

ZADANIE 1

W temperaturze 700 K gazowa mieszanina dwutlenku węgla i wodoru reaguje z wytworzeniem pary wodnej i tlenku węgla. Stała równowagi reakcji w tej temperaturze wynosi $K_p = 0,11$. Reaktor został napełniony mieszaniną 1,5 mola CO_2 i 1,2 mola H_2 . Po ogrzaniu do temperatury 700 K ciśnienie wzrosło do 3,2 bar. Obliczyć ułamki molowe i ciśnienia cząstkowe składników w stanie równowagi.

ZADANIE 2

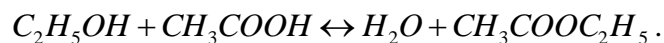
W reaktorze zamkniętym, w warunkach izotermicznych, przebiegają w fazie gazowej następujące reakcje elementarne:



Stężenia początkowe wynoszą: H $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ i NO_2 $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$, pozostałe zero. Wykreślić zależność stężenia poszczególnych reagentów od czasu w zakresie 0 – 10 μs . Obliczyć stężenia końcowe (równowagowe).

ZADANIE 3

Octan etylu jest produkowany z etanolu i kwasu octowego w reaktorze o działaniu okresowym o objętości 10 m^3 w temperaturze 100°C :



Obie reakcje są reakcjami drugiego rzędu. W tej temperaturze stała szybkości tworzenia estru wynosi $7,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{s})$ a stała równowagi 2,93. Surowiec zawiera 30% mas. kwasu octowego, 49% mas. etanolu i 21% mas. wody. Gęstość roztworu wynosi 1000 kg/m^3 .

- Obliczyć czas potrzebny do osiągnięcia stopnia przereagowania równego 0,25.
- Jaki jest maksymalny (czyli równowagowy) stopień przereagowania?
- Sporządzić wykres zależności stopnia przereagowania od czasu.

ZADANIE 4

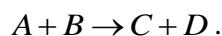
Obliczyć objętość czynną przemysłowego reaktora wymaganą do wytworzenia 50 kg na dobę produktu B. Będzie to reaktor o działaniu okresowym pracującym przez 8 godzin w ciągu doby. Wiadomo, że na każdy mol uzyskanego produktu B zużywa się 1 mol substratu A. Masa molowa B wynosi 50. Surowiec jest wodnym roztworem substratu A o stężeniu 1 mol/dm³. Równanie kinetyczne reakcji jest nieznane, ale pomiary stężenia w funkcji czasu, przeprowadzone w laboratoryjnym reaktorze o działaniu okresowym, dały następujące wyniki:

czas [h]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
stężenie A [mol/dm ³]	2,00	1,60	1,33	1,14	1,00	0,89	0,80	0,73	0,67	0,62	0,57

Pomiary przeprowadzono w temperaturze, w której ma pracować reaktor przemysłowy.

ZADANIE 5

W reaktorze zbiornikowym o działaniu półciągłym z pełnym wymieszaniem przebiega w fazie ciekłej elementarna reakcja katalityczna:



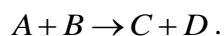
Proces jest izotermiczny. stała szybkości tej reakcji wynosi $0,0125 \text{ dm}^3/(\text{mol}\cdot\text{min})$. Początkowo reaktor zawiera 2830 dm^3 czystego substratu A o stężeniu 32 mol/dm^3 . Przez 30 min reaktor jest zasilany roztworem składnika B o stężeniu 8 mol/dm^3 z szybkością $14 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Podać czasy osiągnięcia stopnia przereagowania równego 0,20; 0,50 i 0,90. Przedstawić graficznie w funkcji czasu:

- szybkość reakcji chemicznej,
- ilość wytworzonego w reaktorze produktu C,
- stopień przereagowania substratu A.

ZADANIE 6

W reaktorze zbiornikowym o działaniu półciągłym z zupełnym wymieszaniem przebiega w fazie ciekłej elementarna reakcja katalityczna:



Proces jest izotermiczny. stała szybkości tej reakcji wynosi $0,0125 \text{ dm}^3/(\text{mol}\cdot\text{min})$.

