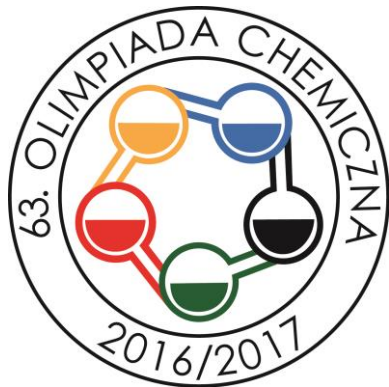




ETAP II

27.01.2017

Zadania teoretyczne

ZADANIE 1

Równowagi kompleksowania

Jony srebra tworzą w obecności jonów cyjankowych dobrze zbadany kompleks $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, opisany stałą trwałości β_2 , dla której $\log \beta_2 = 21,1$.

W celu sprawdzenia, czy jony srebra nie tworzą żadnych innych kompleksów z jonami cyjankowymi student przeprowadził eksperyment, w którym do 50 cm^3 roztworu zawierającego jony Ag^+ o stężeniu $0,05 \text{ mol/dm}^3$ dodał 100 cm^3 roztworu zawierającego jony CN^- o stężeniu $0,05 \text{ mol/dm}^3$. Student prowadzący to doświadczenie najpierw obliczył teoretycznie stężenie wolnych jonów Ag^+ w takim układzie (zakładając tworzenie wyłącznie kompleksu $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, a następnie, po ustaleniu się równowagi zmierzył stężenie wolnych jonów Ag^+ . Wartość otrzymana w eksperymencie była inna od spodziewanej wartości teoretycznej, co sugeruje, że w układzie tym tworzą się jeszcze inne kompleksy.

Analiza spektroskopowa próbki wykazała, że znajdują się w niej jeszcze dwa inne kompleksy srebra: kompleks zawierający 3 jony cyjankowe o stosunkowo wysokiej wartości stałej trwałości oraz kompleks zawierający 4 jony cyjankowe o niskiej wartości stałej trwałości. Próba znalezienia wartości stałych trwałości β_3 oraz β_4 dla nowych kompleksów w tablicach chemicznych zakończyła się połowicznym sukcesem, tzn. znaleziono jedynie wartość stopniowej stałej trwałości kompleksu zawierającego 3 jony cyjankowe, $K_3 = 5$.

Polecenia:

Rozwiąż przedstawione poniżej problemy zaniehbując wpływ autodysocjacji wody i hydrolizy jonów cyjankowych oraz pomijając całkowicie możliwość tworzenia się kompleksów $\text{Ag}(\text{CN})$ o stałej trwałości β_1 .

- (1,5 pkt.) Zapisz wyrażenia na stałe trwałości β_2 , β_3 oraz β_4 dla kompleksów występujących w roztworze.
- (5,5 pkt.) Wyprowadź wzór na równowagowe stężenie wolnych jonów Ag^+ i oblicz, jakie powinno być równowagowe stężenie tych jonów w próbce w eksperymencie, gdyby tworzył się jedynie kompleks $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$.

- c. (6 pkt.) Stosując odpowiednie wyrażenia i przekształcenia zaproponuj wzory, dzięki którym możliwe będzie obliczenie stałych trwałości β_3 oraz β_4 , na podstawie znanego stężenia całkowitego srebra c_{Ag} , stężenia równowagowego jonów srebra w roztworze $[\text{Ag}^+]$, stężenia równowagowego wolnego ligandu $[\text{CN}^-]$ oraz podanych w głównej treści zadania stałych trwałości i stopniowych stałych trwałości kompleksów. Podaj wartość logarytmu dziesiętnego sumarycznej stałej trwałości kompleksu zawierającego trzy jony cyjankowe, $\log \beta_3$.

W 1783 roku Carl Wilhelm Scheele odkrył, że roztwór jonów cyjankowych może zostać użyty do rozpuszczenia złota, choć dopiero w 1846 roku Elsner zaproponował, że podczas tej reakcji tworzy się związek złota z cyjankami w stosunku 1:2. W tzw. reakcji Elsnera złoto reaguje z NaCN i w obecności tlenu utlenia się do odpowiedniego kompleksu złota. Tzw. cyjanizacja złóż rudy złota, pomimo wysokiej toksyczności cyjanowodoru, jest do dzisiaj głównym procesem technologicznym ekstrakcji złota.

