

LXI Ogólnopolski Konkurs Chemiczny im. prof. Antoniego Swinarskiego

FINAŁ – Część teoretyczna - 21 marca 2025 r.

Witamy na etapie finałowym LX Ogólnopolskiego Konkursu Chemicznego im. prof. Antoniego Swinarskiego.

- Dysponujesz tzw. brudnopisem i kartami odpowiedzi. Oddajesz tylko karty odpowiedzi (wszystkie, nawet jeśli są puste). Brudnopis nie będzie oceniany.
- Rozwiązania wszystkich zadań obliczeniowych powinny zawierać zwięzły schemat obliczeń, wskazujący na tok rozumowania.
- Pisz starannie i czytelnie, błędne zapisy wyraźnie przekreśl.
- Możesz korzystać z kalkulatora. Pamiętaj o właściwym zaokrąglaniu liczb (wynik końcowy) i podawaniu jednostek.
- Na rozwiązanie zadań masz 3 godziny zegarowe.

ŻYCZYMY POWODZENIA

Podstawowe stałe fizykochemiczne

Stała gazowa $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Stała Faradaya: $F = 96484 \text{ C/mol}$

$K_b, (\text{NH}_3) = 1,78 \cdot 10^{-5}$,

Energia wiązań: $E_{\text{H-H}} = 436 \text{ kJ/mol}$, $E_{\text{N=N}} = 941 \text{ kJ/mol}$, $E_{\text{N-H}} = 389 \text{ kJ/mol}$

Zadanie A (20 pkt)

Pojęcie „pojemności buforowej” (β) określa w sposób ilościowy zmianę pH tegoż roztworu wywołaną dodatkiem mocnego kwasu lub zasady. Wyznacza się ją w odniesieniu do 1 dm^3 roztworu buforowego. $\beta \approx \left| \frac{\Delta n}{\Delta \text{pH}} \right|$

β – pojemność buforowa, Δn – ilość moli mocnego kwasu/zasady po dodaniu do roztworu buforowego [mol], ΔpH – zmiana pH podczas dodawania objętości mocnego kwasu/zasady do roztworu buforowego. Wartość pojemności buforowej jest silnie związana ze stężeniami składników i wzrasta wraz z ich zwiększeniem. Największą pojemność buforową wykazują roztwory buforowe, o pH równym pK_a kwasu, użytego do ich sporządzenia.

Do 350 cm^3 0,75-molowego roztworu amoniaku dodano 550 cm^3 0,35-molowego roztworu HCl. Roztwór wymieszano i dopełniono wodą do kreski w kolbie miarowej na 1000 cm^3 . Wszelkie działania wykonywano w standardowej temperaturze i pod stałym ciśnieniem w układzie zamkniętym.

1. Określ odczyn otrzymanego roztworu (2 pkt)
2. Określ hybrydyzację atomu azotu w amoniaku oraz strukturę przestrzenną cząsteczki amoniaku dowolną metodą (2 pkt)
3. Oblicz stężenie amoniaku znajdującego się w roztworze (2pkt)
4. Oblicz entalpię reakcji tworzenia amoniaku (2 pkt)
5. Oblicz stężenie jonów amonowych znajdujących się w roztworze (2pkt)
6. Oblicz pH otrzymanego roztworu (4 pkt)
7. Oblicz pNH_4^+ w otrzymanym roztworze (2 pkt)
8. Oblicz pojemność buforową otrzymanego roztworu dla 0,35-molowego roztworu HCl stosowanego w doświadczeniu (4 pkt)

Zadanie B (20 pkt)

W celu oznaczenia iloczynu rozpuszczalności jodanu(V) wapnia pobrano próbkę nasyconego roztworu tej soli i przeprowadzono miareczkowanie redoks. Jodany(V) (IO_3^-) w środowisku kwaśnym mogą utleniać jodki (I^-) do cząsteczkowego jodu.

