

**U15.8** Reakce v kapaln  fázi s konstantní hustotou  $2A + B \rightarrow 2C$  probíhá podle rychlostního vztahu  $r = kc_A^2$  s konstantou  $k = 0,03 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{mol}^{-1}$  v izotermick m reaktoru s p stov m tokem o vnitřním průřezu  $0,002 \text{ m}^2$ . Nástřik je  $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ , vstupn  koncentrace  $c_{A0} = c_{B0} = 1,5 \text{ kmol/m}^3$ ,  $c_{C0} = 0$ . Požaduje se konverze 95 %. a) Jak  je tok slozky C na výstupu z reaktoru v  $\text{kmol/h}$ ? b) Jak  musí být délka reaktoru pro dosazení požadovan  konverze?

**Řešení:**

1. Ze zadan  konverze  $\zeta_A = 0,95$  a znalosti vstupních koncentrací vypočtěme koncentrace na výstupu z reaktoru. Z definice konverze (2-20) lze vyjádřit l tkov  množství slozky  $i$  jako funkci konverze

$$n_i = n_{i0} + \frac{v_i}{|v_A|} n_{A0} \zeta_A \quad i = \{A, B, C\}$$

Za předpokladu konstantního objemu reakcn  směsi (ze zadání víme, že se jedná o kapalinu) lze v této rovnici nahradit l tkov  množství koncentracemi

$$c_i = c_{i0} + \frac{v_i}{|v_A|} c_{A0} \zeta_A \quad i = \{A, B, C\}$$

V tomto konkrétním p řipad  budou koncentrace na výstupu z reaktoru

$$c_A = c_{A0} + \frac{-2}{|-2|} c_{A0} \zeta_A = c_{A0}(1 - \zeta_A) = 1,5(1 - 0,95) = 0,075 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_B = c_{B0} + \frac{-1}{|-2|} c_{A0} \zeta_A = 1,5 - \frac{1}{2} 1,5 \cdot 0,95 = 0,7875 \text{ kmol/m}^3$$

$$c_C = c_{C0} + \frac{2}{|-2|} c_{A0} \zeta_A = 0 + 1,5 \cdot 0,95 = 1,425 \text{ kmol/m}^3$$

2. Nyní lze vypo tat molární tok slozky C na výstupu z reaktoru (za předpokladu konstantního objemu reakcn  směsi bude i objemov  průtok konstantní

$$\dot{n}_C = c_C \dot{V} = 1,425 \text{ kmol/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m}^3/\text{h} = 0,1425 \text{ kmol/h}$$

3. Pro výpočet délky trubkového reaktoru odvodíme z lok ln  bilance reaktoru rovnici (15.83), kter  platí pouze za předpokladu konstantního objemu:

$$v \frac{dc_A}{dz} = v_A r$$

a kde rychlost směsi v postupujícím reaktorem ur me ze znalosti objemového průtoku a plochy průřezu reaktoru

$$v = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{(0,1 \text{ m}^3\text{h}^{-1})}{(3600 \text{ s h}^{-1}) (0,002 \text{ m}^2)} = 0,0139 \text{ m/s}$$

Diferenciální rovnice po dosazení vztahu pro reakcn  rychlost (reakce druhého řádu) bude

$$v \frac{dc_A}{dz} = -2kc_A^2$$

4. Diferenciální rovnici vyřešíme metodou separace proměnných a integrujeme v celé délce reaktoru  $L$

$$\int_{c_{A0}}^{c_A} \frac{dc_A}{c_A^2} = -\frac{2k}{v} \int_0^L dz$$

$$\left[ -\frac{1}{c_A} \right]_{c_{A0}}^{c_A} = -\frac{2k}{v} [z]_0^L$$

$$\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} = \frac{2kL}{v}$$

5. V této chvíli můžeme výslednou rovnici přeformulovat

$$L = \frac{v}{2k} \left( \frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} \right)$$

dosadit konkrétní hodnoty a vypočítat délku reaktoru.

$$L = \frac{(3600 \text{ s h}^{-1}) (0,0139 \text{ m s}^{-1})}{2 \cdot (0,03 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ mol}^{-1})} \left( \frac{1}{75} - \frac{1}{1500} \right) \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} = 10,56 \text{ m}$$

Upozornění: V tomto příkladu musíme věnovat velkou pozornost jednotkám jednotlivých veličin a tomu, abychom je do rovnic dosazovali správně!

**Závěr:** Tok složky C na výstupu z reaktoru je 0,1425 kmol/h a délka reaktoru 10,56 m.

**Alternativní řešení:** V kroku 4 můžeme v diferenciální rovnici vyjádřit  $c_A$  jako funkci konverze, tj.

$$c_A = c_{A0}(1 - \zeta_A) \quad \text{a} \quad dc_A = -c_{A0} d\zeta_A$$

Takto bychom museli postupovat, pokud by například rychlost reakce závisela i na koncentraci druhé složky anebo i v případech, kdy objem reakční směsi není konstantní (např. pokud by reakce probíhala v plynné fázi nebo viz příklad U15.9). Diferenciální rovnici potom integrujeme podél konverze místo  $c_A$ .

$$\int_0^{\zeta_A} \frac{-c_{A0} d\zeta_A}{c_{A0}^2 (1 - \zeta_A)^2} = -\frac{2k}{v} \int_0^L dz$$

$$\left[ \frac{1}{1 - \zeta_A} \right]_0^{\zeta_A} = \frac{2kc_{A0}}{v} [z]_0^L$$

$$\frac{1}{1 - \zeta_A} - \frac{1}{1 - 0} = \frac{\zeta_A}{1 - \zeta_A} = \frac{2kc_{A0}L}{v}$$

Řešení diferenciální rovnice opět upravíme a vypočítáme délku reaktoru  $L$

$$L = \frac{v}{2kc_{A0}} \left( \frac{\zeta_A}{1 - \zeta_A} \right)$$

$$L = \frac{(3600 \text{ s h}^{-1}) (0,0139 \text{ m s}^{-1})}{2 \cdot (0,03 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ mol}^{-1}) (1500 \text{ mol m}^{-3})} \left( \frac{0,95}{1 - 0,95} \right) = 10,56 \text{ m}$$