Úloha 5-21 Vratné reakce v průtočném reaktoru, výkon průtočného a míchaného reaktoru

Rychlostní konstanta přímé reakce při izomeraci oboustranně prvého řádu, **B (g)** ⇄ **S (g)** , má hodnotu $k_{c+} = 0{,}0025\ \mathrm{s^{-1}}$. Stupeň přeměny v rovnováze je $\alpha_{rov} = 0{,}65$.

(a) S jakým nástřikem lze dosáhnout v reaktoru s pístovým tokem o objemu 1,51 $\mathrm{dm^3}$ stupně přeměny $\alpha = 0{,}5$?

(b) Posuďte (a dokažte výpočtem), zda by nebylo výhodnější použít místo reaktoru s pístovým tokem reaktoru dokonale promíchávaného.

[(a) $F_{V,\text{pístový}} = 3{,}96 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{dm^3\ s^{-1}}$, (b) $N_{\text{pístový}} = 2{,}6225 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}} > N_{\text{míchaný}} = 1{,}154 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$]

Řešení:

$k_{c+} = 0{,}0025\ \mathrm{s^{-1}}$.
$V_R = 1{,}51\ \mathrm{dm^3}$
$\alpha = 0{,}5$

Bilance:

$$c_B = c_{B0} - c_{B0} \cdot \alpha$$
$$c_S = c_{B0} \cdot \alpha$$

Rovnovážná konstanta:

$\alpha_{rov} = 0{,}65$

$$K_a = \frac{a_S}{a_B} = \frac{c_S / c^{st}}{c_B / c^{st}} = \frac{\alpha_{rov}}{1 - \alpha_{rov}} = K_c \quad , \quad K_c = \frac{k_{c+}}{k_{c-}}$$

$$K_c = \frac{0{,}65}{1 - 0{,}65} = \frac{13}{7} \quad , \quad \frac{K_c + 1}{K_c} = \frac{\frac{13}{7} + 1}{\frac{13}{7}} = \frac{20}{13}$$

(a) Nástřik do reaktoru s pístovým tokem

$$\frac{V_{R,\text{píst}}}{F_V} = c_{B0} \cdot \int_0^{\alpha} \frac{\mathrm{d}\alpha}{r_B}$$

$$r_B = k_{c+} \cdot c_B - k_{c-} \cdot c_S = k_{c+} \cdot (c_{B0} - c_{B0} \cdot \alpha) - k_{c-} \cdot c_{B0} \cdot \alpha = k_{c+} \cdot c_{B0} \cdot (1 - \alpha - \frac{\alpha}{K_c}) =$$
$$= k_+ \cdot c_{B0} \cdot (1 - \frac{K_c + 1}{K_c} \cdot \alpha)$$

$$\frac{V_{R,\text{píst}}}{F_V} = c_{B0} \cdot \int_0^{\alpha} \frac{\mathrm{d}\alpha}{k_{c+} \cdot c_{B0} \cdot (1 - \frac{K_c + 1}{K_c} \cdot \alpha)} = \frac{1}{k_{c+}} \cdot \frac{K_c}{K_c + 1} \cdot \ln \frac{\alpha}{1 - \frac{K_c + 1}{K_c} \cdot \alpha}$$

$$F_V = \frac{V_{R,\text{píst}} \cdot k_{c+} \cdot (\frac{K_c + 1}{K_c})}{\ln\left(1 - \frac{K_c + 1}{K_c} \cdot \alpha\right)} = \frac{1{,}51 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{20}{13}}{-\ln\left(1 - \frac{20}{13} \cdot 0{,}5\right)} = 0{,}00396\ \mathrm{dm^3\ s^{-1}}$$

(b) Porovnání výkonů obou reaktorů: $N = \frac{F_V}{V_R} \quad \left[\frac{\mathrm{dm^3\ s^{-1}}}{\mathrm{dm^3}} = \mathrm{s^{-1}}\right]$

Pístový reaktor:

$$N_{\text{pístový}} = \frac{0{,}00396}{1{,}51} = 2{,}6225 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$$

Promíchávaný reaktor:

$$\frac{V_{R,\text{mích}}}{F_V} = \frac{c_{B0} \cdot \alpha}{r} = \frac{c_{B0} \cdot \alpha}{k_{c+} \cdot c_{B0} \cdot (1 - \frac{K_c + 1}{K_c} \cdot \alpha)}$$

$$N_{\text{míchaný}} = \frac{F_V}{V_{\text{R,míchaný}}} = k_{c+} \cdot \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{K_c + 1}{K_c}\right) = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{1}{0{,}5} - \frac{20}{13}\right) = 1{,}154 \cdot 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$$

Výkon pístového reaktoru je víc než dvojnásobný.