Po dodaniu nadmiaru roztworu jodku potasu do 10 cm^3 nasyconego roztworu jodanu(V) wapnia wydzielony jod poddano miareczkowaniu tiosiarczanem sodu ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) o stężeniu $0,0780 \text{ mol/dm}^3$ w obecności skrobi. Na zmiareczkowanie próbki zużyto $8,10 \text{ cm}^3$ roztworu $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

1. Zapisz równanie reakcji rozpuszczania jodanu(V) wapnia w wodzie i wyrażenie na iloczyn rozpuszczalności tej soli. (2 pkt)
2. Zapisz jonowo wszystkie reakcje, zachodzące podczas miareczkowania. Jaką rolę spełnia skrobia? (4 pkt)
3. Oblicz stężenie jodanów(V) w nasyconym roztworze, a następnie oblicz iloczyn rozpuszczalności jodanu(V) wapnia. (6 pkt)
4. Oblicz rozpuszczalność jodanu(V) wapnia w wodzie (w g/dm^3) i porównaj tę wartość z rozpuszczalnością jodanu(V) wapnia w roztworze CaCl_2 o stężeniu $0,100 \text{ mol/dm}^3$. W obliczeniach przyjmij iloczyn rozpuszczalności jodanu(V) wapnia $K_{\text{so}} = 7,1 \cdot 10^{-7}$. (8 pkt)

Zadanie C (20 pkt)

Termograwimetria to technika polegająca na badaniu zmiany masy próbki podczas jej ogrzewania. Dzięki znajomości procentowego ubytku masy możliwe jest wyznaczenie składu analizowanej substancji lub produktów jej rozkładu. Rejestrowana zmiana masy podczas równomiernego przyrostu temperatury wyznaczana jest w postaci wykresu nazywanego termogramem.

Podczas rejestracji termogramu próbki pewnego hydratu o masie 9,125 gramów i wzorze $\text{MeC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ zanotowany trzy ubytki mas. Pierwszy nastąpił w temperaturze około 100°C i wiązał się z wydzieleniem wody hydratacyjnej zamieniając analit w sól bezwodną oraz zmniejszając masę próbki do 8 g. Drugi ubytek masy nastąpił w przedziale temperatur $226\text{--}398^\circ\text{C}$ powodując zmianę masy próbki o 1,75 g z wydzieleniem tlenu. Ostatni ubytek masy nastąpił podczas rozkładu termicznego w przedziale temperatur $420\text{--}660^\circ\text{C}$ z wydzieleniem dwutlenku węgla. Masa końcowa próbki wynosiła 3,5 g. Cały proces prowadzony był w atmosferze argonu.

1. Ustal symbol metalu (Me) soli opisanej w powyższej analizie (3 pkt).
2. Ustal liczbę moli wody (x) w hydracie o wzorze $\text{MeC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ i podaj jego pełną nazwę (3 pkt).
3. Zapisz w formie cząsteczkowej reakcje zachodzące podczas każdego z trzech etapów termicznego rozkładu soli $\text{MeC}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (2 pkt).
4. Aniony $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ w środowisku kwasowym mogą redukować jony manganianowe (VII). Napisz w formie jonowej z uwzględnieniem liczby oddawanych lub pobieranych elektronów (zapis jonowo-elektronowy) równania reakcji redukcji i utleniania zachodzących podczas opisanego procesu. (2 pkt)
5. Opisz dwie możliwe do zaobserwowania zmiany zachodzące podczas reakcji opisanej w poleceniu 4. (2 pkt)
6. W 180 gramach wody o temperaturze 60°C rozpuszczono 100 gramów bezwodnej soli CuSO_4 a następnie roztwór ochłodzono do 20°C . Oblicz ile gramów soli o wzorze $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ wykryształizowało z roztworu po ochłodzeniu. Rozpuszczalność hydratu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) w 20°C wynosi 32 g w 100 g wody. Wynik podaj z dokładnością do części setnych. (4 pkt)
7. Wodny roztwór soli CuSO_4 mieszało z nadmiarem wodnego roztworu wodorotlenku sodu a następnie rozdzielono do 4 probówek. Zapisz obserwacje w probówkach 1-4 po dodaniu: (4 pkt)
 - a) do probówki nr 1 roztworu fruktozy oraz ogrzaniu jej zawartości
 - b) do probówki nr 2 gliceryny
 - c) do probówki nr 3 wody amoniakalnej
 - d) do probówki nr 4 wodnego roztworu żelatyny