Początkowo reaktor zawiera 420 dm^3 roztworu składnika B o stężeniu 8 mol/dm^3 a dopływa substrat A o stężeniu 32 mol/dm^3 z szybkością $94,33 \text{ dm}^3/\text{min}$ przez 30 min.

Podać czasy osiągnięcia stopnia przereagowania równego 0,20; 0,50 i 0,90. Przedstawić graficznie w funkcji czasu:

- szybkość reakcji chemicznej,
- ilość wytworzonego w reaktorze produktu C,
- stopień przereagowania substratu A.

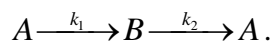
ZADANIE 7

Drugorzędowa egzotermiczna reakcja chemiczna $A + B \rightarrow C$ przebiega w fazie ciekłej w temperaturze 27°C w reaktorze zbiornikowym, przepływowym. Surowiec dopływa z szybkością $2 \text{ dm}^3/\text{s}$ i zawiera $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ substratu A i $1 \text{ mol}/\text{dm}^3$ substratu B. Stała szybkości reakcji w temperaturze 27°C wynosi $0,01 \text{ dm}^3/(\text{mol}\cdot\text{s})$. Obliczyć objętość reaktora wymaganą do 85%-wej konwersji. Temperatura surowca wynosi 27°C . Aby utrzymać tę temperaturę w reaktorze odprowadzono ciepło z reaktora przy pomocy wewnętrznego wymiennika ciepła (węzownicy, płaszcz chłodzącego). Obliczyć wymaganą powierzchnię wymiany ciepła, jeżeli temperatura wody chłodzącej wynosi 10°C a współczynnik przenikania ciepła $2 \text{ kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{K})$.

Entalpia reakcji wynosi $-60 \text{ kJ}/\text{mol}$, ciepło właściwe mieszaniny reakcyjnej $3,5 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$, jej gęstość $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ i jest równa gęstości surowca.

ZADANIE 8

Substancja B ma być produkowana w reaktorze przepływowym, zbiornikowym w fazie ciekłej w reakcji pierwszorzędowej, odwracalnej:

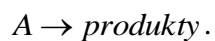


Reaktor będzie zasilany wodnym roztworem substancji A o stężeniu 6 mol/dm^3 z szybkością $100 \text{ dm}^3/\text{min}$. Wymagany stopień przereagowania wynosi 0,65. Wartości stałych równania Arrheniusa: $k_{10} = 2,95 \cdot 10^7 \text{ min}^{-1}$, $E_1 = 48,9 \text{ kJ/mol}$, $k_{20} = 1,574 \cdot 10^{18} \text{ min}^{-1}$, $E_2 = 123,8 \text{ kJ/mol}$. Entalpia reakcji tworzenia B wynosi -70 kJ/mol . Ciepło właściwe roztworu wynosi $4,2 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ a jego gęstość 1000 g/dm^3 .

Obliczyć optymalną temperaturę reakcji, dla której objętość czynna reaktora będzie minimalna. Podać tę minimalną objętość. Obliczyć temperaturę surowca wymaganą do adiabatycznej pracy reaktora w optymalnej temperaturze.

ZADANIE 9

W izotermicznym reaktorze okresowym przebiega reakcja nieodwracalna o nieznannej kinetyce:



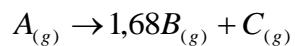
Reakcja przebiega w środowisku wodnym. Wykonywano pomiary stężeń substratu A w różnych odstępach czasu, uzyskując następujące wyniki:

t [s]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
c_A [mol/dm ³]	0,211	0,198	0,187	0,177	0,167	0,159	0,151	0,144	0,137	0,131	0,125	0,120	0,115

Określić wartość stałej szybkości i rząd reakcji chemicznej. Zastosować metodę różniczkową.

