadnih voda, što je izloženo u prethodnom delu rada. Nakon toga treba razmotriti mogućnost odvajanja otpadnih tokova koji nose najveće zagađenje od ostalih manje zagađenih otpadnih voda. To ponekad zahteva ugradnju separativnih odvođa, što je često vezano za rekonstrukciju pogona i znatnih ulaganjima. Zbog toga se od takvih zahvata obično odustaje. Međutim, posmatrano dugoročno, takvi zahvati se u kraćem roku, od 1–2 godine isplate.

Sledeći korak je razmatranje mogućnosti i načina recirkulacije pojedinih tokova niskozaagađenih otpadnih voda. To u principu zahteva prethodno izdvajanje prisutnog zagađenja. Ukoliko to nije moguće treba razmotriti način parcijalnog tretmana odvojenih tokova, pre sjedinjavanja sa jače zagađenim otpadnim vodama. Ukoliko se navedene interventne mere ne primene i ukoliko se sve otpadne vode sakupljaju i odvođe istim kanalizacionim odvodom, njihovo prečišćavanje je daleko složenije i, naravno, investiciono skuplje.

Nakon toga treba razmotriti problem koji je vezan za lokaciju pogona. Moguće je da je pogon lociran:

- u zoni javne kanalizacione mreže,
- u zoni prirodnih prijemnika (reke, jezera)
- van zone prijemnika okružen slobodnim prostorom.

Svaka od navedenih lokacija nameće specifične zahteve i pruža specifične mogućnosti za rešavanje problema prečišćavanja otpadnih voda. U sledećem tekstu i na slici 4 data su tipična rešenja za pojedine navedene situacije.

Da bi se moglo odabrati najpovoljnije rešenje potrebno je prvo razmotriti šta u principu sadrže zbirne otpadne vode mlekare. One sadrže:

- najviše: izliveno ili rastureno mleko, mlečnu mast, proteine (rastvorne i nerastvorne), laktozu, mlečnu kiselinu, šećer i razne aditive;
- u manjoj meri jone:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , fosfate,  $\text{NO}_3^-$ , itd. i
- smanjenu ili povećanu vrednost pH.

U tabeli 6 dat je najčešći sastav zbirnih opadnih voda iz pogona mlekare. Iz tih podataka se vidi da stepen zagađenosti otpadnih voda jako varira u zavisnosti, pre svega, od vrste prerade mleka i primenjenosti ranije nabrojanih zahvata racionalizacije proizvodnje. Jedan od najefektnijih, ali nažalost i nedovoljno zastupljenih intervencija, jeste odvajanje surutke i njeno korišćenje kao veoma vredne sirovine, što je razmotreno u prethodnom tekstu.

Nakon toga, sledeći korak je razmatranje mogućnosti i načina predtretmana pojedinih jako zagađenih tokova otpadnih voda.

#### 6.1 Predtretman otpadnih voda

Pod predtretmanom otpadnih voda podrazumevaju se postupci koji se primenjuju u okviru proizvodnog pogona, a cilj je da se smanji stepen zagađenosti otpadne vode do nivoa koji, u skladu sa zakonskim propisima, omogućava njihovo izlivanje u postojeći prijemnik, javnu kanalizacionu mrežu ili prirodni prijemnik (reke, jezera, oranice, pašnjake i sl.).

Najracionalnije je podvrgavati predtretmanu otpadne vode iz pojedinih faza prerade koje su najzagađenije. Ako se preduzmu mere izbegavanja rastura sirovina, proizvoda i pratećih proizvoda, u mlekarama takve otpadne vode nastaju u centralizovanim sistemima za pranje (CIP sistemi).

Ukoliko, nakon predtretmana, ne postoji mogućnost izlivanja zbirnih otpadnih voda u javnu kanalizacionu mrežu, već se moraju ispuštati u vodoprijemnike ili

ne postoji mogućnost njihovog izlivanja, razmatraju se najracionalniji postupci za njihovo konačno prečišćavanje.

Razmatranje postupaka predtretmana otpadnih voda mleka, te i njihovog konačnog prečišćavanja izlazi iz okvira ovog rada i biće predmet naših sledećih saopštenja.

#### ZAKLJUČAK

Do sada vladajuća koncepcija zaštite životne sredine, a u sklopu nje i zaštite vodenih resursa, primenom postupaka prečišćavanja nastalog otpada na kraju proizvodnog postupka, zamenjuje se principima održivog razvoja. Održiv razvoj podrazumeva maksimalnu racionalizaciju potrošnje svih prirodnih resursa i maksimalnu reciklažu ili preradu novim tehnološkim postupcima svih pratećih proizvoda. To zahteva detaljnu analizu tehnoloških postupaka u cilju utvrđivanja kritičnih faza za nastajanje otpadnih proizvoda i sprovođenje mera radi sprečavanja ili smanjenja nastajanja otpada. Pri tome, proizvod se prati ne samo kao do sada, u okviru tehnološkog pogona, već od "njive do trpeze" i dalje do konačnog odlaganja u prirodnom okruženju, bez štetnog delovanja na njega.

U skladu sa tim savremenim principima, u industriji mleka treba preduzeti sve mere koje omogućavaju kontrolu i upravljanje proizvodnjom, ne samo u okviru samog pogona, već i svega što utiče na proizvodnju i uticaje proizvodnje na životnu sredinu izvan pogona.

