

Kémiai reaktorok: gyakorló példák

1. feladat

Izomerizációs reakciót szakaszos, izoterm, tökéletesen kevert reaktorban végzünk. A reakció elsődrendű. Az elegy sűrűsége jó közelítéssel 865 kg/m^3 a hőmérséklettől függetlenül. A preexponenciális tényező $45,46 \text{ h}^{-1}$, az aktiválási energia $14742,5 \text{ J/mol}$. A reaktor feltöltéséhez 20 perc, a leürítéséhez 12 perc szükséges. A hőmérséklet beállításához 10 perc szükséges (azalatt úgy tekintjük, hogy nem zajlik a reakció). Évi 6800 üzemóra alatt 1500 t termék előállítására van szükség. A konverzió 99%.

Mekkora térfogatú szakaszos kevert reaktorra van szükség 80, illetve $120 \text{ }^\circ\text{C}$ -on való üzemeltetésnél?
($4,13 \text{ m}^3$ ill. $2,55 \text{ m}^3$)

2. feladat

Három különböző termék gyártására alkalmas reaktort kell tervezni. A termékek, az előírt gyártási kapacitás, a reakció típusa és rendje, az előírt hőmérséklet az alábbi táblázatban láthatók:

Paraméter	termék	termék	termék
Reakció típusa	$A+B \rightarrow T$	$A \rightarrow T$	$2A \rightarrow T$
Évi üzemórák száma	2500	1000	3500
Éves termékmennyiség	50 kmol	200 kmol	80 kmol
Hőmérséklet ($^\circ\text{C}$)	110	130	160
Reakciósebességi együttható	$0,1 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{h})$	$0,5 \text{ m}^3/(\text{h})$	$0,4 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{h})$
Konverzió	92%	99%	95%

A reaktánsokat $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on töltik be a reaktorba. A reaktort átlagos $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{perc}$ fűtési sebességgel lehet felfűteni. A feltöltésre 10 perc, a leeresztésre és tisztításra 60 perc idővel számolhatunk. Feltételezzük, hogy a reakció csak az előírt hőmérséklet elérésekor indul el. A reagáló komponensek 1 kmol/m^3 -es koncentrációban állnak rendelkezésre. A bemérés sztöchiometrikus.

Mekkora térfogatú legyen a szakaszos, tökéletesen kevert reaktor? ($V_1=2,47 \text{ m}^3$; $V_2=2,15 \text{ m}^3$, $V_3=2,34 \text{ m}^3$, ezért $2,5 \text{ m}^3$ -es legyen a hasznos térfogat).

3. feladat

Oldatban az $A+2B \rightarrow C+2D$ reakciót $90 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetett szakaszos, izoterm, tökéletesen kevert tartályreaktorban valósítják meg. A reakciósebesség másodrendűként írható le, azaz $r = kc_Ac_B$, ahol $k = 0,1 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{min})$. A keverős tartályba, amelybe az oldószert már előzetesen bemérték, adagolnak 20 kg A anyagot ($M_A=90 \text{ g/mol}$) és 40 kg B anyagot ($M_B=90 \text{ g/mol}$). A reakcióelegy (folyadék) térfogata ekkor 900 dm^3 . A reakció térfogatváltozást nem okoz. Mekkora konverzió érhető el 90 perc alatt? ($X=81,6\%$)

4. feladat

Oldatban az $A+2B \rightarrow C+2D$ reakciót $90 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetett szakaszos, izoterm, tökéletesen kevert tartályreaktorban valósítják meg. A reakciósebesség másodrendűként írható le, azaz $r = kc_Ac_B$, ahol $k = 0,1 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{min})$. A keverős tartályba, amelybe az oldószert már előzetesen bemérték, adagolnak 20 kg A anyagot ($M_A=90 \text{ g/mol}$) és 50 kg B anyagot ($M_B=90 \text{ g/mol}$). A reakcióelegy (folyadék) térfogata ekkor 900 dm^3 . A reakció térfogatváltozást nem okoz. Mennyi idő alatt érhető el 90%-os konverzió? ($t=83,4 \text{ min}$)