ZADANIE 10

Dla reakcji o schemacie stechiometrycznym:



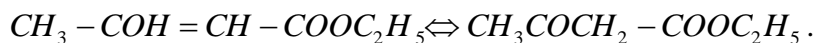
prowadzonej w okresowym, izotermicznym reaktorze zbiornikowym wyznaczyć parametry równania kinetycznego. Zastosować metodę całkową. Pomiar całkowitego ciśnienia w reaktorze dały następujące wyniki:

t [s]	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
p [Pa]	109492	116459	122436	127588	132005	135931	139322	142294	144911	147222

Proces prowadzono w temperaturze $T = 800$ K. Dla chwili $t = 0$ ciśnienie w aparacie wynosiło $p = 101325$ Pa, zaś $y_{A0} = 1$.

ZADANIE 11

W trakcie badań nad reakcją izomeryzacji estru b-hydroksykrotonowego w ester acetylooctowy ustalono, że jest to reakcja odwracalna. Przedstawia ją równanie:



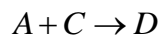
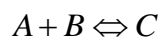
Dokonano pomiarów stopnia przemiany substratu w mieszaninie umieszczonej w okresowym, izotermicznym reaktorze zbiornikowym. Pomiary te rozpoczęto po pewnym okresie przebiegu reakcji. Dla temperatury procesu $T = 298 \text{ K}$ wyniki przedstawiają się następująco:

t [h]	0	71,8	145,5	215,5	264,3	333,3
stopień przemiany	0,657	0,754	0,825	0,873	0,897	0,924

Ponadto ustalono, iż równowagowy stopień przemiany w tej temperaturze wynosi 0,992. Określić stałą szybkość reakcji przebiegającej z lewej strony na prawą oraz czas po jakim rozpoczęto pomiary stopnia przemiany.

ZADANIE 12

W okresowym, izotermicznym reaktorze zbiornikowym przebiega układ reakcji:

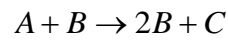
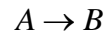


Wyznaczyć maksymalną wartość stężenia reagenta C oraz czas, po jakim ono wystąpi, jeśli stałe szybkości reakcji wynoszą $k_1 = 0,0881 \text{ m}^3/(\text{kmol}\cdot\text{s})$, $k_2 = 0,0339 \text{ 1/s}$ i $k_3 = 0,0687 \text{ m}^3/(\text{kmol}\cdot\text{s})$, a stężenia w chwili początkowej miały wartości $c_{A0} = c_{B0} = 0,213 \text{ kmol/m}^3$ i $c_{C0} = c_{D0} = 0$.

Zilustrować graficznie otrzymane wyniki dla pierwszych 10 minut pracy reaktora.

ZADANIE 13

W okresowym, izotermicznym reaktorze zbiornikowym przebiega proces autokatalityczny, dający się opisać następującym układem reakcji:



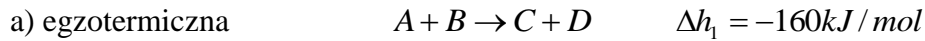
Przedstawić graficznie zmiany stężeń reagentów w reaktorze, jeśli $k_1 = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ oraz $k_2 = 0,00388 \text{ dm}^3/(\text{mol} \cdot \text{s})$, natomiast w chwili początkowej $c_{A0} = 0,8 \text{ mol/dm}^3$, $c_{B0} = c_{C0} = 0$.

ZADANIE 14

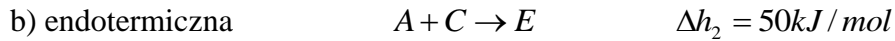
Do przepływowego reaktora zbiornikowego o objętości 1 litra wprowadza się 1 litr cieczy zawierającej składniki A i B ($c_{A0} = 0,20 \text{ mol/l}$, $c_{B0} = 0,02 \text{ mol/l}$). Składniki reagują ze sobą w sposób złożony (nieznana jest stechiometria reakcji). Strumień wylotowy zawiera składniki A, B i C ($c_A = 0,01 \text{ mol/l}$, $c_B = 0,04 \text{ mol/l}$ i $c_C = 0,05 \text{ mol/l}$). Proszę znaleźć szybkość reakcji A, B i C dla warunków panujących w reaktorze.

