

Mokrý vápencová metoda odsíření spalin – hmotová bilance

Příklad SPE

Dáno:

Elektrický výkon elektrárenského bloku	$P = 1000 \text{ MW}$
Obsah síry v hnědém uhlí energetickém	$S = 3 \%$
Roční doba provozu (260 h odstávka)	$\tau = 8500 \text{ h/r}$
Účinnost odsíření	$\eta_{\text{OD}} = 95 \%$
Výhřevnost hnědého uhlí energetického (obsah popelovin cca 50 %)	$H_{\text{HU}} = 11 \text{ GJ/t}$
Účinnost výroby elektrické energie	$\eta_{\text{EE}} = 33 \%$
Přebytek vápence	1,02 až 1,03
(pro zjednodušení výpočtu budou uvažovány stechiometrické poměry a 100 % ní čistota vápence)	

Určit:

Množství vzniklého SO_2	M_{SO_2}
Spotřebu vápence CaCO_3	M_{CaCO_3}
Množství vzniklé sádry $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$

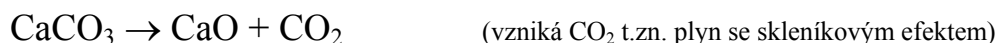
Řešení:

Atomové hmotnosti prvků vyskytujících se v reakcích

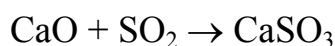
$$C = 12; \quad Ca = 40; \quad O = 16; \quad S = 32; \quad H = 1$$

Rovnice probíhajících chemických reakcí

1.reakce – rozklad vápence (uhličitanu vápenatého)



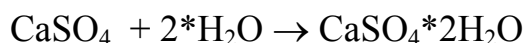
2.reakce – vznik siřičitanu vápenatého



3.reakce – oxidace siřičitanu na nerozpustný síran vápenatý



4.reakce – vznik sádry



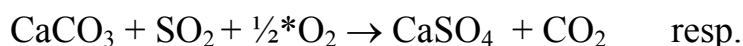
sádra („energósádovec“);
dihydrát síranu vápenatého

Pozn.:

Kalcinace sádry (dihydrátu síranu vápenatého) za tepla (odstraňování krystalické vody) na:

polyhydrát	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	rychle tuhnoucí sádra (surovina = prášek sloužící pro přípravu sádry)
anhydrit	CaSO_4	pomaluh tuhnoucí sádra (surovina = prášek sloužící pro přípravu sádry)

Výsledná (celková) rovnice chemické reakce



(na 1 kmol SO_2 je zapotřebí 1 kmol CaCO_3 a vznikne 1 kmol sádry)
(1 kmol = 1 kilogrammolekula)

Molekulové hmotnosti reagujících látek

$$M_{\text{kmolCaCO}_3} = 40 + 12 + 3 \cdot 16 = 100 \text{ kg/kmol CaCO}_3$$

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

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

$$M_{\text{kmolCaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 40 + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot (2 \cdot 1 + 16) = 172 \text{ kg/kmol CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

Množství spáleného hnědého uhlí

$$\begin{aligned} M_{\text{HU}} &= (P \cdot \tau) / (\eta_{\text{EE}} \cdot H_{\text{HU}}) = (1,0 \cdot 3600) / (0,33 \cdot 11) = 991,7 \text{ t/h} \\ &= 275,5 \text{ kg/s} \\ &= 8,43 \cdot 10^6 \text{ t/r} \end{aligned}$$

$$[(\text{GJ/s} \cdot \text{s/h}) / (1 \cdot \text{GJ/t})] = \text{t/h}$$

$$1000 \text{ MW} = 1 \text{ GW} = 1 \text{ GJ/s}; \quad \tau = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

Množství síry ve spáleném HU

$$M_{\text{S}} = S \cdot M_{\text{HU}} = 0,03 \cdot 991,7 = 29,8 \text{ t/h} = 8,26 \text{ kg/s} = 253300 \text{ t/r}$$

Množství vzniklého SO₂

(stejný počet kmolů, přepočet pomocí molekulových hmotností – viz příklad „Polosuchá metoda“ a „Přepočet objemových koncentrací na hmotové“).

