

UPARAVANJE MLEKA U SLOJNIM ISPARIVAČIMA

Prof. dr. Svetozar STANIŠIĆ, Milan MEDOJEVIĆ, dipl. inž.,
Tehnološki fakultet, Novi Sad

Sažetak

U radu se razmatra hidrodinamika proticanja mleka tokom uparavanja u isparivačima s padajućim slojem (filmski isparivači) kao i pitanja u vezi s utroškom energije na uparavanje mleka. Postavljene su diferencijalne jednačine slevanja sloja mleka po uspravnoj vertikalnoj cevi i iz njih su dobijene računске jednačine za određivanje brzine strujanja mleka i napona smicanja. Vizuelnim osmatranjem uočeno je da se struktura slevajućeg sloja ne narušava radi prolaza kroz sloj mehurića pare.

Uvod

Uparavanje (koncentrovanje) mleka, pri proizvodnji različitih proizvoda od mleka, jedna je od najvažnijih operacija i u više tehnoloških procesa odlučujući ekonomski pokazatelj čitave proizvodnje i kvaliteta gotovog proizvoda (1).

Uparavanje mleka može se tretirati kao proces razdvajanja do koga dolazi pod delovanjem toplotne energije. Kao rezultat uparavanja iz mleka se izdvaja velika količina vode pri čemu se koncentracija mleka povećava.

Uparavanje se provodi u isparivaču koji je proračunat na intenzivan prenos toplote. Mleko se može otparavati u jednostepenoj ili višestepenoj isparnoj stanici te u isparnoj stanici s kompresijom supare.

Izboru optimalnog tipa isparivača i parametra otparavanja mleka mora se posvetiti posebna pažnja. Pri tome su od posebnog značaja vreme uparavanja, temperatura uparavanja te koncentracija do koje se mleko uparava (2).

Dugotrajnim uparavanjem mleko dobiva ukus na zagorelo, čime se osetno pogoršava kvalitet mleka. Zbog toga se danas praktično više ne koriste isparne stanice s isparivačima u kojima je veliki prostor za uparavanu tečnost (3).

Povišenje temperature uparavanja mleka, posebno ako uparavanje traje duže vremena, uzrokuje ukus na zagorelo mleko.

Danas se mleko gotovo isključivo uparava u isparnim stanicama sa slojnim isparivačima (4).

S obzirom na pokretačku silu strujanja sloja, slojni isparivači se dele na isparivače s puzećim slojem, s padajućim slojem, s razmaznim slojem i isparivače sa centrifugalnim slojem (5).

Svi tipovi slojnih isparivača koriste se za uparavanje mleka pri čemu se uslovi za uparavanje mleka u ovim isparivačima prilično razlikuju.

U isparivačima s puzećim slojem mleko se podiže uvis u obliku tankog sloja pod delovanjem mehurića pare (pene) koji nastaju isparavanjem mleka, pri čemu mehurići pare poput klipa podižu mleko uvis po cevi. Mada su ovi isparivači primenjavani niz godina, u poslednje vreme sve se manje koriste za ugušćivanje mleka.

Od slojnih isparivača za ugušćivanje mleka najviše se primenjuju isparivači s padajućim slojem (4). Isparivači s razmaznim slojem i isparivači sa centrifugalnim slojem nisu u nas našli veću primenu za ugušćivanje tečnosti.

Dinamika uparavanja u isparivačima s padajućim slojem

U isparivačima s padajućim slojem tanki sloj tečnosti sliva se pod delovanjem sile teže obično po unutrašnjoj površini cevi grijalice i na tom se putu ugušćuje. Debljina sloja mleka koje se sliva po unutrašnjoj površini cevi zavisi od dužine cevi i toplotnog opterećenja, pri čemu je važno da cev po čitavoj visini bude prekrivena slojem mleka. Na delovima površine cevi grijalice koje nisu pokrivene slojem mleka nastaje talog što uzrokuje prigorevanje mleka. Za izučavanje hidrodinamike slevanja sloja po površini cevi potrebno je odrediti ekvivalentni prečnik sloja, vrstu strujanja, napon smicanja, protok i vreme zadržavanja mleka u cevima grejalice.