Polecenia:

- d. (3 pkt.) Napisz równanie reakcji Elsnera oraz równania reakcji połówkowych, utleniania i redukcji.
- e. (1 pkt.) Głównym problemem w procesie cyjanizacji złota jest powstawanie wysoce toksycznego cyjanowodoru (HCN). Aby temu zapobiec, dobiera się m.in. odpowiednie pH roztworu. Znając wartość pK_a cyjanowodoru ($pK_a = 9,4$) odpowiedz na pytanie, w jakim środowisku (kwasowym, zasadowym czy obojętnym) należy prowadzić ten proces tak, aby jego przebieg był jak najmniej toksyczny. Odpowiedz krótko uzasadnij, na podstawie równowag reakcji dysocjacji cyjanowodoru.

Podobny proces stosuje się także w ekstrakcji srebra ze złóż rudy srebra. Najważniejszą rudą srebra jest argentyt, minerał zbudowany z siarczku srebra(I). Związek ten reaguje z KCN i w obecności tlenu tworzy kompleks srebra $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, a produktem ubocznym tej reakcji jest sól $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

- f. (3 pkt.) Napisz równanie opisanej powyżej reakcji.

ZADANIE 2

Utleniacze i reduktory wśród związków chromu

Do zlewki zawierającej 8,89 g sproszkowanego chromu dodano około 150 cm^3 kwasu siarkowego(VI) o stężeniu 2 mol/dm^3 . Po rozтворzeniu metalu roztwór pozostawiono na powietrzu na kilka godzin, cały czas intensywnie go mieszając. W tym czasie zaobserwowano zmianę jego barwy z błękitnej na fioletową. Następnie roztwór zatężono, przesączono i dodano do niego powoli około 30 cm^3 stężonego kwasu siarkowego(VI). Ze schłodzonego roztworu wykrystalizowano fioletowy związek A. Po oddzieleniu, otrzymane kryształy przemyto bezwodnym alkoholem i wysuszono w temperaturze pokojowej do stałej masy. Na podstawie przeprowadzonych badań

stwierdzono, że w wyniku długotrwałego ogrzewania soli **A** w temperaturze 110 °C otrzymuje się różowy związek **A1**. Podczas ogrzewania masa próbki zawierającej związek **A** zmniejszyła się o 45,3 %_{wag.}. Na podstawie przeprowadzonej analizy elementarnej stwierdzono, że zawartość chromu wyrażona w %_{wag.} w związku **A1** jest 1,83 razy większa niż w związku **A**.

Próbkę soli **A** o masie 32,3 g rozpuszczono w niewielkiej ilości wody i do otrzymanego roztworu dodano około 70 cm³ roztworu KOH o stężeniu 2 mol/dm³. Wytrącony szarozielony osad odsączono i przemywano wodą, aż do momentu uzyskania negatywnego wyniku na zawartość anionów siarczanowych w przesączu. Osad przeniesiono do zlewki i dodawano roztwór KOH o stężeniu około 20 %_{wag.}, aż do momentu całkowitego rozтворzenia osadu. Następnie do uzyskanego roztworu wkroplono około 75 cm³ 10 % roztworu nadtlenu wodoru o gęstości 1,035 g/cm³, czemu towarzyszyła zmiana barwy roztworu na żółtą. Po zatężeniu, z roztworu wykrystalizowano drobne, rombowe kryształy bezwodnej soli **B** o barwie żółtej. Po przemyciu i wysuszeniu, masa otrzymanego produktu wyniosła 10,33 g, co odpowiadało wydajności całego procesu 59,0 % (w stosunku do użytej ilości soli **A**).