$$m_{\text{kmolS}} = M_S / M_{\text{kmolS}} = 29,8 * 1000 / 32 = 931,25 \text{ kmol/h síry}$$

$$m_{\text{kmolS}} = m_{\text{kmolSO}_2} = m_{\text{kmolCaCO}_3} = m_{\text{kmolCaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 931,25 \text{ kmol/h}$$

$$M_{\text{SO}_2} = m_{\text{kmolSO}_2} * M_{\text{kmolSO}_2} = M_S * M_{\text{kmolSO}_2} / M_{\text{kmolS}}$$

$$M_{\text{SO}_2} = 29,8 * 64 / 32 = 59,6 \text{ t/h}$$

$$M_{\text{SO}_2} = 931,25 * 64 / 1000 = 59,6 \text{ t/h}$$

Teoretické množství vápence potřebného pro 95 % ní odstranění SO₂

$$\begin{aligned} M_{\text{CaCO}_3} &= M_{\text{SO}_2} * \eta_{\text{OD}} * M_{\text{kmolCaCO}_3} / M_{\text{kmolSO}_2} = \\ &= m_{\text{kmolCaCO}_3} * \eta_{\text{OD}} * M_{\text{kmolCaCO}_3} \end{aligned}$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = 59,6 * 0,95 * 100 / 64 \approx \mathbf{88,5 \text{ t/h} = 24,6 \text{ kg/s} = 752 \text{ 250 t/r}}$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = 931,25 * 0,95 * 100 / 1000 \approx \mathbf{88,5 \text{ t/h}}$$

Teoretické množství vzniklé sádry CaSO₄*2H₂O

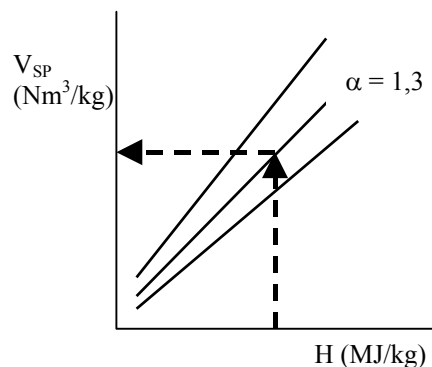
$$\begin{aligned} M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} &= M_{\text{SO}_2} * \eta_{\text{OD}} * M_{\text{kmolCaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} / M_{\text{kmolSO}_2} \\ &= m_{\text{kmolCaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} * \eta_{\text{OD}} * M_{\text{kmolCaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \end{aligned}$$

$$M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 59,6 * 0,95 * 172 / 64 \approx \mathbf{152 \text{ t/h}}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} &= 931,25 * 0,95 * 172 / 1000 \approx \mathbf{152 \text{ t/h} = 42,3 \text{ kg/s} =} \\ &= \mathbf{1 \text{ 293 400 t/r}} \end{aligned}$$

Teoretické množství vlhkých spalín vzniklých spálením hnědého uhlí při přebytku vzduchu $\alpha = 1,3$.

(určí se např. z nomogramu pro dané α a H_{HU} nebo výpočtem pro zjištěné prvkové složení hnědého uhlí)



Z 1 kg HU vznikne cca následující množství vlhkých spalin

$$V_{\text{SPVLH1}} \approx 5,3 \text{ Nm}^3 / \text{kg HU}$$

Hustota spalin $\approx$ hustotě vzduchu $\rho_{\text{SP}} \approx 1,29 \text{ kg/Nm}^3$

$$M_{\text{SPVLH1}} = V_{\text{SPVLH1}} * \rho_{\text{SP}} \approx 5,3 * 1,29 = 6,84 \text{ kg/kg HU}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{SPVLH}} &= V_{\text{SPVLH1}} * M_{\text{HU}} = 5,3 * 991,7 * 1000 = 5,26 * 10^6 \text{ Nm}^3/\text{h} \\ &= 1460 \text{ Nm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{SPVLH}} &= M_{\text{SPVLH1}} * M_{\text{HU}} = 6,8 * 991,7 * 1000 = 6,78 * 10^6 \text{ kg/h} \\ &= 6780 \text{ t/h} \\ &= 1884 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Hmotová koncentrace SO_2 ve spalinách

$$x_{\text{SO}_2} = M_{\text{SO}_2} / M_{\text{SPVLH}} = 100 * 59,5 / 6780 = 0,88 \%$$

Pozn.:

V příkladu je zadáno poměrně nekvalitní hnědé uhlí s vysokým obsahem síry. V současné době se již takové uhlí běžně nepoužívá. Běžně mají spaliny obsah SO_2 pod 0,5 %.

Pro náš případ při přebytku vzduchu 1,3 bude obsah CO_2 ve spalinách $x_{\text{CO}_2} \approx 12 \%$