Ekvivalentni prečnik sloja debljine i širine 1 m jednak je 4δ , jer je moćeni obim sloja širine 1 m jednak 1 m.

$$de = \frac{4A}{O} = 4\delta \quad (\text{m}) \quad (1)$$

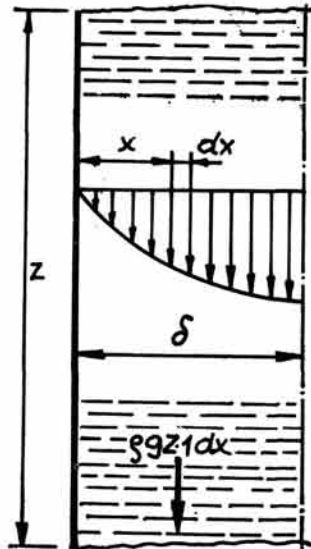
gde je A (m^2) — površina preseka sloja O (m) — obim sloja. Re — broj sloja mleka koje se sliva po uspravnoj cevi jednak je:

$$Re = \frac{4\delta w \rho}{\mu} \quad (2)$$

gde je w (m/s) — brzina strujanja sloja, ρ (kg/m^3) — gustina mleka i μ (kg/ms) — dinamički viskozitet sloja.

Ogledima je ustanovljeno da je pri $Re < 25$ strujanje laminarno, pri $Re = 25 - 1000$ uglavnom laminarno, ali se na površini sloja javljaju talasi, pri $Re = 1000 - 1500$ prelazno, a pri $Re > 1500$ turbulentno (6). Strujanje tečnog sloja po uspravnom zidu (sl. 1) najčešće je laminarno. Napon smicanja beskonačno tankog sloja mleka debljine dx je:

$$d\tau = -\mu d \frac{dw}{dx} \quad (\text{N}/\text{m}^2) \quad (3)$$



Sl. 1 — Slevanje sloja mleka po uspravnoj cevi grejalice

Sila koja vuče sloj mleka prema dole jednaka je težini sloja. Zapremina jedinice širina sloja je:

$$dV' = zydx \text{ (m}^3\text{)} \quad (4)$$

Težina sloja:

$$dG' = \rho gzydx \text{ (N)} \quad (5)$$

Odnos težine sloja dG' i proizvoda visine z i širine 1 m zida cevi jednak je naponu smicanja:

$$d\tau = \rho gdx \text{ N/m}^2 \quad (6)$$

Iz jednačina (3) i (6) sledi da je:

$$\frac{\rho gdx}{\mu} = -d \frac{dw}{dx} \quad (7)$$

Granice integraljenja jednačine (7) jednostavno je odrediti, jer je na zidu cevi $x = 0$ i $w = 0$, a na površini sloja nema napona smicanja $\tau = 0$ pa iz jednačine viskoziteta sledi da je gradijent brzine $\frac{dw}{dx} = 0$. Iz toga sledi da

je brzina strujanja čestica mleka na površini sloja najveća. Integraljenjem jednačine (7) u granicama $x = 0$ i $x = \delta$ dobija se jednačina parabolične raspodele masene brzine u sloju:

$$w = \frac{\rho g}{\mu} (\delta x - 0,5x^2) \text{ (m/s)} \quad (8)$$

Zapreminski protok mleka V po jedinici širine zida iz jednačine (8):

$$V = \int_0^{\delta} w dx = \frac{\rho g}{\mu} \frac{\delta^3}{3} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (9)$$

Linearna gustina protoka po jedinici širine zida:

$$m''' = V\rho = \frac{\rho^2 g}{3\mu} \delta^3 \text{ (kgm/m}^2\text{s)} \quad (10)$$

