

Predkoncentrisanje reverznom osmozom — prednosti i nedostaci* (Preconcentration by Reverse Osmosis — Advantages and Shortcomings)

Mr. Dragoljub GAVARIĆ, Tehnološki fakultet, Novi Sad

Stručni rad — Professional Paper

UDK: 637.344

Prispjelo: 25. 5. 1986.

Sažetak

U radu je dat kratak revijalan prikaz osnovnih pokazatelja korišćenja reverzne osmoze (RO) u cilju koncentrisanja mleka i surutke. Posle kratkog istorijata razvoja RO i diskusije o pojedinim detaljima procesa, posebno je razmatrana ekonomičnost postupka i poređena je sa klasičnom evaporacijom. Obzirom na ograničene mogućnosti koncentrisanja, do 30% suve materije, reverzna osmoza može se koristiti u kombinaciji s evaporacijom, kako bi se višestruko uštedela energija.

Summary

A short literature survey about (dis) advantages of using Reverse Osmosis (RO) in concentration dairy liquids is given. After introduction in the history of RO and description of certain details of the process, the economy of RO comparing to classical evaporation is discussed. Due to insufficient degree of concentration by RO for further drying of dairy liquids, optimal solution is combination of RO and traditional evaporation, but, with regard to many parameters which should be considered in this calculation, the results vary from country to country.

1. Uvod

Period od prvih deset godina po otkriću nekog pronalaska presudan je za tvrdnju da li će on imati komercijalnu budućnost ili će ostati samo tehnički kuriozitet (Ferguson, 1980). Kad je u pitanju reverzna osmoza (RO) i njena perspektiva, može se slobodno reći da je pomenuti period čak i kraći: od momenta otkrića prvih sintetičkih membrana 1961. godine (Ferguson, 1980) do njihove komercijalne primene protekao je period od nepunih 6 godina. Prvi uređaji za reverznu osmozu (u industrijskim razmerama) koristili su se za desalinaciju morske vode i počeli su s radom 1968. godine (Erikson, 1977). Reverzna osmoza je u prehrambenoj industriji, odnosno industriji prerađivanja mleka znatno kasnije primenjena: 1972. godine američka firma »Abcor« montira svoj prvi uređaj za RO u poznatoj »Crowley Food Inc.«, La Fargeville, N. Y. Iste godine u Val d'Or-u, u Francuskoj, poznata firma DDS (De Danske

* Referat održan na XXIV Seminaru za mljekarstvu industriju, Opatija, 1986.

Sukkerfabrikker) postavlja svoj prvi uređaj za reverznu osmozu u industriji prerade mleka.

2. Početne teškoće u primeni RO

Uprkos velikim obećanjima i nadama s kojima je dočekana nova tehnologija, ubrzo se ispostavilo da primena reverzne osmoze u koncentrisanju mleka i surutke povlači za sobom ozbiljne probleme i poteškoće.

Kao prvi i osnovni problem izdvojila se velika osetljivost membrana za reverznu osmozu na temperaturu, pH i ostale parametre procesa. Naime, to je vreme prve generacije RO membrana koje su se proizvodile od acetatne celuloze i koje su imale nekoliko nedostataka, (M a d s e n et al., 1981):

- korišćenje temperature iznad 30 °C tokom koncentrisanja nije bilo pogodno jer je to pogodovalo razvoju mikroorganizama i skraćivalo vek membrana, a temperature preko 40 °C nisu se mogle koristiti. To je uslovljavalo koncentrisanje na nižim temperaturama, 10 °C i niže, što je znatno poskupljivalo proces proizvodnje. Naime, vrednost protoka (fluksa) permeata na tim temperaturama je za oko 50% manja u odnosu na protok pri temperaturi koncentrisanja od 35 °C, a pored toga morala se trošiti dodatna energija za hlađenje fluida;
- uređaji za RO nisu se mogli prati po uobičajenom CIP (cleaning in place) postupku, već se morala koristiti specijalna procedura pranja deterdžentima s enzimima i sl.;
- BPK (BOD) — biološka potrošnja kiseonika permeata bila je relativno visoka, naročito kod koncentrisanja kisele surutke;

