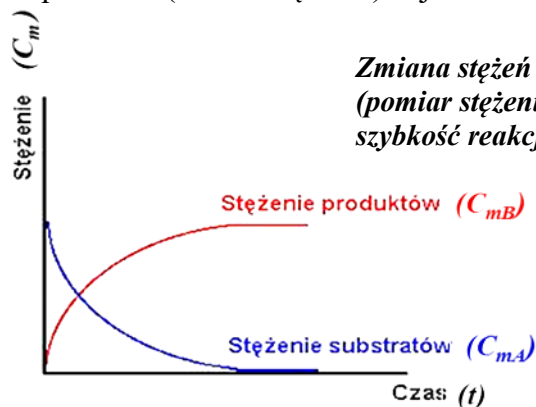


Karta pracy(6) – II LO / chem.r – Kinetyka reakcji / Szybkość reakcji i rząd reakcji

Nazwisko i imię:

➤ Kinetyka chemiczna:

- kinetyka chemiczna zajmuje się procesami przebiegającymi zarówno w przyrodzie, w technologiach chemicznych oraz laboratoriach chemicznych,
- niektóre reakcje przebiegają gwałtownie (np. spalanie wodoru w mieszaninie z tlenem w stosunku H : O jak 2 : 1 reakcja przebiega wybuchowo / mieszanina piorunująca) lub bardzo wolno (np. chemiczna erozja skał węglanowych – zjawisko krasu: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$),
- Szybkość reakcji – odpowiada zmianie stężenia molowego substratu (spadek stężenia) lub przyrostu produktu (wzrost stężenia) w jednostce czasu.



*Zmiana stężeń substratu i produktu z upływem czasu dla reakcji $A \leftrightarrow B$,
(pomiar stężenia produktu lub substratu w określonych odstępach czasowych,
szybkość reakcji nie zależy od wielkości próbki)*

- szybkość reakcji opisuje wyrażenie: $v = \pm \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- ✓ v – szybkość reakcji, Δx wzrost stężenia produktu / reagenta (+) lub ubytek stężenia substratu / reagenta (-), Δt – odstęp czasowy (sekundy)
- Przykłady:

Zad.1.

Reakcja chemiczna przebiega wg równania $A + B \leftrightarrow AB$, początkowe stężenie $[A] = [B] = 2,5 \text{ mol/dm}^3$, po 1 minucie od zainicjowania reakcji stężenie produktu AB wyniosło $1,2 \text{ mol/dm}^3$, po kolejnej minucie stężenie produktu AB wzrosło do $1,5 \text{ mol/dm}^3$. Oblicz średnią szybkość reakcji po 1 i po 2 minucie.

Rozwiązanie:

- ✓ $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$,
- ✓ $\Delta C_{m(AB)} = 0 + 1,2 \text{ mol/dm}^3 = 1,2 \text{ mol/dm}^3$,
- ✓ $v = + \frac{\Delta x}{\Delta t} = + \frac{1,2 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}}{60 \text{ s}} = 0,02 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$
- ✓ $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$,
- ✓ $\Delta C_{m(AB)} = 1,2 - 1,5 \text{ mol/dm}^3 = -0,3 \text{ mol/dm}^3$,
- ✓ $v = + \frac{\Delta x}{\Delta t} = + \frac{0,3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}}{60 \text{ s}} = 0,005 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$

Zad.2.

Reakcja chemiczna przebiega wg równania $AB \leftrightarrow A + B$, początkowe stężenie $[AB] = 1,5 \text{ mol/dm}^3$, po 30 sekundach od zainicjowania reakcji stężenie substratu AB wyniosło $1,2 \text{ mol/dm}^3$. Oblicz średnią szybkość reakcji po tym czasie. **Rozwiązanie:**

- ✓ $\Delta t = 30 \text{ s}$,
- ✓ $\Delta C_{m(AB)} = 1,2 - 1,5 \text{ mol/dm}^3 = -0,3 \text{ mol/dm}^3$,
- ✓ $v = - \frac{\Delta x}{\Delta t} = - \frac{-0,3 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}}{30 \text{ s}} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$

Zad.3.

Reakcja chemiczna przebiega wg równania $2A + 3B \leftrightarrow A_2B_3$ z średnią prędkością $0,05 \text{ mol/dm}^3/\text{s}$, początkowe stężenia substratów wyniosły $[A] = 3 \text{ mol/dm}^3$, $[B] = 4,5 \text{ mol/dm}^3$. Oblicz stężenia substratów reakcji po 12 sekundach od zainicjowania reakcji.