Próbkę soli **B** rozpuszczono w minimalnej ilości wody, a następnie do roztworu dodano znaczną ilość stężonego kwasu solnego, czemu towarzyszyła zmiana barwy roztworu z żółtej na pomarańczową. W kolejnym etapie do otrzymanej mieszaniny dodawano stopniowo alkohol etylowy oraz roztwór chlorku potasu. Zachodzącej intensywnie reakcji towarzyszyło wydzielanie się znacznej ilości ciepła oraz wydzielenie fioletowego osadu związku **C**, który po ochłodzeniu oddzielono od roztworu. Pobrana próbka przesączu wykazała pozytywny wynik w próbie Tollensa. Na podstawie badań dyfrakcyjnych związku **C** ustalono, że posiada on budowę jonową, w której podsieć anionowa składa się z izolowanych anionów o budowie zdeformowanych oktaedrów, pomiędzy którymi występują wiązania wodorowe. Na podstawie badań z wykorzystaniem fluorescencji rentgenowskiej określono zawartość najcięższych pierwiastków wchodzących w skład soli **C**: 24,0 %_{wag.} K, 16,0 %_{wag.} Cr i 54,5 %_{wag.} Cl. Stwierdzono także, że dodanie do wodnego roztworu soli **C** azotanu(V) srebra(I) nie powoduje wytrącenia osadu.

Polecenia:

- a. (2 pkt.)* Napisz w formie jonowej równania reakcji zachodzących podczas otrzymywania związku **A** z metalicznego chromu.
- b. (3 pkt.)* Podaj wzory związków **A** i **A1**. Odpowiedź potwierdź stosownymi obliczeniami.
- c. (1,5 pkt.)* Wiedząc, że chrom w związku **A** wykazuje liczbę koordynacyjną 6, naszkicuj budowę przestrzenną kationu w tym związku.
- d. (2,5 pkt.)* Napisz w formie jonowej równania wszystkich reakcji zachodzących podczas otrzymywania związku **B** z soli **A**.
- e. (3 pkt.)* Podaj wzór związku **B**. Odpowiedź potwierdź stosownymi obliczeniami.

- f.* (1,5 pkt.) Jaka równowaga ustala się w wodnym roztworze związku **B** po jego zakwaszeniu? Podaj równanie tej reakcji równowagowej, zapisane w formie jonowej.
- g.* (3,5 pkt.) Ustal wzór związku **C**, a odpowiedź krótko uzasadnij.
- h.* (3 pkt.) Napisz w formie cząsteczkowej równanie reakcji otrzymywania związku **C** z zakwaszonego roztworu soli **B**.

W obliczeniach przyjmij następujące wartości mas molowych:

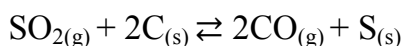
H – 1,008 g/mol; O – 16,00 g/mol; S – 32,06 g/mol; Cl – 35,45 g/mol; K – 39,10 g/mol;

Cr – 52,00 g/mol

ZADANIE 3

Analiza stanu równowagi reakcji chemicznej

Badano równowagę następującej reakcji:



W tablicy zestawiono wybrane dane dotyczące reagentów:

Wzór sumaryczny	$\Delta H^\circ_{\text{tw}}$ (298 K) [kJ mol ⁻¹]	S° (298 K) [J mol ⁻¹ K ⁻¹]	C_p° (298-365 K) [J mol ⁻¹ K ⁻¹]
SO ₂	-296,8	248,2	34,6
C	0	2,368	10,1
S	0	31,92	22,7
CO	-110,5	197,7	27,5

Do naczynia o stałej objętości $V = 1 \text{ dm}^3$ zawierającego 4,4 g węgla wprowadzono równomolową mieszaninę SO₂ i CO utrzymując układ w stałej temperaturze $T_1 = 298 \text{ K}$. Zmierzone ciśnienie gazu w reaktorze wynosiło $p_1 = 1013250 \text{ Pa}$, przy czym nie zachodziła jeszcze żadna reakcja chemiczna. Następnie układ ogrzano do temperatury $T_2 = 365 \text{ K}$ i doprowadzono do stanu równowagi względem reakcji podanej powyżej.

Polecenia:

- a.* (1 pkt.) Podaj początkową liczbę moli każdego z reagentów (substratów i produktów) w temperaturze T_1 .
- b.* (2 pkt.) Napisz wyrażenie na ciśnieniową stałą równowagi reakcji K , wyrażając ciśnienie cząstkowe każdego reagenta przez jego ułamek molowy.
- c.* (5 pkt.) Oblicz wartość stałej K w temperaturze T_2 .
- d.* (4 pkt.) Oblicz masę węgla w reaktorze w stanie równowagi w temperaturze T_2 oraz odpowiadające jej ciśnienie równowagowe p_2 .

- e. (2 pkt.) Oblicz ciśnienie p_3 (możliwe do osiągnięcia poprzez regulację objętości reaktora) konieczne do przereagowania 10 % węgla (molowo) w temperaturze T_2 .