Osim nedovoljne funkcionalnosti samih membrana, u to se vreme postavljao i problem njihovog međusobnog rasporeda u uređajima za RO, tj. problem iznalaženja optimalnog odnosa u cilju dobijanja najveće moguće vrednosti fluksa. Naime, postojeća dva načina rada uređaja u šaržnom (batch) i kontinualnom direktnom (single pass) sistemu nisu omogućavale stepen koncentrisanja u većem iznosu, a da to ne bi uticalo na ekonomičnost procesa (za surutku, recimo, ne više od 2 : 1).

Treću, takođe značajnu poteškoću predstavljala je pojava začepljenja membrana (fouling) i vrlo brzog smanjenja početne vrednosti fluksa, što je direktno uticalo na investicione troškove i ekonomičnost procesa.

Svi ovi problemi uzrokovali su da se reverzna osmoza u početku relativno malo primenjivala u industriji prerade mleka, naročito u odnosu na ultrafiltraciju. Ovde su ti problemi uspešno rešeni i ultrafiltracija je beležila ekspanziju. Početkom osamdesetih godina na tržištu se pojavljuje tzv. druga generacija membrana za reverznu osmozu, sačinjena od materijala sličnog već postojećem materijalu za izradu membrana za ultrafiltraciju — organskih polimera. Performanse takvih membrana znatno su poboljšane, tako na primer nove membrane za RO firme DDS imaju sledeće karakteristike (M a d s e n et al., 1981):

- izdržavaju temperature do 80 °C, a najmanje 50 °C pri pritisku od 40 bara,
- znatno smanjuju BPK permeata čija je suva materija (SM) za 1/3 manja od materije prilikom korišćenja membrana od acetatne celuloze,
- obzirom na skraćenu proceduru pranja uređaja, moguće dnevno radno vreme produženo je sa 20 na 22 časa rada,
- fluks je povećan za 10—15% u odnosu na membrane prve generacije,
- zahvaljujući skraćenoj proceduri pranja, povećanom fluksu i radnoj temperaturi koncentrisanja od 30—35 °C, znatno je smanjena potrošnja električne energije kod uređaja za RO sa novim membranama.

Paralelno sa ovim istraživanjima, intenzivno su se istraživali optimizacija procesa i raspored membrana, jer, kao što je već rečeno, nije svejedno s aspekta ekonomičnosti da li se koristi šaržni ili kontinualni način koncentrisanja, da li su moduli povezani serijski ili paralelno, da li deo retentata recirkuliše ili se potpuno odvodi iz sistema, itd.

Razlike između šaržnog i kontinualnog postupka su znatne i, ne ulazeći u detalje, mogu se svesti na sledeće (Hansen, 1981):

1. Kod diskontinualnog postupka zbog recirkulacije celokupne mase, iz mikrobioloških razloga koncentrisanje se mora odvijati na nižim temperaturama, za razliku od kontinualnog postupka gde je prosečno vreme zadržavanja fluida u uređaju za RO 10—20 minuta i gde su temperature više.
2. Efikasnost (kapacitet/m² membrane) je najveća kod šaržnog postupka, posebno kod uređaja s manjim kapacitetom.
3. Kod šaržnog postupka pritisak fluida po izlasku iz uređaja za RO uvek se redukuje na početnu vrednost i ponovo se povećava u svakom ciklusu, dok kod kontinualnog sistema pad pritiska na izlasku ne iznosi više od 4—6 bara.
4. Šaržni postupak zahteva manje investicije u odnosu na kontinualni.

Od postojeća dva tipa kontinualnog sistema, direktni tip (single pass) je jednostavniji od višestepenog sistema sa recirkulacijom (multi stage with partial recycling, MSR).