5. feladat

Az $A+2B \rightarrow C+2D$ reakciót $80\text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetett szakaszos, izoterm, tökéletesen kevert tartályreaktorban valósítják meg. A reakciósebesség másodrendűként írható le, azaz $r = k c_A c_B$, ahol $k = 0,058\text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{min})$. A keverős tartályba, amelybe az oldószert már előzetesen bemérték, adagolnak 30 kg A anyagot ($M_A=90\text{ g/mol}$) és 50 kg B anyagot ($M_B=90\text{ g/mol}$). A reakcióelegy térfogata ekkor 1050 dm^3 . A reakció térfogatváltozást nem okoz. Mennyi idő alatt érhető el 90% -os konverzió? ($t=299,6\text{ min}$)

6. feladat

Az $A+B \rightarrow C+D$ reakciót $80\text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetett szakaszos, izoterm, tökéletesen kevert tartályreaktorban valósítják meg. A reakciósebesség $k = 0,058\text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{min})$. A keverős tartályba, amelybe az oldószert már előzetesen bemérték, adagolnak $30,5\text{ kg}$ A anyagot ($M_A=90\text{ g/mol}$) és $29,5\text{ kg}$ B anyagot ($M_B=90\text{ g/mol}$). A reakcióelegy térfogata ekkor 890 dm^3 . A reakció térfogatváltozást nem okoz. Mennyi idő alatt érhető el 90% -os konverzió? ($t=357,1\text{ min}$)

7. feladat

Ecetsavanhidrid hidrolízisét folyamatos, keverős tartályreaktorban végezzük $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on. A reakció pszeudo-elsőrendű. A betáplálási áramban ($0,4\text{ m}^3/\text{h}$) az ecetsavanhidrid koncentrációja 1 kmol/m^3 . A reakciósebességi együttható $0,0806\text{ min}^{-1}$. Az előírt konverzió 98% . Számítsa ki a szükséges reaktortérfogatot! Számítsa ki a napi ecetsavanhidrid-felhasználást! ($V=4,05\text{ m}^3$, $9,6\text{ kmol/nap}$)

Mekkora lesz a konverzió, ha megnöveljük 20% -kal a betáplálási áramot? ($X=0,976$)

8. feladat

Másodrendű, irreverzibilis ($2A \rightarrow T$) reakciót folyamatos, keverős tartályreaktorban végezzük. A betáplálási áramban ($0,4\text{ m}^3/\text{h}$) az A komponens koncentrációja 1 kmol/m^3 . A reakciósebességi együttható $7,8\text{ m}^3 \cdot (\text{kmol} \cdot \text{min})^{-1}$. Az előírt konverzió 98% . Számítsa ki a szükséges reaktortérfogatot! Számítsa ki a napi reagensfelhasználást! ($V=2,1\text{ m}^3$, $9,6\text{ kmol/nap}$)

9. feladat

Egy $A+B \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} C+D$ típusú egyensúlyi reakciót végzünk egy $0,2\text{ m}^3$ -es, folyamatos kevert tartályreaktorban. A betáplálási térfogatáramok egyenlők és csak az egyik komponens tartalmazza. Az A áram $2,8\text{ mol/dm}^3$ A komponens, a B áram $1,6\text{ mol/dm}^3$ B komponens tartalmaz. A k_1 értéke $7\text{ dm}^3/(\text{mol} \cdot \text{min})$, a k_{-1} értéke $3\text{ dm}^3/(\text{mol} \cdot \text{min})$. Mekkora az egyensúlyi konverzió? ($X=75,47\%$)

10. feladat

Egy $A+B \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} C+D$ típusú egyensúlyi reakciót végzünk egy $0,2\text{ m}^3$ -es folyamatos kevert tartályreaktorban. A betáplálási térfogatáramok egyenlők és csak az egyik komponens tartalmazza. Az A áram $3,2\text{ mol/dm}^3$ A komponens, a B áram $2,1\text{ mol/dm}^3$ B komponens tartalmaz. A k_1 értéke $7\text{ dm}^3/(\text{mol} \cdot \text{min})$, a k_{-1} értéke $3\text{ dm}^3/(\text{mol} \cdot \text{min})$.