Srednja linearna brzina strujanja sloja:

$$w_s = \frac{V}{\delta} = \frac{gV^2}{3\mu} \text{ (m/s)} \quad (11)$$

Ako se u jednačinu (8) uvrsti $x = \delta$, dobija se da je maksimalna brzina strujanja sloja:

$$w_{\max} = \frac{\rho g}{2\mu} \delta^2 \text{ (m/s)} \quad (12)$$

Izjednačenjem jednačina (11) i (12) dobija se da je $w_{\max} = 1,5 w_s$.

Vreme zadržavanja mleka u cevi grejalice može se odrediti iz jednačine:

$$O = 3 \frac{r}{k \Delta t} (3\mu \rho g^{\frac{1}{3}} (m_1^{\frac{1}{3}} - (m''_1 - \frac{k \Delta t z^{\frac{1}{3}}}{r})) (s) \quad (13)$$

gde je: m''_1 (kgm/m²s) — maseni protok mleka po metru dužine cevi, m''' (kgm/m²s) maseni protok mleka po 1 m visine cevi, k (W/m²K) — srednji koeficijent prolaza toplote, $\Delta t = t_p - t_m$ — razlika temperatura zasićenja grejne pare i temperature ključanja mleka, z (m) — dužina cevi μ (kg/ms) — dinamički viskozitet mleka, ρ (kg/m³) — gustina mleka i r (J/kg) — toplota isparavanja vode iz mleka.

Brzina strujanja para na izlazu iz cevi može se odrediti iz jednačine:

$$m_p = \frac{\pi d^2}{4} w_p \rho_p = \pi dz \frac{k \Delta t}{r} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \quad (14)$$

odakle je brzina isticanja pare iz cevi:

$$w_p = \frac{4z}{d} \frac{k \Delta t}{r} \frac{1}{\rho_p} \text{ (m/s)} \quad (15)$$

gde je d (m) — prečnik cevi, m_p (kg/s) — maseni protok pare, ρ_p (kg/m³) — gustina pare.

Kroz sloj mleka koji se sliva po površini cevi pri laminarnom strujanju toplota se prostire provođenjem. Budući da je mleko loš provodnik toplote i da se koeficijent toplotne provodljivosti mleka smanjuje s povećanjem koncentracije suve materije u mleku, intenzivna razmena toplote između grejne pare i uparavanog mleka moguća je samo uz povećano toplotno opterećenje.

Toplotno opterećenje (gustina toplotnog toka) pri stabilnom laminarnom strujanju sloja po površini cevi može se prikazati jednačinom:

$$q_k = -\lambda \frac{dt}{dx} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (16)$$

gde je λ (W/mK) — koeficijent toplotne provodljivosti mleka, dt/dx — gradijent temperature.

Pri povećanju Re — broja na površini sloja pojavljuju se talasi, a pri još većoj vrednosti Re — broja deo sloja struji turbulentno čime se razmena toplote pospešuje. Mešanje slojeva pod delovanjem talasa na sloju izaziva dopunsko toplotno opterećenje koje se može prikazati jednačinom:

$$q_t = -gcK \frac{dt}{dx} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (17)$$

gde je c (J/kgK) — specifična toplota mleka, K (kg/m²) — koeficijent turbulencije mleka u sloju.

Ukupno toplotno opterećenje:

$$q = q_k + q_t = -\left(1 + \frac{gcK}{\lambda}\right) \frac{dt}{dx} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (18)$$

Drugi član u zagradi jednačine (18) izražava stepen porasta toplotnog opterećenja u poređenju s toplotnim opterećenjem koje nastaje usled prostiranja toplote isključivo provođenjem. Ta se veličina zove relativna toplotna provodljivost.

