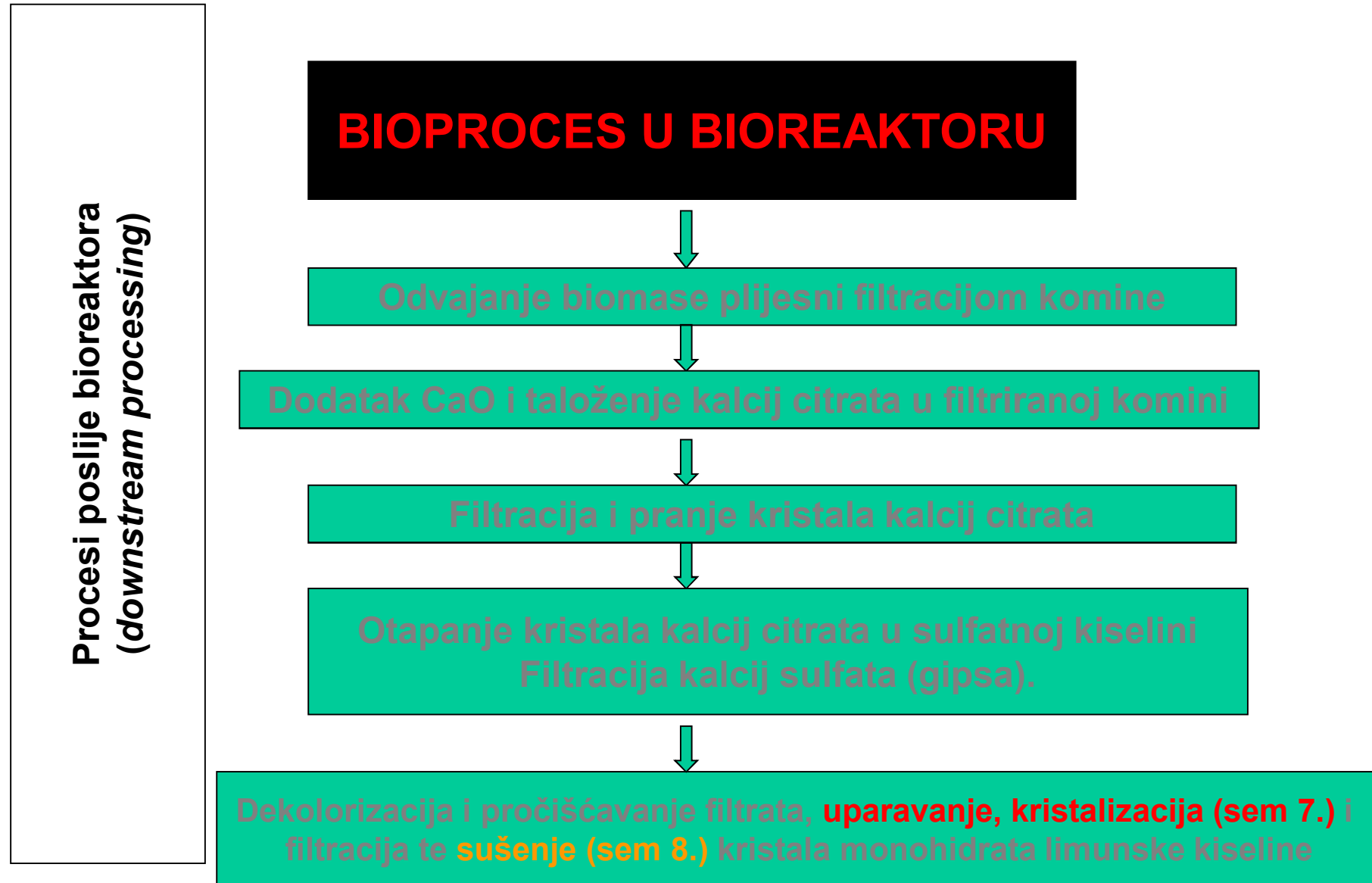


Proračun isparivača i kristalizatora

Izdvajanje i pročišćavanje
biotehnoloških proizvoda

Seminar 7.