Mekkora az egyensúlyi konverzió? ($X=72,17\%$)

Mekkora legyen a betáplálási térfogatáram, ha az előírt konverzió 70% ? (egyenként $39\text{ dm}^3/\text{min}$, összesen $78\text{ dm}^3/\text{min}$)

11. feladat (eltér a tankönyvtől)

Egy $A+B \rightarrow C+D$ típusú másodrendű reakció reakciósebességi együtthatója a $18,72 \cdot 10^5 \cdot e^{-42300/RT}$ $\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ képlettel számítható. A terméket folyamatos üzemben akarjuk előállítani. A reagensek két elkülönülő áramként állnak rendelkezésre. Az „A áram”-ban $1,6 \text{ mol}/\text{dm}^3$ A komponens és $0,1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ C komponens van (a felhasznált oldószer részben regenerált), térfogatárama $3 \text{ dm}^3/\text{min}$. A „B áram” csak B komponest tartalmaz, koncentrációja $4 \text{ mol}/\text{dm}^3$, térfogatárama $1,2 \text{ dm}^3/\text{min}$. A betáplálások hőmérséklete $20 \text{ }^\circ\text{C}$. A reakcióhő $-97600 \text{ kJ}/\text{kmol}$, az elegy fajhője $2800 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, sűrűsége $840 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Rendelkezésre áll egy $0,1 \text{ m}^3$ térfogatú ideálisnak tekinthető, adiabatikus csőreaktor, és egy $0,2 \text{ m}^3$ térfogatú ideális, folyamatos, kevert tartályreaktor. A folyamatos, kevert tartályreaktor adiabatikusan vagy izoterm üzemeltetéssel is használható, de az üzemi hőmérséklete nem haladhatja meg a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot.

Melyik reaktor kialakítással lehet elérni 85 %-os konverziót (1. adiabatikus csőreaktor, 2. adiabatikus folyamatos kevert tartályreaktor, 3. $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetett folyamatos kevert tartályreaktor)? Válaszát számításokkal indokolja! (1: $V = 0,09 \text{ m}^3$, $X = 0,85$, megfelel; 2: $X = 0,85$ esetén $T = 60,31 \text{ }^\circ\text{C}$, $V = 0,31 \text{ m}^3$, nem felel meg, $0,2 \text{ m}^3$ reaktortérfogatnál $X = 0,81$ lenne; 3: $V = 0,13 \text{ m}^3$, $X = 0,85$; megfelel, $V = 0,2 \text{ m}^3$ esetén $X = 0,8754$)

12. feladat

Az $A \rightarrow T$ folyadékfázisú elsőrendű irreverzibilis reakciót $V = 2 \text{ dm}^3$ térfogatú izoterm szakaszos reaktorban végzik. Mérték az A komponens koncentrációját a reaktor indításakor és leállításánál, a reakcióidőt és az izoterm reakcióvezetés biztosítása érdekében elvont hőmennyisége 70 , illetve $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -on. A laboratóriumi szakaszos reaktorban mért adatok:

$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	70	100
$c_{A0} \text{ (kmol}/\text{m}^3)$	3	3
$t \text{ (min)}$	40	34
$c_A \text{ (kmol}/\text{m}^3)$	2,1	0,9
$Q \text{ (kJ)}$	302,4	705,6

Mekkora térfogatú adiabatikus csőreaktorra van szükség $17,1 \text{ kmol}/\text{h}$ T termék előállításához, ha a reaktort 90%-os konverzióval akarjuk üzemeltetni? A rendelkezésre álló A anyag koncentrációja $3 \text{ kmol}/\text{m}^3$, hőmérséklete amelyen a reaktorba tápláljuk $70 \text{ }^\circ\text{C}$. A sűrűség jó közelítéssel $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, a fajhő $3500 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. ($V=2,44 \text{ m}^3$)

13. feladat

Az $A+B \rightarrow C+D$ reakció másodrendű. A kiindulási elegyben az A komponens koncentrációja $2,5 \text{ kmol}/\text{m}^3$ és a B komponens 20% feleslegben alkalmazzák. A reaktorba táplált $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os elegy mennyisége $4 \text{ m}^3/\text{h}$. A reakció entalpia $-42 \text{ kJ}/\text{mol}$, a sűrűség $900 \text{ kg}/\text{m}^3$, a fajhő $2,8 \text{ kJ}/\text{kgK}$, a hőmérséklettől független paraméterek.

A reakciósebességi együttható az alábbi képlettel számítható: $k = 6,5 \cdot 10^6 \cdot e^{\frac{-5000}{T}} \frac{\text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{min}}$.