Rozwiązanie:

- ✓ $\Delta C_{mA} = C_{mA} - \Delta t \cdot 2 \cdot v = 3 \text{ mol/dm}^3 - 12 \text{ s} \cdot 2 \cdot 0,05 \text{ mol/dm}^3/\text{s} = 3 \text{ mol/dm}^3 - 1,2 \text{ mol/dm}^3 = 1,8 \text{ mol/dm}^3$,
- ✓ $\Delta C_{mB} = C_{mB} - \Delta t \cdot 3 \cdot v = 4,5 \text{ mol/dm}^3 - 12 \text{ s} \cdot 3 \cdot 0,05 \text{ mol/dm}^3/\text{s} = 4,5 \text{ mol/dm}^3 - 1,8 \text{ mol/dm}^3 = 2,7 \text{ mol/dm}^3$.

Zadania do samodzielnego wykonania

- 1 Stężenie **reagenta X** w czasie **25** minutowej reakcji zmalało z **0,075 mol/dm³** do **0,045 mol/dm³**.
Oblicz średnią szybkość reakcji.

Obliczenia:

Odpowiedź:

- 2 Stężenie **reagenta Y** w czasie **15** minutowej reakcji wzrosło z **0,022 mol/dm³** do **0,049 mol/dm³**.
Oblicz średnią szybkość reakcji.

Obliczenia:

Odpowiedź:

➤ **Energia aktywacji i pozostałe parametry wpływające na szybkość reakcji**

➤ **energia aktywacji:**

- ✓ do zajścia reakcji niezbędne jest osiągnięcie przez układ pewnego nadmiaru energii aktywującego drobinę, ta najmniejsza ilość energii niezbędna do zapoczątkowania reakcji, to energia aktywacji,
- ✓ energia aktywacji jest zużywana przez drobinę substratów do pokonania bariery energetycznej reakcji, tj. utworzenia przejściowego kompleksu aktywnego, który jest stanem przejściowym reagentów,
- ✓ stan przejściowy / kompleks aktywny samorzutnie przekształca się w produkty reakcji:
- ✓ $AB + C \rightarrow [ABC]^* \rightarrow AC + B$

substraty
kompleks aktywny
produkty

Zadania do samodzielnego wykonania

- 3 Benzen ulega nitrowaniu $C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2O$ w reakcji z mieszaniną nitrującą: $(HNO_3 + 2 H_2SO_4 \rightarrow H_3O^+ + NO_2^+ + 2 HSO_4^-)$ zgodnie z mechanizmem I, II, III i IV:

Mechanizm reakcji	Wzory drobin			
	substratów	produktów	produktów przejściowych	katalizatora
I. $HNO_3 + H^+ \rightarrow H_2ONO_2^+$				
II. $H_2ONO_2^+ \rightarrow H_2O + NO_2^+$				
III. $C_6H_6 + NO_2^+ \rightarrow C_6H_5NO_2^+$				
IV. $C_6H_5NO_2^+ \rightarrow C_6H_5NO_2 + H^+$				

W oparciu o w/w informacje uzupełnij tabelę wpisując wzory drobin będących substratami, produktami, produktami przejściowymi / kompleksem aktywnym, katalizatorem tej reakcji lub wstaw kreskę jeżeli w poszczególnych etapach nie występują drobinę spełniające w/w roli w reakcji.

Uwaga: katalizator zwiększa szybkość reakcji przez obniżenie energii aktywacji substratów, tworzy on przejściowy nietrwały kompleks aktywny z jednym z substratów reakcji, zregenerowany katalizator może być użyty ponownie do reakcji z substratem: $A + kat. \rightarrow Akat. ; Akat. + B \rightarrow AB + kat.$

