

Polosuchá vápenná metoda odsíření spalin – hmotová bilance

Příklad SPE

Dáno:

Množství spalin	$V_{NSP} = 600000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
Množství SO_2 ve spalinách	$x_{\text{SO}_2} = 0,25 \text{ \% obj.}$
Účinnost odsíření	$\eta_{\text{OD}} = 95 \text{ \%}$
Přebytek Ca ku S vůči stechiometrickému poměru (potřebný pro zajištění požadované účinnosti)	$\text{Ca} : \text{S} = P_{SP} = 1,6$
Čistota vápna	$X_V = 90 \text{ \% CaO}$
Koncentrace vápenného mléka (vodní suspenze vápna vč. v něm obsažených nečistot)	$X_{VM} = 0,25$ (25 % CaO vč. nečist.+ 75 % H_2O)
Roční provozní doba	$\tau = 7300 \text{ h/r}$
Tlakové ztráty v systému	$\Delta p_Z = 450 \text{ mm H}_2\text{O}$
Teplota spalin před ventilátorem	$t_{SP} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
Parametry normálního stavu	$t_N = 0 \text{ }^\circ\text{C}; p_N \approx p_{SP} = 1 \text{ bar}$

Určit:

Spotřebu vápna pro odsíření	M_{CaO}
Spotřebu suspenze (vápenného mléka)	M_{SUSP}
Celkové množství odpadu	M_{ODP}
Přibližný příkon motoru ventilátoru	P_{MVENT}
Přibližný příkon motoru rozpraš. kotouče	P_{MRK}

Výpočet

Objem SO_2 ve spalinách

$$V_{\text{NSO}_2} = V_{NSP} * x_{\text{SO}_2} = 600000 * 0,0025 = 1500 \text{ Nm}^3/\text{h SO}_2$$

Do reakce odsíření vstupuje objemové množství SO_2 (5 % SO_2 nezreaguje)

$$V_{\text{NSO}_2\text{OD}} = \eta_{\text{OD}} * V_{\text{NSO}_2} = 0,95 * 1500 = 1425 \text{ Nm}^3/\text{h SO}_2$$

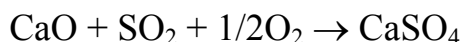
Tomu odpovídá počet kilomolů SO_2 (objem 1 kmol je $V_{\text{kmol}} = 22,4 \text{ Nm}^3$)

$$m_{\text{SO}_2\text{OD}} = V_{\text{NSO}_2\text{OD}} / V_{\text{kmol}} = 1425 / 22,4 = 63,62 \text{ kmol/h}$$

Atomové hmotnosti prvků vyskytujících se v reakcích

$$\text{Ca} = 40; \text{O} = 16; \text{S} = 32; \text{H} = 1$$

Celková rovnice odsíření



Na 1 kmol SO_2 potřebujeme 1 kmol CaO a 0,5 kmol O_2 a výsledkem reakce je 1 kmol CaSO_4 .

Molekulové hmotnosti jednotlivých složek reakcí odsířování

$$M_{\text{kmolCaO}} = 40 + 16 = 56 \text{ kg/kmol CaO}$$

$$M_{\text{kmolSO}_2} = 32 + 2 \cdot 16 = 64 \text{ kg/kmol SO}_2$$

$$M_{\text{kmolCaSO}_4} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 = 136 \text{ kg/kmol CaSO}_4$$

Teoretické potřebné množství CaO

$$m_{\text{kmolCaO}} = m_{\text{kmolSO}_2\text{OD}} = 63,62 \text{ kmol/h}$$

$$M_{\text{CaOteor}} = m_{\text{kmolCaO}} \cdot M_{\text{kmolCaO}} = 63,62 \cdot 56 = 3563 \text{ kg/h}$$

Skutečná spotřeba vápna (CaO) vč. nečistot = množství nakupovaného vápna

Přebytek Ca ku S vůči stechiometrickému poměru $P_{\text{SP}} = 1,6$ je nutný pro dosažení požadované účinnosti odsíření (mokrý vápenný či vápencový metoda pracuje s přebytkem cca 1,02 až 1,03).

$$M_{\text{CaOsk}} = M_{\text{CaOteor}} \cdot P_{\text{SP}} / X_V = 3563 \cdot 1,6 / 0,9 = \mathbf{6334 \text{ kg/h}}$$

Roční spotřeba vápna

$$M_{\text{CaOskR}} = M_{\text{CaOsk}} \cdot \tau = 6334 \cdot 7300 / 1000 = \mathbf{46238 \text{ t/r}}$$

Množství suspenze (vápenného mléka) vč. nečistot a potřebného přebytku

$$M_{\text{SUSP}} = M_{\text{CaOsk}} / X_{\text{VM}} = 6334 / 0,25 = \mathbf{25337 \text{ kg/h} = 7,038 \text{ kg/s}}$$

Teoretické množství odpadu (CaSO_4)

Teoretický poměr $\text{Ca} : \text{S} = 1$; čistota CaO je 100 %. Podle rovnice odsíření z 1 kmolu SO_2 vznikne 1 kmol CaSO_4 ; t.zn. že $m_{\text{kmolSO}_2} = m_{\text{kmolCaSO}_4} = 63,62 \text{ kmol/h}$. Potom bude

$$M_{\text{CaSO}_4\text{teor}} = m_{\text{kmolCaSO}_4} \cdot M_{\text{kmolCaSO}_4} = 63,62 \cdot 136 = 8652 \text{ kg/h}$$