Našim ispitivanjem hidrodinamike proticanja sloja po unutrašnjoj površini cevi grejalice (7) i istraživanjem drugih autora (1) utvrđeno je da se u sloju mleka koje se sliva po unutrašnjoj površini cevi grejalice nalaze i mehurići pare koji se kreću zajedno sa slojem. Zbog velike brzine rasta, prečnik mehurića za kratko vreme dostiže debljinu sloja. Nakon odvajanja od površine cevi grejalice mehurić ima oblik lopte. Broj mehurića pare koji nastaje dovoljno je velik da uzrokuje pregrevavanje površine slevajućeg sloja. Struktura slevajućeg sloja mleka pri dovoljnom protoku mleka ne narušava se mehurićima pare. Relativna brzina strujanja mehurića u odnosu na mleko je neznatna zbog čega prisustvo mehurića ne povećava turbulentnost slevajućeg sloja.

Utrošak energije na uparavanje mleka u slojnim isparivačima

Mleko se u slojnim isparivačima može uparavati u jednostepenim i višestepenim isparnim stanicama ili u isparnim stanicama s kompresijom supare.

Uparavanje mleka u jednostepenim isparnim stanicama je neekonomično zbog velike potrošnje pare po kg isparene vode. U jednostepenim isparnim stanicama za isparavanje 1 kg vode iz mleka troši se 1,3 kg ogrevne pare, zbog čega se jednostepene isparne stanice veoma malo koriste. Mnogo manje toplotne energije troši se na uparavanje mleka u višestepenim isparnim stanicama. Pri izboru višestepene isparne stanice za ugušćivanje mleka od posebnog je značaja određivanje optimalnog broja isparivača. Optimalni broj isparivača višestepene isparne stanice određuje se analizom eksploatacionih troškova. Ukupni godišnji eksploatacioni troškovi višestepene isparne stanice C_u sastoje se od troškova rada C_r , rashladne vode C_v , pare C_p , amortizacionih troškova za isparnu stanicu C_i i kondenzatora C_k .

$$C_u = C_r + C_v + C_p + C_i + C_k \text{ (din/god.)} \quad (19)$$

Troškovi za vodu i paru određuju se iz toplotnog bilansa kondenzatora i isparivača i za kondenzatore mešanja mogu se odrediti iz jednačine:

$$C_v = \frac{C_v m_s (r_n + c_p (t_n - t_i))}{c_p (t_i - t_u)} \text{ din/god.} \quad (20)$$

za površinske kondenzatore:

$$C_v = \frac{C'_v m_s r_n}{C_p (t_o - t_u)} \text{ (din/god.)} \quad (21)$$

gde je C'_v (din/kg) — troškovi za rashladnu vodu, m_s (kg/god.) — maseni protok supare zadnjeg isparivača, r_n (J/kg) — toplota isparavanja u zadnjem isparivaču, c_p (J/kgK) — specifična toplota kondenzata.

Optimalna temperatura određuje se iz jednačine:

$$\frac{t_n - t_u}{t_n - t_{i\text{opt}}} - 1 + \ln \frac{t_n - t_{\text{opt}}}{t_n - t_u} = \frac{kh C'_v}{j c_v b} \quad (22)$$

gde je: k (W/m^2K) — koeficijent prolaza toplote u kondenzatoru pri optimalnim uslovima, h (čas/god) — broj časova rada kondenzatora godišnje, j (1/god) — deo godišnjeg otpisa od cene koštanja kondenzatora, b (din/m^2) — troškovi montaže površinskog kondenzatora.

Pod optimalnim uslovima podrazumevaju se uslovi u kojima se rashladna voda troši samo za kondenzaciju pare bez pothlađivanja kondenzatora.

Cena koštanja pare određuje se iz jednačine:

$$C_p = \frac{C'_p \cdot m_v}{n \cdot B} \text{ (din/god)} \quad (23)$$

gde je: C'_p (din/kg) — cena pare, m_v (kg/god) — količina isparene vode, n — broj isparivača, $B = \bar{x}/n$ — konstanta, \bar{x} (kg_v/kg_p) — količina vode koja se isparava s jednim kg pare.