Sve nabrojene prednosti i nedostaci pojedinih sistema vrede u slučajevima koncentrisanja surutke ili obranog mleka do 12% SM. Ukoliko se želi postići veći stepen koncentrisanja, jedina moguća varijanta procesa je kontinualni sistem s delimičnom recirkulacijom (MSR-proces). Zahvaljujući tom sistemu, moguće je koncentrisati surutku pod ekonomičnim uslovima do 28% SM, punomasno mleko do 24% SM, a obrano do 18% SM, dok, prema podacima firme DDS, korišćenjem njihovih modula za reverznu osmozu sadržaj suve materije u obranom mleku može da iznosi i 24% (Rubin, 1981). Veći stepen koncentrisanja nije za sada moguć, obzirom na nagli porast viskoziteta i osmotskog pritiska rastvora. On narasta toliko da gotovo neutrališe pokretačku silu reverzne osmoze, primenjeni pritisak, i na taj način ceo daljnji proces čini neekonomičnim (Johnston, 1982).

Tokom brojnih istraživanja utvrđeno je da se, bez odgovarajućeg predtretmana slatke surutke (za kiselu surutku ovakav tretman nije potreban) neposredno pred koncentrisanje reverznom osmozom, neće postići ekonomičnost procesa obzirom da je vrednost u takvim uslovima znatno veća nego bez predtretmana. Glavni razlog smanjenju fluksa je taloženje koloidnog kalcijum-fosfata čija rastvorljivost naglo opada s porastom temperature pri neutralnim pH vrednostima (Johnston, 1982).

Stvoreni talog formira, zajedno s proteinskim komponentama, dinamičku membranu na površini membrana za RO, koja određuje dalji protok permeata, a on je znatno manji u odnosu na početnu vrednost. Stoga, kad se koristi temperatura koncentrisanja od 35 °C da bi se sprečila precipitacija Ca-fosfata, optimalna vrednost pH surutke iznosi 5,7. Ta se vrednost može postići dodatkom kiseline, što nije uvek poželjno. Britanska firma P. C. I. (Paterson Candy International) razvila je originalan postupak za sniženje pH vrednosti surutke (Johnston, 1982): pre koncentrisanja ubacuje se potrebna količina ugljen-dioksida koji snižava pH vrednost surutke do potrebnog iznosa, a po izlasku koncentrata za RO oslobađa se i CO₂.

3. Prednosti koncentrisanja reverznom osmozom

Reverzna osmoza se definitivno afirmiše kao pogodna metoda za koncentrisanje fluida tek nakon uspešnog rešavanja gore navedenih problema. Ona se u industriji prerade mleka počinje sve više upotrebljavati, pa se npr. u Francuskoj (Huchon et al., 1984), u zadnjih 5 godina broj instalisanih uređaja za RO svake godine duplirao.

Prednosti korišćenja reverzne osmoze u postupku koncentrisanja su više-struke:

1. Proces je efikasan, s malom potrošnjom energije, 100—200 kg uklonjene vode/kWh.
2. Rad je jednostavan: fluid se pumpa preko membrane, koncentrat zaostaje, a kroz membranu prolazi čista voda.
3. Troškovi instalisanja su neznatni i oprema se obično može ugraditi u postojeći sistem i prostor.
4. Instalisanje uređaja veoma je jednostavno — postavlja se gotova, prethodno istražena jedinica uz minimalni rad tokom instalisanja.
5. Zbog modularnog načina gradnje, lako se povećava kapacitet.
6. Predkoncentrisanjem fluida smanjuju se troškovi transporta.
7. Montiranjem uređaja za RO ispred uparivača povećava se kapacitet koncentrisanja.
8. Moguće je koncentrisati rastvore do 30% SM.