1. Izračunajte utrošak pare jednostupanjskog isparivača za kontinuirano uparavanje 2 t/h otopine monohidrata limunske kiseline. Početna koncentracija otopine je 14,1 % (w/w), a konačna koncentracija 24,1% (w/w). Temperatura pare za grijanje je 150 °C, a toplinski gubici isparivača 50000 kcal/h.

Proračun treba provesti za dva slučaja:

- a) Otopina ulazi u isparivač s temperaturom 20 °C
- b) Otopina ulazi u isparivač na temperaturi vrelišta;

Masa vode koja se ispari:

$$W = G \frac{(x_2 - x_1)}{x_2} = 2000 \frac{24,1 - 14,1}{24,1} = 829 \text{ kg / h}$$

Utrošak topline za isparavanje

Pri određivanju topline isparavanja vode (r) uzimamo kao osnovnu temperaturu vrelišta otopine u isparivaču.

Vrelište 20% otopine limunske kiseline je približno 113 °C.

Pri 113 °C topline isparavanja vode $r = 531$ kcal/kg (tablični podatak)

Slijedi da je utrošak topline za isparavanje vode:

$$Q_{isp} = W \cdot r = 829 \cdot 531 = \mathbf{440000 \text{ kcal/h}}$$

Utrošak topline za zagrijavanje otopine

Specifična toplina otopine izračunava se prema sljedećoj jednadžbi:

$$c = \frac{n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot c_3 + \dots}{M}$$

$$C=1,8; H=2,3; O=4,0 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$c = \frac{1,8 \cdot 6 + 2,3 \cdot 10 + 4,0 \cdot 8}{210} = \frac{65,8}{210} = 0,313 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$$

Specifična toplina otopine ($x_1 = 0,141$) je:

$$c_{otp} = 1 - 0,141 + 0,313 \cdot 0,141 = 0,903 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$$

a) *Toplina potrebna za zagrijavanje* otopine u prvom slučaju je:

$$Q_{zagr} = 2000 \cdot 0,903 (113 - 20) = 168000 \text{ kcal/h}$$

Ukupna potrebna toplina:

$$Q_{isp} + Q_{zagr} + Q_{gub} = 440000 + 168000 + 50000 = 658000 \text{ kcal/h}$$

b) *Toplina potrebna za zagrijavanje* kada je otopina na temperaturi vrelišta je:

$$Q_{zagr} = 0$$

Ukupna potrebna toplina:

$$Q_{isp} + Q_{zagr} + Q_{gub} = 440000 + 0 + 50000 = 490000 \text{ kcal/h}$$

Utrošak pare

$$\text{a) } D = \frac{Q}{\Delta h \cdot x} = \frac{658000}{506} = 1300 \text{ kg / h}$$

Δh =entalpija pare-entalpija tekućine (kondenzata);(tablične vrijednosti)

$$\Delta h = 657 - 151 = 506 \text{ kcal/kg}$$

$x=1$ sadržaj pare (vlažnost)

$$\text{b) } D = \frac{Q}{\Delta h \cdot x} = \frac{490000}{506} = 968 \text{ kg / h}$$

U jednom pogonskom periodu ispari se 829 kg vode, stoga je *specifični utrošak topline* na isparavanje vode:

$$\text{a) } d = \frac{D}{W} = \frac{1300}{829} = 1,57 \text{ kg pare / kg isparene vode}$$

$$\text{b) } d = \frac{D}{W} = \frac{968}{829} = 1,18 \text{ kg pare / kg isparene vode}$$

1. Treba izračunati količinu topline koja se odvodi iz kristalizatora s kontinuiranim radom tijekom hlađenja 5000 kg/h vodene otopine monohidrata limunske kiseline sa 90 °C na 40 °C. Otopina sadrži 0,777 kg monohidrata limunske kiseline na 1 kg vode (77,7 %). Treba uzeti u obzir da se u kristalizatoru za vrijeme hlađenja ispari 3% vode.

Iz krivulja topljivosti za limunsku kiselinu dobiva se da je kod 40 °C koncentracija zasićenja otopine limunske kiseline 0,721 kg monohidrata limunske kiseline na 1 kg vode (72,1 %).