W poniższych podpunktach należy wybrać jedną z odpowiedzi podanych w nawiasach:

- f. (1 pkt.) Jak zmieni się liczba moli CO, jeżeli przy $V = \text{const}$ do układu znajdującego się w stanie równowagi pod ciśnieniem p_3 i w temperaturze T_2 wprowadzi się tyle azotu, że ciśnienie sumaryczne wzrośnie dwukrotnie? (wzrośnie, zmaleje, nie zmieni się)
- g. (1 pkt.) Jak zmieni się liczba moli CO, jeżeli do układu znajdującego się w stanie równowagi pod ciśnieniem p_3 i w temperaturze T_2 wprowadzony zostanie azot przy jednoczesnym dwukrotnym wzroście objętości naczynia tak, że ciśnienie sumaryczne nie ulegnie zmianie? (wzrośnie, zmaleje, nie zmieni się)
- h. (1 pkt.) Jak zmieni się liczba moli CO, jeżeli układ znajdujący się w stanie równowagi pod ciśnieniem p_3 i w temperaturze T_2 ogrzeje się jednocześnie zwiększając objętość naczynia tak, że ciśnienie sumaryczne nie ulegnie zmianie? (wzrośnie, zmaleje, nie zmieni się)
- i. (1 pkt.) Jak zmieni się liczba moli CO, jeżeli układ znajdujący się w stanie równowagi pod ciśnieniem p_3 i w temperaturze T_2 spręży się zmniejszając objętość dwukrotnie? (wzrośnie, zmaleje, nie zmieni się)
- j. (2 pkt.) Podaj wyjaśnienie odpowiedzi z punktu „g” korzystając z reguły przekory.

Uwagi: Gazy należy potraktować jako doskonałe. $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Azot zachowuje się jak gaz obojętny, tzn. nie bierze udziału w badanej reakcji.

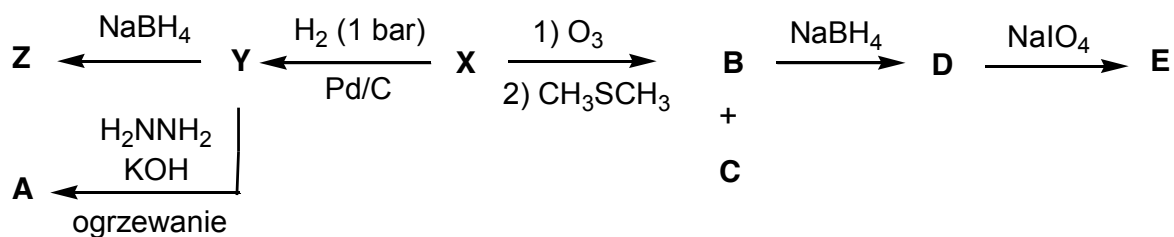
W obliczeniach przyjmij następujące wartości mas molowych:

C – 12,01 g/mol, S – 32,06 g/mol, O – 16,00 g/mol.

ZADANIE 4

Identyfikacja i synteza związków naturalnych o przyjemnym zapachu

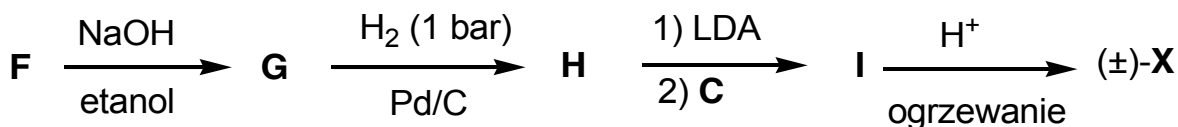
Związki **X**, **Y** i **Z** są składnikami olejku o przyjemnym zapachu, który uzyskano z popularnej rośliny z rodziny jasnotowatych, szeroko wykorzystywanej w farmacji, kosmetyce oraz do celów spożywczych. Związek **X** został wyizolowany jako enancjomer o konfiguracji *R* i jest zbudowany z atomów węgla (78,9%), wodoru (10,6%) oraz tlenu. Jego redukcja wodorem (1 bar) na katalizatorze palladowym prowadzi do związku **Y**, który następnie w obecności NaBH_4 przekształca się w związek **Z** o masie molowej wynoszącej 156 g/mol (*Schemat 1*). W reakcjach tych możliwe jest powstanie mieszaniny diastereoizomerów, jednak przebiegają one stereoselektywnie. Natomiast reakcja związku **Y** z hydrazyną i wodorotlenkiem potasu w podwyższonej temperaturze prowadzi do achiralnego węglowodoru **A** o masie molowej 140 g/mol, w którego widmie ^{13}C NMR widocznych jest siedem pików.