Kao što se iz poslednje stavke vidi, ta je prednost istovremeno i veliki nedostatak reverzne osmoze: postignuti stepen koncentrisanja još uvek znatno zaostaje za željenom i potrebnom vrednošću od 45—50% SM. Dakle, isključivo korišćenje reverzne osmoze u cilju koncentrisanja pre sušenja nije moguće, pa se zato još uvek mora koristiti klasična uparna stanica. Istina, koncentrat dobijen procesom reverzne osmoze može se, i bez naknadnog koncentrisanja, direktno sušiti u spray sušnici, ali je potrošnja pare u sušnici po kilogramu

isparele vode enormno veća u odnosu na višestepenu vakuum uparnu stanicu: 0,13 kg pare/kg isparele vode kod vakuum uparivača napram 2,2 kg pare/kg isparele vode u tornju za sušenje (Darlington, 1982).

4. Ekonomičnost koncentrisanja reverznom osmozom

Obzirom da samo primenom reverzne osmoze nije moguće u dovoljnoj meri koncentrisati mleko ili surutku, ekonomičnost tog procesa treba posmatrati isključivo kroz kombinaciju reverzne osmoze i uparavanja. Taj je zadatak izuzetno složen jer, s jedne strane broj pojedinih stavki koje učestvuju u proračunu veoma je velik, a s druge strane njihov iznos jako varira od jedne zemlje do druge. Zbog svega toga vredi pravilo da ne postoji univerzalna vrednost ekonomičnosti, već da se ona različito očituje u pojedinom konkretnom slučaju (Stabile, 1983). Pri tom naročito treba voditi računa o: veličini uređaja koji bi se koristio; količini fluida koji se koncentriše i stepenu koncentrisanja; upotrebi pomoćnih uređaja; troškovima goriva; električne energije; radne snage; sirovine; prodajnoj ceni proizvoda.

U literaturi postoje mnogobrojni podaci koji različito govore o uštedama koje se postižu tokom primene reverzne osmoze u koncentrisanju mleka ili surutke. Pored već napomenutih poteškoća u proračunu, dosta veliki problem pri poređenju reverzne osmoze i uparavanja predstavlja adekvatan preračun odgovarajuće cene utrošene pare i električne energije. U tablici 1 su paralelno prikazani utrošci energije po isparelom kilogramu vode prilikom koncentrisanja reverznom osmozom i uparavanjem. Podaci iz tablice govore samo o iznosima energije koja se utroši tokom procesa koncentrisanja. Očigledna je velika energetska ušteda koja se postiže tokom procesa reverzne osmoze i koja je po pravilu 3,5—4 puta manja.

Hiddink, et al. (1984) takođe navodi slične podatke. Međutim, sadržaj suve materije koncentrata dobijenog uparavanjem je znatno veći od suve materije u RO koncentratu, no, gledano s aspekta količine vode koju treba ukloniti iz RO koncentrata da bi dosegla vrednosti od 50% SM, ta vrednost nije značajna. To se vidi i na slici 1, gde je količina vode koju treba ispariti nakon koncentrisanja reverznom osmozom minimalna (Pepper, et al., 1982). Prema podacima francuskih autora (Le Du, et al, 1983) troškovi uparavanja surutke do 24% SM su dvostruko veći nego kod koncentrisanja reverznom osmozom. U Danskoj (Rubin, 1981) troškovi uklanjanja vode iz surutke reverznom osmozom iznose od 6,3—2,2 \$/toni, klasičnom trostepenom evaporacijom 5,5—7,3 \$/toni, a kod modernih evaporatora sa mehaničkom kompresijom pare 2,4—3 \$/toni uklonjene vode. Pošto troškovi transporta iznose 6 \$/toni, očigledno je da je ove troškove moguće drastično smanjiti čak i u maloj zemlji kao što je Danska.

Međutim, kao što je i napomenuto, za potpuniji uvid u ekonomičnost primene reverzne osmoze u procesu koncentrisanja potrebno je uračunati i sve ostale parametre. Uzimajući i njih u obzir, slika se znatnije menja. Prema Wala-u, et al., (1985) troškovi investicija u uređaje za RO, troškovi održavanja membrana i ostalih delova uređaja itd. čine da koncentrisanje reverznom osmozom i uparavanjem u pogledu rentabilnosti budu približno isti.