ZADANIE 15

W adiabatycznym reaktorze rurowym o przepływie tłokowym przebiegają dwie reakcje jednocześnie:



$$r_1 = 9,68 \cdot 10^2 \exp(-3000/T) c_A c_B \quad \text{kmol/m}^3 \cdot \text{s}$$



$$r_2 = 1,5 \exp(-60/T) c_A c_B \quad \text{kmol/m}^3 \cdot \text{s}$$

Ustalono, że przy czasie przebywania $\tau = 2,5$ s stopień przemiany substratu A w pierwszej reakcji wynosi $\alpha_A = 0,86$. Czy wydłużenie czasu przebywania poprawi wydajność reaktora ze względu na produkt D?

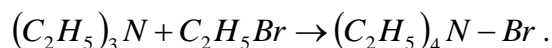
Stężenia substratów wynoszą $c_{A0} = c_{B0} = 1 \text{ kmol/m}^3$, a temperatura surowca $T = 413 \text{ K}$. Proces przebiega w środowisku o stałej gęstości $\rho = 768 \text{ kg/m}^3$, którego ciepło właściwe wynosi $c_p = 3,42 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$.

ZADANIE 16

Wodny strumień substratu A ($c_{A0} = 5 \text{ mol/dm}^3$) przechodzi przez zbiornikowy reaktor przepływowy, a następnie przez reaktor rurowy o przepływie tłokowym. Proszę znaleźć stężenie strumienia opuszczającego reaktor rurowy (c_{A2}), jeśli mieszanina opuszczająca reaktor zbiornikowy ma stężenie $C_{A1} = 2 \text{ mol/dm}^3$. Reakcja jest drugiego rzędu (w odniesieniu do składnika A), a objętość reaktora drugiego jest trzykrotnie większa niż pierwszego.

ZADANIE 17

Reakcja trietyloaminy (TEA) z bromkiem etylu przebiega jako drugorzędowa, zgodnie z równaniem stechiometrycznym:



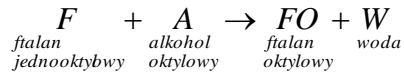
W celu wyznaczenia energii aktywacji tej reakcji przeprowadzono pomiary stężenia trietyloaminy (TEA) w okresowym reaktorze izotermicznym. Początkowe molowe stężenia substratów były równe i wynosiły $0,1 \text{ mol/dm}^3$. W tabeli zestawiono wyniki stężenia substratów w reaktorze jako funkcję czasu, otrzymane w trzech seriach pomiarowych, odpowiadających różnym temperaturą procesu.

t [s]	Stężenie substratu [mol/dm^3]		
	278 K	303 K	328 K
360	0,0926	0,0894	0,0857
720	0,0863	0,0808	0,0750
1080	0,0807	0,0737	0,0667
1440	0,0759	0,0678	0,0600
1800	0,0715	0,0628	0,0546
2160	0,0677	0,0584	0,0500
2520	0,0642	0,0546	0,0462
2880	0,0611	0,0513	0,0429
3240	0,0583	0,0484	0,0400
3600	0,0557	0,0457	0,0375

Proszę obliczyć wartości parametrów równania Arrheniusa dla badanej reakcji chemicznej.

ZADANIE 18

Reakcję estryfikacji ftalanu oktylowego alkoholem ortylowym prowadzi się w izotermicznym reaktorze zbiornikowym przepływowym w temperaturze 170°C w obecności tytanianu butylowego jako katalizatora homogenicznego. Reakcja zachodzi w fazie ciekłej według równania:



Reakcja jest praktycznie nieodwracalna ze względu na natychmiastowe wyprowadzenie wody ze środowiska reakcji. Jest to reakcja drugiego rzędu $r_F = k \cdot c_F \cdot c_A$. Stała szybkości $k = 0,02 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{min})$ przy stosowanym stężeniu katalizatora $c_K = 0,0096 \text{ mol/dm}^3$. Gęstość mieszaniny reakcyjnej jest stała i wynosi $\rho_M = 0,849 \text{ kg/dm}^3$. Alkohol ortylowy jest użyty w nadmiarze $b = 1,4$.