Mekkora konverzió érhető el egy $2,5 \text{ m}^3$ térfogatú folyamatos kevert tartályreaktorban, ha a reaktor $65 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemel? A reaktor maximum 80%-ig tölthető. ($X=0,9764$)

Fűteni, vagy hűteni kell a reaktort a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ üzemi hőmérséklet fenntartásához? Mennyi a köpenyen keresztül átadott hő? (fűteni kell, $43,5 \text{ MJ}/\text{h}$)

Változatlan körülmények között mekkora konverzió érhető el egy $0,45 \text{ m}^3$ térfogatú, adiabatikusan üzemelő csőreaktorban? ($X=0,994$)

14. feladat

Az alábbi folyadékfázisú, másodrendű, irreverzibilis kémiai reakciót adiabatikus üzemeltetésű csőreaktorban valósítják meg: $A+B \rightarrow C$. A reakció oldatban játszódik le, a komponensek koncentrációi a tárolótartályokban: A oldat $0,2 \text{ kg/dm}^3$ ($M_A=100 \text{ g/mol}$); B oldat $0,112 \text{ g/dm}^3$ ($M_B=80 \text{ g/mol}$). Az A tartályból $2 \text{ dm}^3/\text{min}$, a B tartályból $3 \text{ dm}^3/\text{min}$ térfogatárammal adagoljuk az oldatokat a reaktorba. Két hőmérsékleten ismert a reakciósebességi tényező értéke: $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on $1,7 \text{ dm}^3/(\text{mol}\cdot\text{h})$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -on $10 \text{ dm}^3/(\text{mol}\cdot\text{h})$. Mekkora térfogatú csőreaktorra van szükség adiabatikus üzemeltetés esetén, ha a betáplálás hőmérséklete $20 \text{ }^\circ\text{C}$ és 90%-os az előírt konverzió? Mennyi C termék keletkezik óránként? A reakcióhő -242 kJ/mol , a sűrűség 850 kg/m^3 , a fajhő $3 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. ($V=120 \text{ dm}^3$, 216 mol C keletkezik óránként).

15. feladat

Az A és B anyag $A+B \rightarrow C+D$ másodrendű irreverzibilis reakciónak megfelelően reagál egymással. A 2 dm^3 hasznos térfogatú folyamatosan működtetett kevert tartályreaktorba külön-külön tápláljuk be az A és B oldatokat, hőmérsékletük $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Az A anyag oldatának térfogatárama $2 \text{ dm}^3/\text{h}$, koncentrációja 2 mol/dm^3 ; a B anyag oldatának térfogatárama $3 \text{ dm}^3/\text{h}$, koncentrációja 2 mol/dm^3 . A reaktort $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetve, a kilépő áramban A koncentrációja $0,06 \text{ mol/dm}^3$. A reakcióelegy térfogata nem változik a reakció során. Ha azonos körülmények között (be- és kilépő áramok, koncentrációk, hőmérsékletek) a folyamatos kevert tartályreaktor helyett izoterm csőreaktort kívánunk üzemeltetni, mekkora térfogatú csőreaktorra van szükség? ($V=0,304 \text{ dm}^3$)

16. feladat

Az alábbi folyadékfázisú, irreverzibilis reakció másodrendű. $A+B \rightarrow C+D$; $M_A=50 \text{ g/mol}$, $M_B=120 \text{ g/mol}$, $M_C=100 \text{ g/mol}$, $M_D=70 \text{ g/mol}$. A laboratóriumi kísérletek alapján a következő adatokkal rendelkezünk:

Szakaszos reaktorba 800 g 30%-os A anyagot és 1200 g 40%-os B anyagot teszünk. A reakcióelegyben indulásnál nincs C és D termék. A reakcióelegy sűrűsége 1000 kg/m^3 , nem változik a művelet során. A reaktort $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -on üzemeltetve az indítás után 11 perccel a C anyag koncentrációja 180 g/dm^3 .

2 dm^3 hasznos térfogatú, folyamatos kevert tartályreaktorba $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os 5 mol/dm^3 koncentrációjú A és ugyanennyi, ugyanilyen hőmérsékletű és koncentrációjú B oldatot táplálunk be. A kilépő áram $60 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű, az A anyag koncentrációja $0,125 \text{ mol/dm}^3$. A reaktor tökéletesen szigeteltnek tekinthető. A reakcióelegy fajhője $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Mekkora térfogatú adiabatikus működésű tökéletes kiszorítású csőreaktorra van szükség évi 1500 t termék előállításához, ha a kívánt konverzió 95%? Évente 7000 munkaórával számolhatunk. Az adiabatikus csőreaktort ekvimoláris betáplálással üzemeltetjük, a betáplálás $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os, benne az A anyag koncentrációja 3 mol/dm^3 . ($V=14,2 \text{ dm}^3$)