Zadanie D (20 pkt)

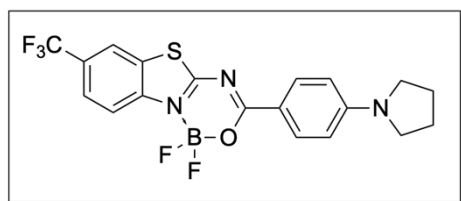
Mieszaninę o masie 3,67 g zawierającą 3 związki sodu (A, B i C) rozpuszczono w wodzie. W reakcji z kwasem chlorowodorowym wydzielilo się 840 cm³ (w temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 1025 hPa) bezbarwnego gazu rozpuszczającego się w wodzie. Na zobojętnienie mieszaniny zużyto 120 cm³ HCl o stężeniu 0,5 mol/dm³.

Nasycenie otrzymanego roztworu tlenkiem węgla(IV) powoduje, że otrzymuje się tylko jedną substancję B, będącą solą.

Ogrzanie próbki w temperaturze powyżej 60°C powoduje wydzielenie gazu. Powoduje to, że próbka staje się dwuskładnikowa (A i C).

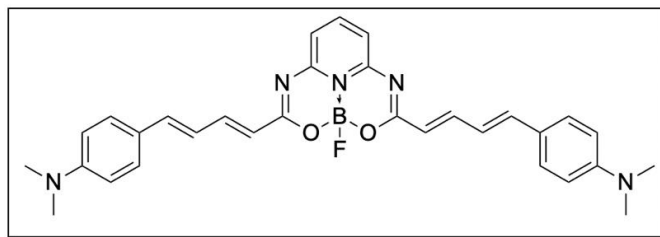
1. Zidentyfikuj związki sodu A, B i C występujące w próbce? (6 pkt)
2. Zidentyfikuj gaz wydzielający się w reakcji składników próbki z kwasem chlorowodorowym? (1 pkt)
3. Podaj skład ilościowy próbki? (6 pkt)
4. Zapisz równania reakcji badanych substancji A, B i C z kwasem chlorowodorowym? (3 pkt)
5. Zapisz równanie reakcji wydzielania gazu podczas ogrzewania próbki? (1 pkt)
6. Zapisz równanie(-a) reakcji zachodzące podczas nasycania roztworu próbki tlenkiem węgla(IV)? (2 pkt)
7. Zapisz równie reakcji zachodzące po dodaniu do próbki wodorotlenek sodu? (1 pkt)

Zadanie E (20 pkt)

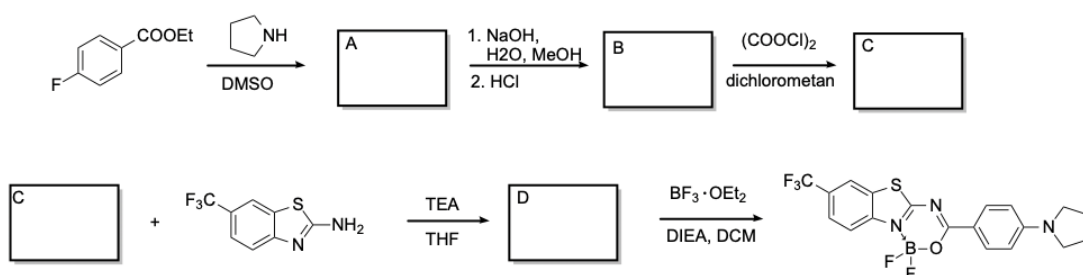


Naukowcy pracujący na Wydziale Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu zaproponowali nowy barwnik fluorescencyjny, którego struktura inspirowana jest znanym barwnikiem do detekcji amyloidów – Tioflawiną T. Synteza tego barwnika oparta została na kilkuetapowej syntezie organicznej, której schemat przedstawiony został poniżej.