- Określić zastępczy czas przebywania (średni czas przebywania) niezbędny dla osiągnięcia przemiany ftalanu jednooktylowego $\alpha_F = 0,99$.
- Wyznaczyć objętość przestrzeni reakcyjnej przy założeniu zdolności produkcyjnej $L_P = 7500 \cdot 10^3 \text{ kg/rok}$ ftalanu ortylowego i dla stopnia przemiany $\alpha_F = 0,99$.

ZADANIE 19

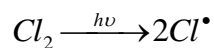
Do okresowego, początkowo pustego, reaktora zbiornikowego doprowadzane są jednocześnie dwa strumienie w ilości odpowiednio $F_1 = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$ i $F_2 = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$. Jeden strumień zawiera substrat A, a drugi substrat B. Stężenia substratów wynoszą $c_{A0} = c_{B0} = 0,5 \text{ kmol/m}^3$. Po zmieszaniu obu strumieni zachodzi reakcja chemiczna zgodnie z równaniem $r = k \cdot c_A \cdot c_B$, gdzie $k = 0,2 \text{ m}^3/(\text{kmol} \cdot \text{s})$.

Obliczyć stężenia obydwu substratów w reaktorze w chwili, gdy jego zapelnienie osiągnie wartość 1 m^3 . Przyjąć, że proces przebiega izotermicznie.

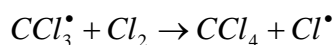
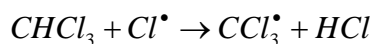
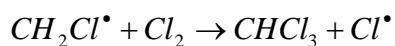
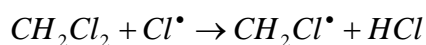
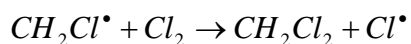
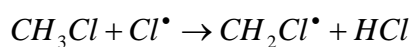
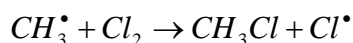
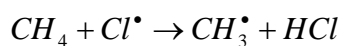
ZADANIE 20

Reakcja halogenowania metanu jest reakcją wolnorodnikową złożoną z 3 następujących etapów:

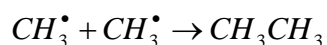
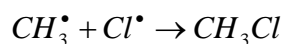
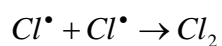
I etap – inicjacja (wytworzenie rodnika)



II etap – propagacja



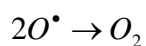
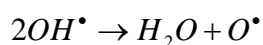
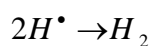
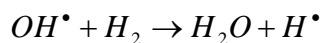
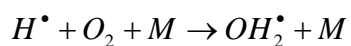
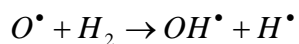
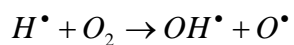
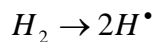
III etap – elongacja (zakończenie procesu)



Dla każdej z podanych reakcji zaproponować najbardziej prawdopodobne równanie kinetyczne. Wyprowadzić także równanie szybkości zanikania i postawiania poszczególnych rodników w II etapie reakcji (zastosować zasadę pseudostacjonarności).

ZADANIE 21

W trakcie wybuchu w mieszaninie czystego tlenu i wodoru zachodzą następujące reakcje rodnikowe:



gdzie M oznacza cząsteczkę obojętną. Dla każdej z podanych reakcji zaproponować najbardziej prawdopodobne równanie kinetyczne. Wyprowadzić także równanie szybkości zanikania i postawiania poszczególnych rodników (zastosować zasadę pseudostacjonarności).