#### LITERATURA

1. Asimov, I.: A Choice of Catastrophes, Simon and Shuster, NewYork, (1979).
2. Baras, J.: Tokovi razvoja zaštite životne sredine u procesnim tehnologijama, Hemijska industrija, 54 (1996) 474–480.
3. Baras, J., Turubatović, L.: Tokovi razvoja procesnih tehnologija, sistem ekološkog upravljanja i ograničenja za njegovo uvođenje,

Tabela 6. UOBIČAJENI SASTAV ZBIRNIH OTPADNIH VODA IZ POGONA JEDNE MLEKARE  
Table 6. THE USUAL COMPOSITION OF CUMULATIVE WASTE WATER FROM ONE DAIRY

Komponenta / components	Sadržaj / content (mg/L)	Prosečna vrednost / Average values ( mg/L)
BPK <sub>5</sub>	450–4800	1900
Masnoće / lipids	175–200	120
Rastvorene supstance / Soluble solids	250–2500	400
Suspendovane supstance / Suspended solids	210–900	150
N	15–180	70
P	11–160	50
Na	60–800	–
Ca	57–112	–
Mg	25–50	–
K	11–60	40
Cl	48 – 470	270
pH	8.5–10.5	9.0

- poglavlje u Monografiji "Ekomenadžment". Ur. Baras, J. Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd (1997), 11–28.
4. Bylund, G.: Dairy processing handbook. TetraPak, Processing Systems AB. Lund, Sweden, (1995).
  5. Carić, M.: Tehnologija koncentrovanih i sušenih mlečnih proizvoda. Naučna knjiga, Beograd. (1990).
  6. Carawan, R.E., Chambers, J.V. and Zall, R.R.: Dairy processing water and wastewater management, Washington, (1979).
  7. EU EEC 91/271
  8. EU EEC Concil Direktive 1991.
  9. Jokić, A., Mačej, O., Simović, D., Aleksandra Mikuljanac, Snežana Jovanović, Puđa, P., Kosi, F.: Mogućnost korišćenja surutke za proizvodnju laktoze i proizvoda od laktoze, prilog u monografiji "Savremeni trendovi u prehrambenoj industriji". Urednici: D. B. Obradović, M. A. Janković. Poljoprivredni fakultet, Beograd, (1995), 419–432.
  10. Jokić, A. M., Mačej, O. D., Marković, D. S., Simović, D. D., Jovanović, S. T., Mikuljanac, A. M.: Production of fermented ammoniated whey. 1<sup>st</sup> International Conference of the Chemical Societies of the South-East European Countries Chemical Science and Industry. Greece, 1998, Book of Abstracts, volume II, PO 690.
  11. Jovanović, S., Mačej, O. i Vukičević, D.: Savremeni pravci iskorišćenja pratećih proizvoda u industriji mleka. Arh. poljopr. nauke 61 (2000) 263–279.
  12. Kitanović, B.: Planeta i civilizacija u opasnosti, Privredna štampa, Beograd, (1979).
  13. Klark, H.: The next 200 year, W. Morrow, NewYork, (1976).
  14. Klačnja, M.: Problematika otpadnih voda – najvažniji deo ekološkog upravljanja u mlekari. Prehr. Ind. Mleko i mlečni proizvodi 8 (1997)15–24.
  15. Lem, S.: Suma tehnologije, Nolit, Beograd, (1979).
  16. Meadows D. H., Randers D.L. J. and Behrens, W.: Ganice rasta, Svetlost, Zagreb, (1973).
  17. Milojević, M.: Uslovi za ispuštanje industrijskih otpadnih voda u gradsku kanalizaciju. Voda i sanitarna tehnika 23 (1993) 65–71.
  18. Popović-Vranješ, A., Vujičić, I. F.: Tehnologija surutke. Monografija. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, (1997).
  19. Službeni glasnik RS 46, Zakon o vodama (1991).
  20. Službeni glasnik RS 6, Plan za zaštitu voda od zagađivanja (1991).
  21. Službeni glasnik RS 53, Zakon o vodama (1993).
  22. Službeni glasnik RS 54, Zakon o vodama (1996).
  23. Službeni glasnik RS 135, Zakon o zaštiti životne sredine (2004).

## WASTEWATER FROM DAIRY PLANTS

<sup>1</sup>Baras, J., <sup>2</sup>Jovanović, S.

<sup>1</sup>Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Belgrade

### Summary

The problem of pollution and wastewater creation from dairy plants has not been adequately researched in our scientific journals. Problems of wastewater origin and purification were mostly considered. However, modern principles of sustainable development initiate wide aspect of environmental protection. In this way environmental protection becomes component of technological production process which leads to final goal, technology without waste. Sustainable development implies maximum rationalization of consumption of all natural resources, along with maximum recycling or processing in new technological procedures of all byproducts. It demands detail analysis of technological processes, whose goal is to establish critical phases for wastewater origin, prevention and reduction.

In this paper, basic principles of production rationalization in dairy industry by applied methodology of critical points determination, waste material origination, waste prevention methods, as well as recycling possibility or waste processing were considered. Also, characteristic data of water consumption, wastewater origin and characteristics are given in this paper. Basic principles of water management and ways of overcoming wastewater problems were also considered.

**Key words:** dairy industry · wastewater · waste processing · production process rationalization · waste recycling · water management