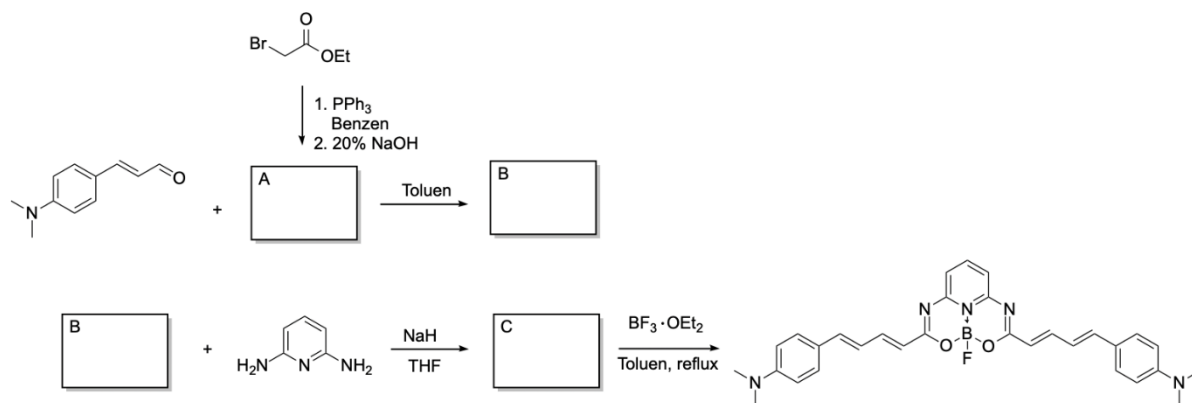
Inną, proponowaną przez naukowców, cząsteczką jest pochodna 2,6-diaminopirydyny. Barwnik ten posiada zdolność do wiązania się z amyloidami, co można obserwować eksperymentalnie za pomocą pomiarów widm fluorescencji. Wykazano, że związanie barwnika z agregatami białkowymi powoduje znaczny wzrost intensywności fluorescencji.



1. Zaproponuj struktury związków, które otrzymywane są w poszczególnych etapach syntezy. (4 x 2,5 pkt)



2. Zaproponuj struktury związków, które otrzymywane są w poszczególnych etapach syntezy. (3 x 2,5 pkt)



3. W przypadku reakcji z wodorkiem sodu (NaH) wykorzystywany jest bezwodny tetrahydrofuran jako rozpuszczalnik, w atmosferze argonu. Wyjaśnij, dlaczego reakcja musi być prowadzona w takich warunkach? Zapisz odpowiednie równanie reakcji wodorku sodu z wodą (2,5 pkt)

Odpowiedzi

Zadanie A

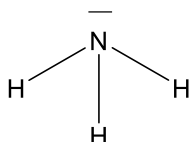
1. **zasadowy** (1el) 2,0p

$$n_1(\text{NH}_3) = 0,35 \cdot 0,75 = 0,2625 \text{ mola}$$

$$n_1(\text{HCl}) = 0,55 \cdot 0,35 = 0,1925 \text{ mola odpowiada ilości } \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{nadmiar amoniaku,}$$

odczyn zasadowy

2.



hybrydyzacja sp^3 – piramida trygonalna

(3el) 2,0p

3. $n_2(\text{NH}_3) = 0,2625 - 0,1925 = 0,0700 \text{ mola}$ (2el) 2,0p
 $[\text{NH}_3] = 0,0700$ bo dopełniono do kreski!

4. $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ (2el) 2,0p

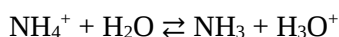
$$\Delta H_r = \sum_{i=1}^n E_{S,i} - \sum_{i=1}^n E_{P,i}$$

$$\Delta H_r = (3 \cdot 436 \text{ kJ/mol} + 941 \text{ kJ/mol} - 6 \cdot 389 \text{ kJ/mol})/2 = (1308 + 941 - 2334)/2 = -42,5 \text{ kJ/mol}$$

5. Ilość dodanego HCl odpowiada ilości NH_4^+ w roztworze, zatem (2el) 2,0p

$$[\text{NH}_4^+] = 0,1925 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

6. (4el) 4,0p



$$K_{a, \text{NH}_3} = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_{a, \text{NH}_3} [\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} = \frac{10^{-14}}{K_{b, \text{NH}_3}} \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,78 \cdot 10^{-5}} \cdot 0,1925 = 1,5449 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 8,81$$