Skutečné množství odpadu

Je rovné teoretickému množství CaSO_4 + nezreagovanému přebytku CaO vůči stechiometrickému (poměr $P_{\text{SP}} = 1,6 \rightarrow + 60 \%$ teoretického množství) + množství nečistot ve vápně (90 % ní čistota $\rightarrow + 10 \%$ skutečného množství).

$$M_{\text{ODP}} = M_{\text{CaSO}_4\text{teor}} + 0,6 * M_{\text{CaOteor}} + 0,1 * M_{\text{CaOsk}}$$

$$M_{\text{ODP}} = 8652 + 0,6 * 3563 + 0,1 * 6334 = \mathbf{11424 \text{ kg/h}}$$

Roční produkce odpadu

$$M_{\text{ODPR}} = M_{\text{ODP}} * \tau = 11424 * 7300 / 1000 = 83392 \text{ t/r}$$

Návrh ventilátoru

Přepočet z normálního stavu na skutečné parametry se provede pomocí stavové rovnice.

$$p_{\text{sk}} * v_{\text{sk}} = R * T_{\text{sk}} \quad p_{\text{N}} * v_{\text{N}} = R * T_{\text{N}}$$

$$R = p_{\text{sk}} * v_{\text{sk}} / T_{\text{sk}} = p_{\text{N}} * v_{\text{N}} / T_{\text{N}}$$

$$p_{\text{N}} = p_{\text{sk}} = 1 \text{ bar}; \quad t_{\text{N}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{sk}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}; \quad M_{\text{SPsk}} \approx M_{\text{SPN}}$$

$$\text{resp. pro } M_{\text{SP}} \text{ kg plynu (spalin) bude } p_{\text{sk}} * V_{\text{sk}} = M_{\text{SP}} * R * T_{\text{sk}}$$

Potom bude (pro izobarický děj – zákon Gay-Lussacův)

$$V_{\text{sk}} = V_{\text{N}} * T_{\text{sk}} / T_{\text{N}} = (600000 / 3600) * (373 / 273) = 227,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

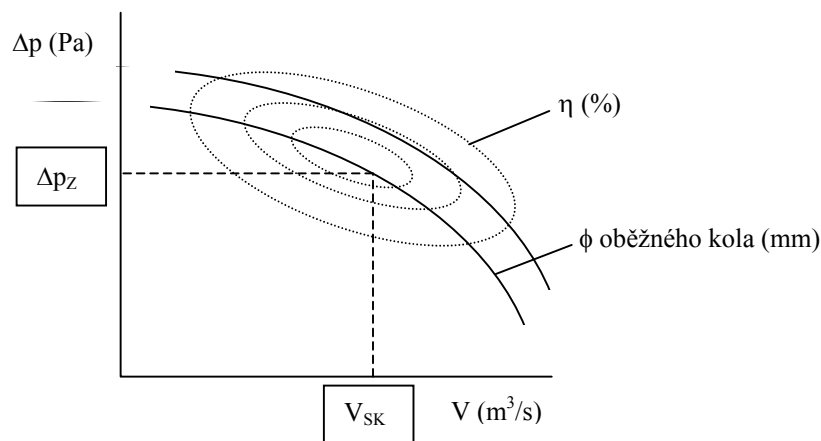
Příkon motoru ventilátoru

$$P_{\text{VENT}} = (1,1 \text{ až } 1,2) * \Delta p_{\text{Z}} * V_{\text{sk}} / \eta_{\text{C}}$$

kde celkovou účinnost ventilátoru určíme z jeho charakteristiky pro zvolený typ, dané Δp_{Z} a V_{sk} . Určíme např. $\eta_{\text{C}} = 0,8$ (viz násl. strana).

$$\Delta p_{\text{Z}} = 450 \text{ mm H}_2\text{O} \approx 4415 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{VENT}} = 1,15 * 4415 * 227,7 / 0,8 = 1,45 * 10^6 \text{ W} \approx \mathbf{1,45 \text{ MW}}$$



Charakteristika ventilátoru

Příkon motoru rozprašovacího kotouče

Pro jeho výpočet vycházíme z toho, že se rozprašovaná suspenze musí urychlit na obvodovou rychlost kotouče a dále protlačit otvory v kotouči. Pro zjednodušení uvažujeme pouze příkon potřebný pro urychlení rozprašované suspenze vápenného mléka.

$$P_{RKurychl} = M_{SUSP} * v_T^2 / 2 * \eta_{RK} \quad [kg/s * m^2/s^2 = kgm^2/s^3 = W]$$

kde je $\eta_{RK} = 0,6$ až $0,7$

účinnost rozprašovacího kotouče

$$v_T = \pi * D_{RK} * n = 100 \text{ až } 300 \text{ m/s}$$

obvodová (tangenciální) rychlost kotouče

$$v_T = 190 \text{ m/s}$$

(Niro používá cca 160 až 220 m/s)

$$P_{RKurychl} = 7,038 * 190^2 / 2 * 0,65 = 195441 \text{ W}$$

Příkon motoru (účinnost převodovky 90 %, účinnost motoru 95 % + rezerva 20 % na zanedbání třecích a ventilačních ztrát v kotouči atp.)

$$P_{MRK} = 1,2 * P_{RKurychl} / (\eta_{PŘ} * \eta_M)$$

$$P_{MRK} = 1,2 * 195441 / (0,90 * 0,95) = 274304 \text{ W} \approx 274,3 \text{ kW}$$

Jmenovitý výkon motoru bude

$$P_{MRKJ} = R * P_{MRK} = 1,1 * 274,3 = 302 \text{ kW} \approx \mathbf{300 \text{ kW}}$$

kde $R = 1,1$... součinitel rezervy (čím větší příkon tím menší hodnota)