Schemat 1

Związek **X** poddano również reakcji z ozonem, a następnie działaniu nadmiaru siarczku dimetylu, w wyniku czego powstały dwa produkty: **B** ($M = 126 \text{ g/mol}$) i **C**. Związek **B** przy użyciu NaBH_4 został zredukowany do mieszaniny diastereoizomerów **D** o masie molowej 130 g/mol , a one z kolei reagują z NaIO_4 , co prowadzi do powstania związku **E** o masie molowej 128 g/mol . W widmie ^1H NMR związku **C** widoczny jest tylko jeden sygnał.

Racemiczny związek **X** można uzyskać syntetycznie wychodząc ze związku **F** (Schemat 2). Wiadomo, że w widmie ^1H NMR związku **F** widoczne są trzy sygnały o względnych intensywnościach $1 : 2 : 3$, ale tylko najintensywniejszy z nich jest singletem; natomiast w widmie ^{13}C NMR występują 4 piki. Oznaczono również masę molową **F**, która wynosi 128 g/mol oraz stwierdzono, że wykazuje on pozytywny wynik próby jodoformowej. Związek **F** w obecności zasady przekształca się w związek **G** o masie molowej 110 g/mol , a ten z kolei jest redukowany do związku **H**. Kluczowym etapem jest reakcja związku **H** w obecności diizopropylamidku litu (LDA) ze związkiem **C**, która zachodzi regioselektywnie tworząc **I**, a o jej kierunku decydują względy steryczne.



Schemat 2

Wszystkie związki przedstawione na Schemacie 2 zbudowane są wyłącznie z atomów węgla, wodoru i tlenu oraz zawierają intensywne pasma absorpcyjne w zakresie $1665\text{-}1760 \text{ cm}^{-1}$.

Polecenia:

- (2 pkt.) Podaj wzory sumaryczne związków **X** i **F**.
- (15,5 pkt.) Narysuj wzory strukturalne związków **X**, **Y** i **Z** oraz **A-I** bez uwzględnienia ewentualnych enancjomerów i diastereoizomerów.
- (1,5 pkt.) Narysuj wszystkie możliwe stereoizomery związku **D** zakładając, że w reakcji ozonolizy użyto (*R*)-**X**. Zaznacz stereoizomer, w którym wszystkie centra stereogeniczne mają konfigurację *R*.
- (1 pkt.) Spośród możliwych stereoizomerów związku **Z**, które można uzyskać z (*R*)-**X**, narysuj diastereoizomer, w którym podstawniki (przy centrach stereogenicznych) zajmują najbardziej korzystne ustawienie, minimalizujące wpływ efektów sterycznych (przestrzennych). Odpowiedź uzasadnij przedstawiając odpowiedni wzór konformacyjny.