7. $\text{pNH}_4^+ = -\log[\text{NH}_4^+] = -\log(0,1925) = 0,72$ (2el) 2,0p

8. pH otrzymanego roztworu buforowego wynosi 8,81 obliczmy pH_2 po dodaniu dodatkowych 10 cm^3 tegoż kwasu

$$n_1(\text{NH}_3) = 0,35 \cdot 0,75 = 0,2625 \text{ mola}$$

$$n_2(\text{HCl}) = 0,56 \cdot 0,35 = 0,1960 \text{ mola}$$

$$n_2(\text{NH}_3) = 0,2625 - 0,1960 = 0,0665 \text{ mola}$$

$$n_2(\text{NH}_4^+) = 0,1960 \text{ mola}$$

$$[\text{NH}_4^+] = 0,1960/1,01 = 0,1941$$

$$[\text{NH}_3] = 0,0665/1,01 = 0,06584$$

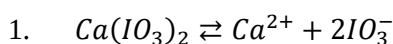
$$[\text{H}_3\text{O}^+]_2 = \frac{\frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,78 \cdot 10^{-5}} \cdot 0,1941}{0,06584} = 1,6562 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 8,78$$

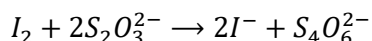
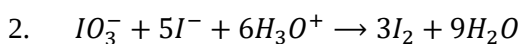
(4el) 4,0p

$$\beta \approx \left| \frac{\Delta n}{\Delta \text{pH}} \right| = \left| \frac{0,0035}{0,03} \right| = 0,1167$$

Zadanie B



$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{IO}_3^-]^2$$



Skrobia pełni funkcję wskaźnika w miareczkowaniu jodometrycznym, ponieważ tworzy **intensywnie granatowy kompleks z jodem cząsteczkowym**, co ułatwia wizualne wykrycie punktu końcowego miareczkowania.

3. Z równań w p.2 wynika, że na 1 mol jonów IO_3^- potrzeba 6 moli tiosiarczanu sodu, zatem

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,0780 \text{ mol/dm}^3 \times 0,0081 \text{ dm}^3 = 6,32 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n(\text{IO}_3^-) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})/6 = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$[\text{IO}_3^-] = n/v_{pr} = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ mol} / 0,010 \text{ dm}^3 = 0,01053 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{IO}_3^-]/2 = 0,005265 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_{sp} = 0,005265 \times (0,01053)^2 = 5,84 \cdot 10^{-7}$$

Odp. Stężenie jodanów w nasyconym roztworze wynosi $0,01053 \text{ mol/dm}^3$. Iloczyn rozpuszczalności $K_{sp} = 5,84 \cdot 10^{-7}$

4. Oznaczając rozpuszczalność $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ w wodzie jako s mamy

$$[\text{Ca}^{2+}] = s$$

$$[\text{IO}_3^-] = 2s$$

$$K_{sp} = s \cdot (2s)^2$$

$$K_{sp} = 7,1 \cdot 10^{-7}$$

$$4s^3 = 7,1 \cdot 10^{-7}$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{K_{sp}}{4}} = 0,0562 \text{ mol/dm}^3$$

Masa molowa jodanu wapnia

$$M = 389,88 \text{ g/mol}$$

Rozpuszczalność w g/dm³:

$$S = 0,0562 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \times \frac{389,88 \text{ g}}{\text{mol}} = 2,19 \text{ g/dm}^3$$

W roztworze CaCl₂ o stężeniu 0,1 mol/dm³ mamy wspólny jon (Ca²⁺), którego stężenie wpłynie na rozpuszczalność jodanu(V) wapnia

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,1 + s'$$

$$[\text{IO}_3^-] = 2s'$$

Dla małych wartości s' można przyjąć, że 0,1 + s' ≈ 0,1

$$7,1 \cdot 10^{-7} = (0,1) \cdot (4s'^2)$$

$$s' = \sqrt{\frac{7,1 \cdot 10^{-7}}{4}} = 0,00133 \text{ mol/dm}^3$$

$$S' = 0,00133 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \times \frac{389,88 \text{ g}}{\text{mol}} = 0,52 \text{ g/dm}^3$$

Odp. Rozpuszczalność Ca(IO₃)₂ w 0,1-molowym roztworze CaCl₂ zmaleje i wyniesie 0,52 g/dm³.