Troškovi amortizacije isparivača:

$$C_i = C_{ig} (C_{in} + C) n \text{ (din/god)} \quad (24)$$

gde je: C_{ig} — odnos troškova godišnjeg otpisa za isparivač i cene koštanja isparivača, C_{in} (din/isparivač) — troškovi montaže isparivača, C (din/isparivač) — troškovi nabavke isparivača.

Amortizacioni otpis za kondenzator mešanja:

$$C_k = j \frac{C_a m_s (r_n + c_p (t_n - t_i))}{h c_p (t_i - t_u)} + kf \text{ (din/god)} \quad (25)$$

Amortizacioni otpis za površinski kondenzator:

$$C_k = j (bA + f) = \frac{j b m_s r_n}{h k \Delta t_c} + jf \text{ (din/god)} \quad (26)$$

gde je: C_a (din čas/kg) — cena koštanja isparivača koja se odnosi na njegov učinak hlađenja vodom, f (din) — troškovi montaže kondenzatora, A (m^2) — površina razmene toplote površinskog kondenzatora, b (din/m^2) — cena koštanja kondenzatora.

$$\Delta t = \frac{(t - t_{iopt}) - (t_n - t_u)}{\ln \frac{t_n - t_{iopt}}{t_n - t_u}} \quad (27)$$

Tražena veličina m_s nalazi se u jednačinama (25) i (26). Veličina m_s može se odrediti samo iz detaljnog toplotnog bilansa. Ipak se m_s s dovoljnom tačnošću može odrediti iz jednačine:

$$m_s = \frac{m_v}{n} \quad (28)$$

Nakon uvrštenja svih dobijenih vrednosti u jednačini (19) za višestepenu isparnu stanicu s kondenzatorom mešanja dobija se:

$$C_u = C_r + C_{ig} (C_{in} + C) n + jf + \frac{m_v}{n} \left(\frac{C'_p}{B} + (hC'_v + jC_a) \frac{r_n + C_p (t_n - t_i)}{h c_p (t_i - t_u)} \right) \quad (29)$$

i za površinski kondenzator

$$C_u = C_r + C_{ig}(C_{in} + C) + jf + \frac{m_v}{n} \left(\frac{C'_p}{B} + \frac{C'_v r_n}{C_p (t_{iopt} - t_u)} + \frac{j b r_n}{h k \Delta t_{cem}} \right) \quad (30)$$

Za određivanje optimalnog broja isparivača u oba slučaja treba odrediti minimum funkcije $C_u = f n$. Optimalni broj isparivača višestepene isparne stanice s kondenzatorom mešanja ili površinskim kondenzatorom može se odrediti sređivanjem jednačina koje se dobijaju izjednačavanjem s nulom proizvoda diferenciranja jednačina (29) i (30).

$$n_{opt} = \left(\frac{m_v}{C_{ig}(C_{in} + C)} \left(\frac{C'_p}{B} + (h C_v + j C_a) \left(\frac{r_n + c_p (t_n - t_i)}{h c_p (t_i - t_u)} \right) \right) \right)^{0,5} \quad (31)$$

$$n_{opt} = \left(\frac{m_v}{C_{ig}(C_{in} + C)} \left(\frac{C'_p}{B} + \frac{C'_v r_n}{c_p (t_{iopt} - t_u)} + \frac{j b r_n}{h k \Delta t_{cem}} \right) \right)^{0,5} \quad (32)$$

Mleko se može uparavati i u isparnim stanicama s toplotnom pumpom. Ova se mogućnost zasniva na korišćenju supare kao grejne pare za isparivač u kome je i nastala, ako se supari na neki način kompresijom dovoljno poveća temperatura.