ZADANIE 5

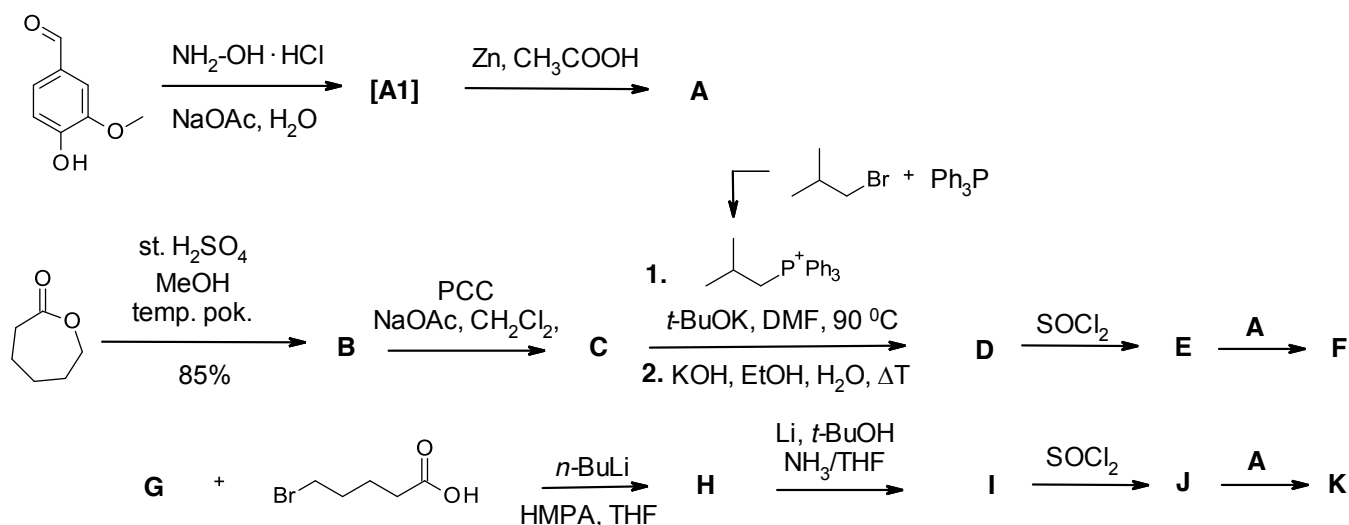
Synteza substancji smakowych i leczniczych z waniliny.

Wanilina jest aromatycznym, naturalnym związkiem organicznym dodawanym do wypieków. Związek ten służy również jako substrat do syntezy wielu bardziej złożonych związków naturalnych oraz ich analogów o właściwościach leczniczych.

Potraktowanie waniliny hydroksyloaminą w środowisku wodnym prowadzi do utworzenia związku **A1**, który w obecności pyłu cynkowego w warunkach kwaśnych można przekształcić w związek **A** o nominalnej masie cząsteczkowej większej o 1 u od waniliny (Rys. 1).

Związek **A** jest kluczowym substratem w syntezie związków **F** oraz **K**. Związek **K** jest związkiem naturalnym odpowiedzialnym za pikantny smak wielu potraw, natomiast związek **F** jest jego izomerem, który znalazł zastosowanie m.in. jako składnik leków łagodzących bóle neuropatyczne.

Potraktowanie laktonu kwasu 6-hydroksoheksanowego stężonym kwasem siarkowym(VI) w metanolu prowadzi do utworzenia związku **B**, który w obecności PCC przekształca się w związek **C**. Związek **C** w obecności silnej zasady reaguje z produktem reakcji bromku izobutylu z trifenylofosfiną. Produkt tej reakcji, poddany ogrzewaniu w zasadowym roztworze wodno-etanolowym, przekształca się w związek **D** – kluczowy półprodukt niezbędny do syntezy związku **F**.



Rysunek 1

Informacje dodatkowe:

-PCC (chlorochromian pirydyny) jest łagodnym utleniaczem

-stosowane skróty: *Ac* - grupa acetylowa; *Bu* – grupa butylowa; *Et* – grupa etylowa, *Me* – grupa metylowa; *Ph* – grupa fenylowa; *THF*, *HMPA*, *DMF* – polarne rozpuszczalniki organiczne

Kwas 5-bromopentanowy poddany reakcji ze związkiem **G** w warunkach silnie zasadowych prowadzi do związku **H**, który pod wpływem działania litu w amoniaku w obecności alkoholu ulega przekształceniu w związek **I** – kluczowy półprodukt niezbędny do syntezy związku **K**. Dodatkowo

wiadomo, że masa cząsteczkowa związku **I** jest o 2u większa od masy cząsteczkowej związku **H**, a uwodnienie związku **G** w obecności katalizatora rtęciowego prowadzi do 3-metylo-2-butanonu.

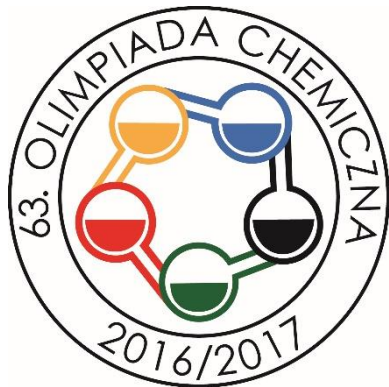
Związki **D** oraz **I** są izomerami złożonymi tylko z węgla (70,5%), wodoru (10,7%) oraz tlenu. Oba związki odbarwiają wodę bromową, a traktowane SOCl_2 przekształcają się, odpowiednio, w pochodne **E** oraz **J**. Pochodne **E** oraz **J** reagują ze związkiem **A** w stosunku molowym 1:1 prowadząc do utworzenia, odpowiednio, związków **F** oraz **K**. Wiadomo również, że ciepło spalania związku **D** jest nieco większe od ciepła spalania związku **I** w tych samych warunkach.

