

Evropský sociální fond

„Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti“

PX2: Kombinovaná úloha na filtraci a sušení

Na listový filtr je přiváděna suspenze obsahující 21 g tuhé fáze na 100 g H_2O . Za hodinu je získáno 50 m^3 filtrátu, který neobsahuje pevnou fázi. Vlhkost filtračního koláče je 17 %.

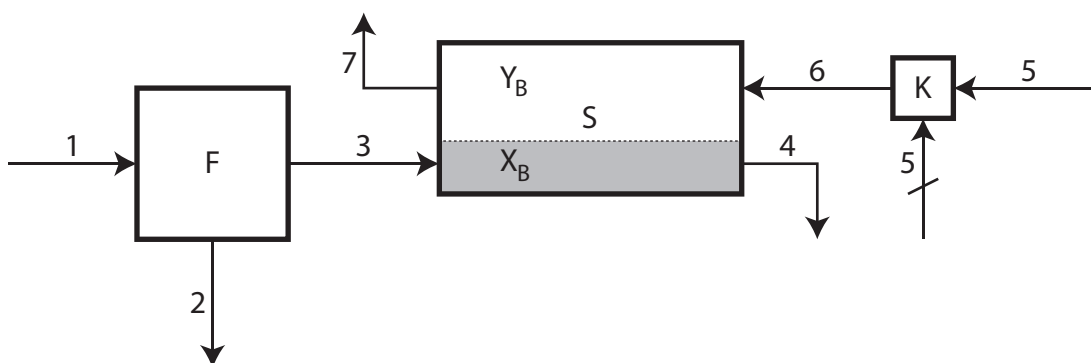
Filtrační koláč je následně veden do kontinuálně pracující pásové sušárny, kde je sušen na vlhkost 5 %. Teplota materiálu na vstupu do sušárny je 16°C a výstupu 29°C . Měrná tepelná kapacita suchého materiálu je $2050\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

K sušení se používá čerstvý vlhký vzduch, který má na vstupu do kaloriferu teplotu 16°C a teplotu rosného bodu $5,3^\circ\text{C}$. V kaloriferu se vzduch ohřeje na teplotu 70°C . Vzduch vystupující ze sušárny má teplotu 35°C . Vzduch se zahřívá pouze v kaloriferu, v němž se k ohřevu používá sytá vodní pára o tlaku $0,13\text{ MPa}$. U kaloriferu i sušárny předpokládejte dokonalou izolaci.

Spočítejte množství tuhé fáze produkované za jednu hodinu. Dále určete množství sušicího vzduchu a množství syté páry potřebné na jeho ohřev.

Postup a výpočet

Schéma je uvedeno na obrázku 1



Obrázek 1: Bilanční schéma.

Uzly: F – filtr, S – sušárna, k – kalorifer. Proudů: 1 – Vstup suspenze na filtr, 2 – filtrát, 3 – vlhký filtrační koláč / vstup do sušárny, 4 – vysušený filtrační koláč, 5 – vzduch na vstupu do kaloriferu, 6 – ohřátý sušicí vzduch, 7 – sušicí vzduch na výstupu ze sušárny.

Složky: A – pevná fáze / sušený materiál, B – voda, C – sušicí vzduch, p – topná pára.

1 Bilance filtru

Je zadán relativní zlomek tuhé fáze ve vodě. V surovině je tedy $X_{A1} = 0,21$, odtud

$$x_{A1} = \frac{X_{A1}}{1 + X_{A1}} = \frac{0,21}{1,21} = 0,1736, \quad x_{B1} = 1 - x_{A1} = 0,8264 \quad (1)$$

$$x_{B3} = 0,17, \quad x_{A3} = 1 - x_{B3} = 0,83 \quad (2)$$

1.1 Materiálové bilance

Dle bilančního schématu ukázaného na obr. 1 jsou bilanční rovnice

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (3)$$

$$x_{A1}\dot{m}_1 = x_{A3}\dot{m}_3 \quad (4)$$

Dosazením zadaných a vypočtených hodnot do bilance tuhé fáze dostaneme hmotnostní průtok $\dot{m}_3$. V první rovnici je pak jedinou neznámou hmotnostní průtok. Hmotnostní průtok filtrátu plyne ze vzorce $\dot{m} = \rho\dot{V}$, kde za ρ je za hustotu dosazeno $\rho = 997 \text{ kg m}^{-3}$.