Zadanie C

1. a) W ostatnim etapie uwalnia się CO₂ o masie molowej 44g/mol.

Zatem 44g/mol -> 2,75g

X -> 3,5g (masa próbki przed 3 etapem)

X=56 g/mol zatem metal Me to wapń (40g/mol)

b) zmiana masy w 1 etapie to 1,125g.

3,5g – 56g/mol

1,125g – X

X=18 g/mol a zatem jest to monohydrat

Nazwa: monohydrat szczawiany wapnia lub szczawian wapnia – woda (1/1) lub jednowodny szczawian wapnia

c) Obliczenie produktu gazowego w 2 etapie.

3,5g – 56g/mol

1,75 – M_x g/mol

M_x=28g/mol zatem jest to czad – CO

Etap1: CaC₂O₄·H₂O -> CaC₂O₄ + H₂O

Etap2: CaC₂O₄ -> CaCO₃ + CO

Etap3: CaCO₃ -> CaO + CO₂

2. Utlenianie: $\text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{e}^-$

Redukcja: $\text{MnO}_4^- + 5\text{e}^- + 8\text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$

Lub $\text{MnO}_4^- + 5\text{e}^- + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

Obserwacja 1: Odbarwienie roztworu (zmiana koloru z fioletowego na bezbarwny – ewentualnie białoróżowy). Obserwacja 2: Wydzielanie się pęcherzyków gazu, słychać syczenie, pienienie się roztworu

3. Gdyby roztwór zrobić z hydratu $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ i wody to użyto by 156,25g hydratu oraz 123,75g wody. Z rozpuszczalności policzymy, że w 123,75g wody rozpuści się maksymalnie 39,6g hydratu zatem 116,25g wykryszalizuują ($156,25 - 39,6 = 116,25\text{g}$)

4. a) cęglastoczerwony osad b) szafirowy klarowny roztwór, roztworzenie osadu

c) Niebieski/szafirowy roztwór, roztworzenie osadu d) fioletowy klarowny roztwór

Zadanie D

1. NaOH, NaHCO₃ i Na₂CO₃ (punktowane również rozwiązanie z Na₂O zamiast NaOH)

2. CO₂

3. NaOH	0,01 mola	0,40 g	lub	Na ₂ O
NaHCO ₃	0,02 mola	1,68 g	lub	NaHCO ₃
Na ₂ CO ₃	0,015 mola	1,59 g	lub	Na ₂ CO ₃

4. $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ lub $\text{Na}_2\text{O} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

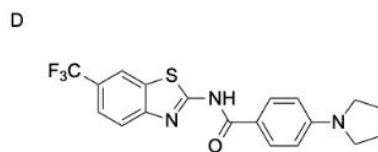
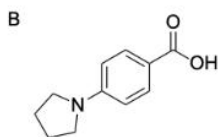
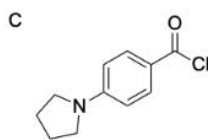
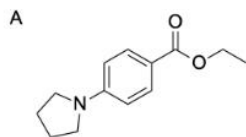
5. $2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

6. $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$
 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$

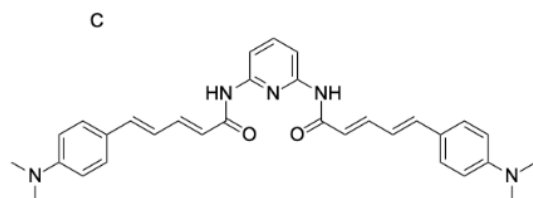
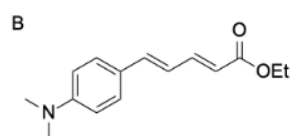
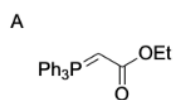
7. $\text{NaHCO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Zadanie E

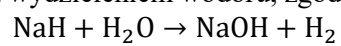
1. 2.5 pkt za poprawnie narysowaną strukturę



2. 2.5 pkt za poprawnie narysowaną strukturę



3. Wodorek sodu ulega reakcji z wodą z wydzielaniem wodoru, zgodnie z równaniem reakcji:



2.5 pkt za poprawne wyjaśnienie i równanie reakcji.