Tablica 1. Poređenje utroška energije tokom reverzne osmoze i evaporacije
(Papper, et al., 1982)

Table 1. Comparing of Costs Consumed Energy During Reverse Osmose and Evaporation

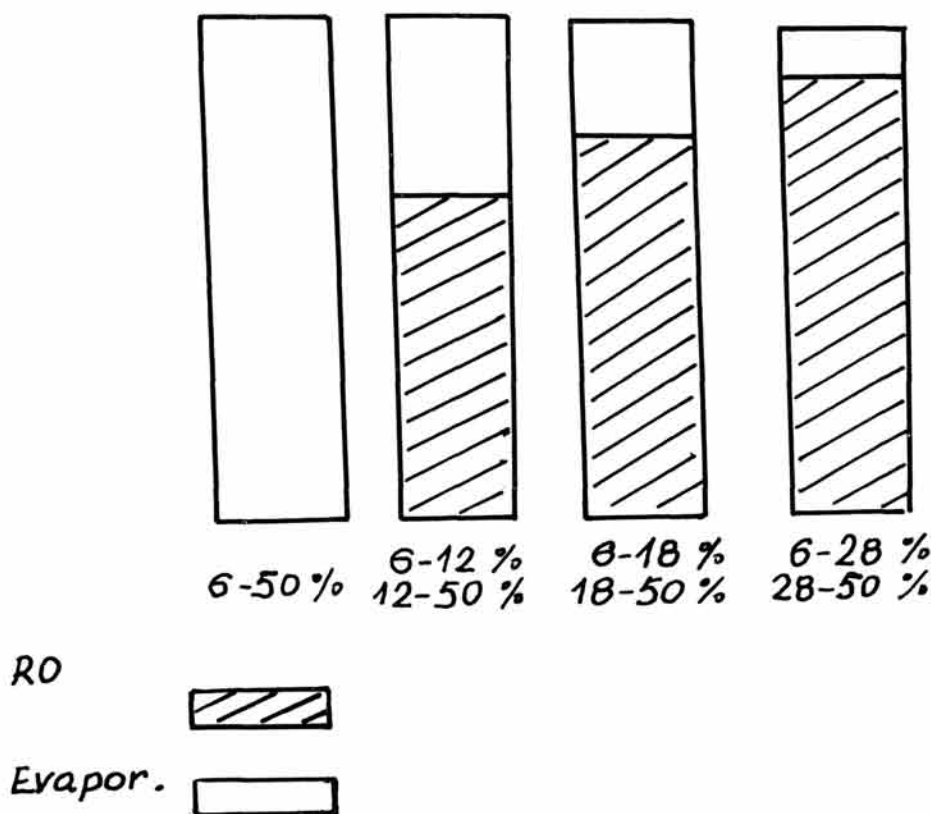
Vrsta evaporatora Type of Evaporator	Po toni uklonjene vode Per Ton of Removed Water			Cena ekvivalenta energije ² Price of Equivalent of Energy
	Pare (t) Steam (t)	Elektr. energije (KWh) Electricity (KWh)	Ukupni ekvivalent (KWh) ¹ Total Equivalent (KWh)	
Stepen konc. 6—50% Degre of concentration				
Jednostepeni One Step	1,25	0	780	390
Dvostepeni Two Step	0,29	3	185	94
Sedmostepeni Seven Step	0,18	3	115	59
Sa mehaničkom kompresijom With Mechanical Recompression				
Jednostepeni One Step	0,62	0	387	192
Dvostepeni Two Step	0,14	3	90	46
Sedmostepeni Seven Step	0,09	3	60	31
Za mehaničku rekompresiju For mechanical recompression	0,03	25	44	35
Reverzna osmoza Reverse Osmosis				
6—12% SM (TS)	0	3,6	3,6	3,6
6—18% SM (TS)	0	8,8	8,8	8,8
6—28% SM (TS)	0	9,6	9,6	9,6

1 — izračunato kao (tona pare) × 624 + električna energija. Ukupni ekvivalent KWh dobija se uz pretpostavku da je tona pare ekvivalenta 624 KWh električne energije (latentna toplota isparavanja vode izražena u KWh).