	<p>➤ pozostałe parametry wpływające na szybkość reakcji:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ stężenia reagentów a w przypadku gazów - ciśnienia reagentów, ✓ droga przemiany substratów w produkty, ✓ temperatura, w jakiej zachodzi reakcja: <ul style="list-style-type: none"> • szybkość reakcji rośnie wraz ze wzrostem temperatury, zgodnie z regułą van't Hoffa wzrost temp. o każde 10°C powoduje 2-4 krotny wzrost szybkości reakcji, • zmniejszenie temperatury o każde 10°C powoduje zmniejszenie szybkości reakcji o taką samą wartość, • dla reakcji silnie egzoenergetycznych współczynnik temperaturowy wraz ze wzrostem temperatury maleje do jedności, ✓ rodzaj reagujących substancji i ich stan skupienia, ✓ obecność katalizatora
	<p>➤ Równanie kinetyczne reakcji chemicznej:</p> <p>➤ szybkość reakcji jest wprost proporcjonalna do stężeń reagentów, opisuje ją równanie kinetyczne, które wyznacza się doświadczalnie: dla $A + B \rightarrow C$; $v = k \cdot [A] \cdot [B]$, gdzie k – stała szybkości reakcji w określonej temp (wyzn.doświad); $[A]$, $[B]$ – stężenia molowe</p> <p>➤ uwaga: dla reakcji $2A + 3B \rightarrow C$ równanie kinetyczne przyjmuje postać: $v = k \cdot [A]^2 \cdot [B]^3$, jeżeli szybkość jest wprost proporcjonalna do współczynników stechiometrycznych:</p> <ul style="list-style-type: none"> • przykład: $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$; $v = k \cdot [NO]^2 \cdot [O_2]$, <p>➤ uwaga: występują przypadki reakcji gdzie nie występuje zależność wprost proporcjonalna, wtedy w równaniu kinetycznym wykładnie potęgowe przyjmują inne wartości:</p> <ul style="list-style-type: none"> • przykład: $5Br^- + BrO_3^- + 6H^+ \rightarrow 3Br_2 + 3H_2O$; $v = k \cdot [Br^-] \cdot [BrO_3^-] \cdot [H^+]^2$ <p>➤ do określonego zadania z reguły podane jest równanie kinetyczne.</p>
	<p>Przykładowe zadania:</p> <p>Zad.4.</p> <p>Reakcja przebiega w fazie gazowej wg równania $2A + B \rightarrow 2AB$, szybkość reakcji opisuje równanie kinetyczne $v = k \cdot [A]^2 \cdot [B]$. Oblicz ile razy zmieni się szybkość reakcji jeżeli:</p> <ol style="list-style-type: none"> stężenie substratu A wzrośnie 3-krotnie a stężenie substratu B zmaleje do połowy, szybkość reakcji wzrasta 2,5-krotnie ($\gamma = 2,5$) po podniesieniu temp. o 10°C a temp. układu zwiększy się o 30°C, zmniejszy się o 20°C, objętość gazów zmniejszy się 1,5-krotnie. <p>Rozwiązanie:</p>
4a	<ul style="list-style-type: none"> ✓ $v_1 = k \cdot [A]^2 \cdot [B]$ ✓ $C_A = [2A] \cdot 3 = 6[A]$; $C_B = [B] \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}[B]$ ✓ $v_2 = k \cdot [3A]^2 \cdot \frac{1}{2}[B] = k \cdot 9[A]^2 \cdot \frac{1}{2}[B] = 4,5 k \cdot [A]^2 \cdot [B]$ ✓ $\frac{v_2}{v_1} = \frac{4,5 \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B]}{k \cdot [A]^2 \cdot [B]} = 4,5$ ✓ szybkość reakcji wzrośnie 4,5-krotnie.
4b	<ul style="list-style-type: none"> ✓ $v_1 = k \cdot [A]^2 \cdot [B]$, ✓ $\gamma_1 = 2,5$; $\Delta T = T_2 - T_1 = 30$, ✓ współczynnik temperaturowy: $\gamma_{10}^{30} = \gamma^3 = 2,5^3 = 15,625$, lub: $2,5 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 15,625$ ✓ $v_2 = \gamma_{10}^{30} \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B] = 15,625 \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B]$ ✓ $\frac{v_2}{v_1} = \frac{15,625 \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B]}{k \cdot [A]^2 \cdot [B]} = 15,625$ ✓ szybkość reakcji wzrośnie 15,625-krotnie. ✓ $\gamma_2 = 1 : 2,5 = 0,4$; $\Delta T = T_1 - T_2 = 20$, ✓ współczynnik temperaturowy: $\gamma_{10}^{20} = \gamma^2 = 0,4^2 = 0,16$ lub: $0,4 \cdot 0,4 = 0,16$ ✓ $v_3 = \gamma_{10}^{20} \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B] = 0,16 \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B]$ ✓ $\frac{v_1}{v_3} = \frac{k \cdot [A]^2 \cdot [B]}{0,16 \cdot k \cdot [A]^2 \cdot [B]} = 6,25$ ✓ szybkość reakcji zmaleje 6,25-krotnie.

[illegible]