$$\dot{m}_3 = \frac{x_{A1}\rho\dot{V}_2}{x_{A3} - x_{A1}} = \frac{0,1736 \cdot 997 \cdot 50}{0,83 - 0,1736} \doteq 13180 \text{ kg h}^{-1} \quad (5)$$

dle celkové bilance filtru je pak hmotnostní průtok suroviny

$$\dot{m}_1 \doteq 13180 + 49850 \text{ kg h}^{-1} = 63030 \text{ kg h}^{-1} \quad (6)$$

2 Kontinuální sušení filtračního koláče

Na adrese http://www.vscht.cz/uchi/e_tabulky/edlinric.html je applet společnosti Linric. Ze zadaných hodnot, teploty suchého teploměru (16°C) a teploty rosného bodu ($5,3^\circ\text{C}$), dostaneme při normálním tlaku (101325 Pa) entalpii $I_{m5} = 30,01 \text{ kJ kg}^{-1}$ a relativní hmotnostní zlomek $Y_A = 0,00554$, neboli $5,54 \text{ g/kg}$. Po zahřátí na 70°C vzroste entalpie na $I_{m6} = 84,83 \text{ kJ kg}^{-1}$.

Hmotnost suchého materiálu je dána

$$\dot{m}_A = x_{A3}\dot{m}_3 = 0,83 \cdot 13180 \text{ kg h}^{-1} = 10939 \text{ kg h}^{-1} \quad (7)$$

a relativní hmotnostní zlomky vlhkosti materiálu na vstupu a výstupu ze sušárny jsou

$$X_{A3} = \frac{x_{A3}}{1 - x_{A3}} = \frac{0,17}{0,83} = 0,2048 \quad (8)$$

$$X_{A4} = \frac{x_{A4}}{1 - x_{A4}} = \frac{0,05}{0,95} = 0,0526 \quad (9)$$

Entalpie sušeného materiálu na vstupu a výstupu ze sušárny jsou:

$$I_{A3} = (c_{ps} + X_{A3}c_{pv})t_{A3} = (2150 + 0,2048 \cdot 4183) \cdot 16 \doteq 48108 \text{ J kg}^{-1} \quad (10)$$

$$I_{A4} = (c_{ps} + X_{A4}c_{pv})t_{A4} = (2150 + 0,0526 \cdot 4183) \cdot 29 \doteq 68735 \text{ J kg}^{-1} \quad (11)$$

S doposud vypočtenými údaji zbývá určit množství, výstupní vlhkost a výstupní entalpii sušícího vzduchu a určit množství a teplotu topné páry. Rozborem problému zjistíme, že lze veličiny určit z

balance vody, entalpické balance a dodatkové rovnice, která udává závislost mezi výstupní entalpií vzduchu, jeho vlhkostí a teplotou.

$$\dot{m}_C Y_i + \dot{m}_A X_i = \dot{m}_C Y_e + \dot{m}_A X_e \quad (12)$$

$$\dot{m}_C I_i + \dot{m}_A I_{mi} = \dot{m}_C I_e + \dot{m}_A I_{me} + \dot{Q}_z \quad (13)$$

$$I_e = 2,5 \cdot 10^6 Y_e + (1910 Y_e + 1010) t_e \quad (14)$$

Řešením rovnic dostaneme postupně $I_e = 82796 \text{ J Kg}^{-1}$, $Y_e = 0,0185$ a $\dot{m}_C = 128620 \text{ kg h}^{-1}$.

Nyní k výpočtu množství topné páry potřebné pro ohřev sušicího vzduchu. Vztah mezi absolutní teplotou a tlakem páry je

$$p_p = 1000 \exp \left(16,2886 - \frac{3816,44}{T_p + (-46,13)} \right) \quad (15)$$

odtud je absolutní teplota páry dána

$$T_p = \frac{3816,44}{16,2886 - \ln(0,16 \cdot 10^6 / 1000)} - (-46,13) = 380,288 \text{ K} \quad (16)$$

a tedy $t_p = 380,288 - 273,15 = 107,138 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro určení hmotnosti páry potřebujeme výparnou entalpii při dané teplotě (t_p), která je dle tabulek Δh_{vyp} dána $\Delta h_{\text{vyp}} = 2238178 \text{ J kg}^{-1}$.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_C (I_{B6} - I_{B7}) = 128620 (84830 - 30010) = 3150 \text{ kJ h}^{-1} \quad (17)$$

Závěr

Je produkováno 10939 kJ h^{-1} tuhé fáze. K vysušení na požadovanou vlhkost je potřeba 128620 kg h^{-1} vzduchu a hmotnostní průtok topné páry je 3150 kg h^{-1} .