Temperatura supare može se povećati mehaničkom kompresijom ili termokompresijom. Za mehaničku kompresiju koriste se obično turbokompresori. U nas se za kompresiju supare obično koriste mlazni parni kompresori. Rad parnog termokompresora zasniva se na širenju radne pare većeg pritiska u mlazniku na nešto manji pritisak od pritiska supare zbog čega se supara usisava u termokompresor. Radnoj pari, koja se sobom povlači suparu u difuzoru, smanjuje se brzina zbog čega se povećava pritisak toliko da je temperatura pare dovoljno velika za grejanje isparivača u kome je i nastala. Za kompresiju supare troši se radna para zbog čega nastaje višak grejne pare, jer supari treba pridodati vrlo malo energije za ugušćivanje smeše u isparivaču u kome je i nastala. Ekonomičnost uparavanja mleka termokompresijom se znatno poboljšava ako se višak komprimirane pare upotrebi za grejanje nekog drugog postrojenja. Zbog jednostavnosti izvedbe i prilagodljivosti uslovima rada uparavanja s termokompresijom ima niz prednosti u odnosu na drugi način uparavanja mleka.

Utrošak toplote za uparavanje jednog kilograma mleka u isparnim stanicama s termokompresijom mlaznim parnim kompresorom može se odrediti iz jednačine:

$$q = \frac{(i_r - t_k c_k) + z(i_w \cdot t_k c_k)}{m_m} \quad (J/kg) \quad (33)$$

gde je i_r, i_w (J/kg) — entalpija radne pare i vode, t_k, c_k — temperatura i specifična toplota kondenzata, m_m (kg/s) — količina mleka koja se uparava $\bar{z} = m_p/m_r$ — odnos masenih protoka.

Tehnika uparavanja mleka u slojnim isparivačima s padajućim slojem

Bez obzira na konstruktivne raznolikosti zajedničke karakteristike slojnih isparivača za uparavanje mleka su relativno veliki koeficijent prolaza toplote, mogućnosti rada s veoma malim razlikama temperature između temperature

grejne pare i temperature ključanja mleka, mali pad pritiska na strani mleka koje se uparava, kratko vreme zadržavanja mleka u isparivaču, mogućnost ugradnje odeljivača supare ispod nivoa grejalice i duže vreme rada isparivača bez pranja cevi grejalice.

Osnovna poteškoća pri radu isparivača s padajućim slojem je ostvarivanje ravnomerne raspodele mleka po površini cevi grejalice isparivača.

Ekonomičnost rada isparivača zbog velikog utroška energije bitno utiče na ekonomičnost čitavog proizvodnog procesa. Zbog toga je uvek aktuelna tema usavršavanja sheme uparavanja mleka i proizvoda od mleka.

Ekonomičnost uparavanja mleka može se povećati predgrevanjem mleka do temperature ključanja u prvom isparivaču uparenim mlekom ili nekim drugim sekundarnim izvorom toplote. Sem toga, režim podgrevanja mleka tehnološki je povezan s kvalitativnim svojstvima gotovih praškastih proizvoda. Za predgrevanje mleka može se koristiti toplota više izvora, kao na primer toplota uparenog mleka, kondenzata iz grejalica isparivača i supara koja se oduzima prvom isparivaču. Pri predgrevanju mleka iznad 74 °C sem ekonomskih faktora treba uzeti u obzir i promene kvaliteta mleka zbog denaturacije belančevina mleka. Kada se mleko predgreva iznad 74 °C, ono se zadržava dovoljno dugo na toj temperaturi za potpunu denaturaciju belančevina i tek nakon toga se uvodi u isparivač. Time se sprečava brzo taloženje belančevina na površini cevi grejalice isparivača. Ekonomičnost predgrevanja može se povećati injektiranjem oštne pare u mleko prethodno ugrejano na temperaturi od 98 °C u uperizacionoj glavi pri čemu se temperatura mleka povećava na 135 °C. Tako ugrejano mleko odvodi se u ekspanzionu posudu gde trenutno isparava a zatim se odvodi u isparnu stanicu. Para koja pri tome nastaje služi za predgrevanje mleka.