Pri hlađenju otopine na 40 °C izdvaja se (iz bilance tvari):

$$G_{kr} = \frac{G_1(x_2 - x_1) - W \cdot x_2}{x_2 - x_{kr}} [kg / h]$$

G_{kr} – masa kristala nastalih tijekom kristalizacije (kg)

G_1 – masa otopine na početku kristalizacije (kg/h)

x_2 – maseni udio limunske kiseline u otopini na kraju kristalizacije (kg/kg)

x_1 – maseni udio limunske kiseline u otopini na početku kristalizacije (kg/kg)

W – masa isparenog otapala (kg)

x_{kr} – kvocjent molekularne mase bezvodne otopljene limunske kiseline i kristalnog hidrata

192g/mol – molekulska masa monohidrata limunske kiseline
($C_6H_8O_7$)

210g/mol – molekulska masa monohidrata limunske kiseline
($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$)

Za monohidrat limunske kiseline:

$$x_{kr} = M/M_{kr} = 192 / 210 = 0,914$$

$$G_{kr} = \frac{5000(0,721 - 0,771) - 0,03 \cdot 5000 \cdot 0,721}{0,721 - 0,914} = \frac{-250 - 108,15}{-0,193} = 1855,7 \text{ kg / h}$$

Količina topline koja se mora odvesti je:

$$Q = Q_{zagr} + Q_{krist} - Q_{isp}$$

$$Q = G_1 \cdot c (t_1 - t_2) + G_{kr} \cdot q - W \cdot r$$

W - masa isparene vode kg/h

r – toplina isparavanja vode kcal/h

q = 5030 kcal/mol - toplina kristalizacije limunske kiseline je (tablični podatak)

Specifična toplina otopine izračunava se prema sljedećoj jednadžbi:

$$c = \frac{n_1 \cdot c_1 + n_2 \cdot c_2 + n_3 \cdot c_3 + \dots}{M}$$

$$C=1,8; H=2,3; O=4,0; N=6,2 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

$$c = \frac{1,8 \cdot 6 + 2,3 \cdot 10 + 4,0 \cdot 8}{210} = \frac{65,8}{210} = 0,313 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$$

Specifična toplota otopine ($x_1 = 0,771\%$) je:

$$c_{otp} = 1 - 0,771 + 0,313 \cdot 0,771 = 0,470 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Odvedena količina topline iznosi

$$Q = 5000 \cdot 0,470 (90 - 40) + 1855,7 \cdot 5030/210 - 0,03 \cdot 5000 \cdot 566 =$$
$$= 77048 \text{ kcal/h}$$

566 kcal/kg – toplota isparavanja vode pri srednjoj temperaturi

$(90+40)/2=65 \text{ } ^\circ\text{C}$ (tablični podatak)

3. Treba izračunati potrebnu površinu za hlađenje i utrošak vode u kristalizadoru iz prethodnog zadatka.

Koeficijent prolaza topline je $90 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$. Voda ulazi u plašt za hlađenje sa $15 ^\circ\text{C}$, a izlazi sa $20 ^\circ\text{C}$. Hlađenje je protustrujno.

Površina za hlađenje izračunava se prema jednadžbi:

$$A = \frac{Q}{K\Delta t_{sr}}$$

Hlađenje se odvija prema sljedećoj shemi:

$90 ^\circ\text{C} \xrightarrow{\text{limunska}} 40 ^\circ\text{C}$

$20 ^\circ\text{C} \xleftarrow{\text{voda}} 15 ^\circ\text{C}$

Stoga je srednja temperatura:

$$\Delta t_{sr} = \frac{(90 - 20) - (40 - 15)}{2,3 \log \frac{90 - 20}{40 - 15}} = 36,2^{\circ}C$$

Slijedi da je:

$$A = \frac{Q}{K\Delta t_{sr}} = \frac{77048}{90 \cdot 36,2} = 23,64m^2$$

Utrošak vode izračunava se iz toplinske bilance kristalizatora:

$$G_V = \frac{KA\Delta t_{sr}}{c_{vode}\Delta t_{vode}} = \frac{77048}{1(20-15)} = 15409.6kg / h$$