4e	<p><i>Obliczenia:</i></p> <p><i>Odpowiedź:</i></p>										
5	<p>Stała szybkości (k) określonego związku chemicznego w temp. 363K wynosi $8 \cdot 10^{-4}/\text{h}$ a w temp. 373K wynosi $20 \cdot 10^{-4}/\text{h}$. Ile wynosi wartość współczynnika szybkości reakcji γ tego procesu?</p> <p><i>Obliczenia:</i></p> <p><i>Odpowiedź:</i></p>										
6	<p>Równanie kinetyczne reakcji opisanej równaniem $2 \text{NO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ma postać: $v = k \cdot [\text{NO}]^2 \cdot [\text{H}_2]$. Podniesienie temp. reakcji przebiegającej w fazie gazowej w warunkach standardowych 10°C powoduje 2-krotny wzrost szybkości reakcji. Oblicz jak zmieni się szybkość reakcji jeżeli temp. podniesie się 298K do 318K i podwojona zostanie ilość NO przy niezmiennym stężeniu H_2.</p> <p><i>Obliczenia:</i></p> <p><i>Odpowiedź:</i></p>										
<p>➤ Rząd / rzędowość reakcji chemicznych</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ suma wykładników potęgowych ($n_l / \lambda / n_r$,) w równaniu kinetycznym prostych reakcji określa się całkowitym (ogólnym) rzędem reakcji / rzędowością reakcji, ✓ suma wykładników potęgowych nie musi być liczbą całkowitą, ✓ rząd reakcji informuje o liczbie cząsteczek uczestniczących w aktywnym zderzeniu, aby mogła zajść reakcja, ✓ większość reakcji należy do pierwszego lub drugiego rzędu, rzadziej spotyka się reakcje trzeciego rzędu, reakcje fotochemiczne, których szybkość nie zależy o stężenia reagentów należą do reakcji zerowej rzędowości. <p>Przykłady:</p> <table style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td>• $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_3$;</td><td>$v = k \cdot [\text{C}_6\text{H}_6]$; $n_l = 1$ / reakcja pierwszego rzędu,</td></tr> <tr> <td>• $2 \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2$;</td><td>$v = k \cdot [\text{CH}_4]^2$; $n_l = 2$ / reakcja drugiego rzędu,</td></tr> <tr> <td>• $\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$;</td><td>$v = k \cdot [\text{S}_{(g)}] \cdot [\text{H}_2]$; $n_l = 1+1=2$ / drugiego rzędu,</td></tr> <tr> <td>• $3 \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$;</td><td>$v = k \cdot [\text{C}_2\text{H}_2]^3$; $n_l = 3$ / reakcja trzeciego rzędu,</td></tr> <tr> <td>• $\text{H}_2\text{O}_2 + \Gamma^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HIO}$;</td><td>$v = k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2] \cdot [\Gamma^-] \cdot [\text{H}^+]$; $n_l = 1+1+1=3$ / reakcja trzeciego rzędu.</td></tr> </tbody> </table>		• $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_3$;	$v = k \cdot [\text{C}_6\text{H}_6]$; $n_l = 1$ / reakcja pierwszego rzędu,	• $2 \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2$;	$v = k \cdot [\text{CH}_4]^2$; $n_l = 2$ / reakcja drugiego rzędu,	• $\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$;	$v = k \cdot [\text{S}_{(g)}] \cdot [\text{H}_2]$; $n_l = 1+1=2$ / drugiego rzędu,	• $3 \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$;	$v = k \cdot [\text{C}_2\text{H}_2]^3$; $n_l = 3$ / reakcja trzeciego rzędu,	• $\text{H}_2\text{O}_2 + \Gamma^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HIO}$;	$v = k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2] \cdot [\Gamma^-] \cdot [\text{H}^+]$; $n_l = 1+1+1=3$ / reakcja trzeciego rzędu.
• $\text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_3$;	$v = k \cdot [\text{C}_6\text{H}_6]$; $n_l = 1$ / reakcja pierwszego rzędu,										
• $2 \text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3 \text{H}_2$;	$v = k \cdot [\text{CH}_4]^2$; $n_l = 2$ / reakcja drugiego rzędu,										
• $\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$;	$v = k \cdot [\text{S}_{(g)}] \cdot [\text{H}_2]$; $n_l = 1+1=2$ / drugiego rzędu,										
• $3 \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6$;	$v = k \cdot [\text{C}_2\text{H}_2]^3$; $n_l = 3$ / reakcja trzeciego rzędu,										
• $\text{H}_2\text{O}_2 + \Gamma^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HIO}$;	$v = k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2] \cdot [\Gamma^-] \cdot [\text{H}^+]$; $n_l = 1+1+1=3$ / reakcja trzeciego rzędu.										

7	<p>W poniższych równaniach chemicznych w równania kinetycznych stężenia reagentów występują w swoich potęgach równych współczynnikiem stechiometrycznym. Dla tych równań ułóż równania kinetyczne, oblicz i podaj rzędowość reakcji:</p> <p>a) $\text{N} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}$;,</p> <p>b) $\text{I} + \text{H}_2 \rightarrow \text{HI} + \text{H}$;,</p> <p>c) $\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2 \text{NO}_2$;,</p> <p>d) $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_3$;,</p> <p>e) dla równania reakcji $4 \text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Cl}_2$ w równaniu kinetycznym stężenia substratów występują w pierwszych potęgach, zapisz równanie kinetyczne tej reakcji i określ jej rzędowość,</p>
---	---