Pri dobijanju mleka u prahu svrsishodno je izravna veza između isparne stanice i sušare mada se mleko direktno iz isparne stanice uvodi u sušaru bez međuposuda. *Regulacija rada* ovakvog složenog postrojenja može se ostvariti promjenljivim ili stalnim protokom uparenog mleka iz isparne stanice u sušaru. *Regulacija rada* postrojenja na bazi promenljivog protoka mleka iz isparne stanice u sušaru postiže se automatikom koja regulira dovod grejne pare u poslednji isparivač. *Regulacija rada* postrojenja u kome iz isparne stanice u sušaru dotiče ista količina mleka stalne gustine zahteva jednostavniju automatiku sušare koja ima zadatak da regulacijom parametara vazduha kojim se suši osigura potrebnu vlažnost mleka u prahu.

Zaključak

Kriva raspodela brzine slevanja sloja mleka po površini cevi grejalice ima oblik dela parabole kod čega najveću brzinu imaju čestice mleka koje struje na površini sloja. Maksimalna brzina čestica mleka pri laminarnom strujanju je 1,5 puta veća od srednje brzine sloja.

Mešanjem sloja mleka pod delovanjem talasa na površini sloja izaziva povećanje gustine toplotnog toka.

Zajedno sa slojem mleka koji se sliva po površini cevi grejalice kreću se i mehurići pare. Prečnik mehurića pare za veoma kratko vreme izjednači se s debljinom sloja. Od trenutka odvajanja od površine cevi grejalice mehurić ima oblik lopte. Broj mehurića pare koji nastaje na površini cevi grejalice

dovoljan je da uzrokuje pregrevanje slevajućeg sloja. Pri dovoljnom protoku mleka struktura slevajućeg sloja se ne narušava mehurićima pare. Mehurići pare koji se kreću zajedno s mlekom ne povećavaju osetnije turbulenciju slevajućeg sloja zbog male relativne brzine mehurića pare u odnosu na sloj mleka.

Utrošak energije po kilogramu isparene vode osetno je manji pri uparavanju mleka u višestepenim isparnim stanicama i isparnim stanicama s termokompresijom supare u odnosu na uparavanje mleka u jednostepenim isparnim stanicama.

Temperaturni gubici u isparivačima sa slevajućim slojem su zanemarivo mali i oni mogu raditi s veoma malom razlikom temperature između temperature grejne pare i temperature ključanja mleka u sloju.

Milk evaporation in falling film evaporators

Summary

The authors discuss the hydrodynamics of milk flow during evaporation in falling film evaporators, further the questions of energy utilization for milk evaporation.

Milk film flow through vertical pipeline is presented by differential equations, and other parametres calculated.

Literatura

1. GRAJ R. M.: Recent development in the evaporation of milk and milk products. J. Soc. Dairy Technol., 1969, 22, № 4, 216—223.
2. KNIPSCHILDT M. E.: Recent developments in milk drying techniques. J. Soc. Dairy Technol., 1969, 22, № 4, 201—213.
3. BUBICH WITOLD. Techniczne problemy produkciji mleka w prozku. Prz. mlec., 1972, 21, № 8, 8—13.
4. DICKERSON ROGER V.: Calculation and measurement of heat transfer in foods. Food Technol. 1968, 22, № 12, 37—39, 49, 51—52.
5. STANIŠIĆ S.: Mehaničke operacije, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1978.
6. STANIŠIĆ S.: Difuzione operacije, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1978.
7. STANIŠIĆ S.: Istraživanje vrednosti koeficienta prelaza toplote od zida vertikalne cevi na sloj slevajuće tečnosti. Prehrambeno tehnološka revija br. 1 1981. god.