1 — Counted as tone of steam × 624 + electricity. Total equivalent KWh is obtained supposing that 1 tone of steam is equivalent to 624 KWh of electric energy (latent heat of evaporated water expressed in KWh).

2 — Cena ekvivalenta je dobijena uz pretpostavku da je 1 KWh pare samo polovina cene 1 KWh električne energije.

2 — The price of one equivalent of energy is obtained supposing that price of 1 KWh of steam corresponds half price of 1 KWh of power.



Slika 1. Količina vode koju je potrebno ukloniti evaporacijom nakon koncentrisanja reverznom osmozom do različitog sadržaja suve materije (Paper, et al., 1982).

Fig. 1. Amount of water which should be evaporated after different total solids concentration by reverse osmosis (Paper, et al., 1982)

U do sad najdetaljnije objavljenoj studiji (Stabile, 1983) o ekonomičnosti koncentrisanja reverznom osmozom, rađenoj za potrebe američkog ministarstva za poljoprivredu, kao osnovni zaključak iznosi se da su investicioni troškovi za kombinaciju reverzne osmoze i uparavanja za koncentrisanje obranog mleka sa 8,8—45% SM isti kao i troškovi potrebni za kupovinu opreme za koncentrisanje isključivo uparavanjem. Ali, u potrošnji energije postoji bitna razlika: kod kombinacije RO i uparavanja ona je za četiri puta manja nego kod koncentrisanja samo uparavanjem. Prema napomeni autora, rezultati vrede isključivo za uslove odabrane u tom radu (prosečni) i za cene u SAD.

5. Zaključak

Uprkos očiglednim uštedama u potrošnji energije tokom samog procesa koncentrisanja, zbog nemogućnosti postizanja veće suve materije fluida od

30⁰/₀, ovaj proces mora da se kombinuje sa klasičnim postupkom evaporacije. U zavisnosti od cene pojedinih činilaca koji utiču na ekonomičnost koncentrisanja, pogodna kombinacija reverzne osmoze i uparavanja može da ima prednost. U slučajevima kad se žele smanjiti troškovi transporta ili povećati kapacitet već postojeće linije za uparavanje, predkoncentrisanje RO povećava ekonomičnost procesa.

6. Literatura

- ABOT, J., GLOVER, F. A., MUIR, D. (1979): **Journal of Dairy Research**, **46**, 663—672
- DARLINGTON, R. (1982): **Journal of Society of Dairy Technology**, **35**, 82—86.
- ERIKSON, P. (1977): **Nordeuropaeisk Mejeritidsskrift** **7**, 238—246.
- FERGUSON, P. V. (1980): **Desalination**, **35**, 5—12.
- HANSEN, S. M.: Pasilac Information No 1., 1981.
- HIDDINK, J., VAN DER WALL, M. J. (1984): **Journal of Food Engineering**, **4**, 53—69.
- HUCHON, J., REYNOND, J. F. (1984): **Le Lait**, **604**, 305—317.
- JOHNSTON, N.: Proceedings of Whey Product Conference, October 21—22, Chicago USA, 1982.
- KNÜPFER, H. (1983): **Die Molkerei-Zeitung Welt der Milch**, **37**, 748—752.
- LE DU, J., HUCHON, J. (1983): **Le Technique Laitiere**, No 982, 45—48.
- MADSEN, R. F., BJERRE, P. (1981): **Nordeuropaeisk Mejeritidsskrift**, **6**, 172—175.
- PEPPER, D., ORCHARD, A. C. J. (1982): **Journal of Society of Dairy Technology**, **35** 49—53.
- RUBIN, J.: Pasilac information No 1814/GB, 1981.
- STABILE, R. L. (1983): **Journal of Dairy Science**, **66**, 1765—1772.
- WAAL, VAN DER, M. J., HIDDINK, J. (1985): **Journal of Food Engineering**, **4**, 53—69