Polecenia:

- a.* (6 pkt.) Podaj wzory strukturalne związków **A**, **B** oraz **C**.
- b.* (4 pkt.) Podaj wzory strukturalne związków **G** oraz **H**.
- c.* (4 pkt.) Podaj wzory strukturalne związków **D** oraz **I**.
- d.* (3 pkt.) Podaj wzory strukturalne związków **E** oraz **K**.
- e.* (2 pkt.) Jaki rodzaj izomerii reprezentują związki **F** oraz **K**? Nazwij rodzaj izomerii oraz przypisz odpowiednie konfiguracje związkom **F** i **K**.
- f.* (1 pkt.) Mniejsze ciepło spalania związku **I** w porównaniu ze związkiem **D** świadczy o (wybierz jedną odpowiedź):
 - i. Mniejszej stabilności termodynamicznej związku **I**;
 - ii. Większej szybkości spalania związku **I** w porównaniu do **D**;
 - iii. Większej stabilności termodynamicznej związku **I**;
 - iv. Mniejszej szybkości spalania związku **I** w porównaniu do **D**.

PUNKTACJA: wszystkie zadania po 20 pkt., łącznie 100 pkt.

CZAS TRWANIA ZAWODÓW: 300 minut



ETAP II

27.01.2017

Rozwiązania zadań teoretycznych

ROZWIĄZANIE ZADANIA 1

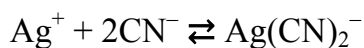
a.

$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2}$$

$$\beta_3 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_3^{2-}]}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^3}$$

$$\beta_4 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_4^{3-}]}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^4}$$

b. Gdyby tworzył się wyłącznie kompleks $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ to w roztworze istniałaby tylko jedna równowaga opisana równaniem :



$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2}$$

Przed reakcją:

- liczba moli jonów $\text{Ag}^+ = 0,05 \cdot 0,05 = 0,0025$ mola

- liczba moli jonów $\text{CN}^- = 0,05 \cdot 0,1 = 0,005$ mola

Ponieważ wartość stałej β_2 jest duża możemy założyć, że równowagowa liczba moli jonu $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ jest praktycznie równa 0,0025 mola. Równowagowe stężenie tego jonu w roztworze jest więc równe $[\text{Ag}(\text{CN})_2^-] = 0,0025/0,15 = 0,016(6)$ mol/dm³.

Podstawmy $[\text{Ag}^+] = x$. Ze stechiometrii reakcji tworzenia kompleksu wiemy, że $[\text{CN}^-] = 2x$. Podstawiając do wzoru na β_2 otrzymujemy:

$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2} = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{x \cdot (2x)^2}$$

$$4x^3 = \frac{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]}{\beta_2} = \frac{0,016(6)}{10^{21,1}}$$

$$x = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$$

c. Zauważmy, że z definicji $\beta_3 = \beta_2 \cdot K_3$. Podstawiając wartości liczbowe otrzymujemy:

$$\beta_3 = 5 \cdot 10^{21,1} = 10^{21,8} \quad \log \beta_3 = 21,8$$

Stężenie sumaryczne srebra jest równe stężeniu wszystkich form, w jakich może występować w roztworze:

$$c_{\text{Ag}} = [\text{Ag}^+] + [\text{Ag}(\text{CN})_2^-] + [\text{Ag}(\text{CN})_3^{2-}] + [\text{Ag}(\text{CN})_4^{3-}]$$

Podstawiając za $[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]$, $[\text{Ag}(\text{CN})_3^{2-}]$ oraz $[\text{Ag}(\text{CN})_4^{3-}]$ wyrażenia uzyskane po przekształceniu wzorów na K_2 , K_3 oraz K_4 otrzymujemy:

$$c_{\text{Ag}} = [\text{Ag}^+] + \beta_2 \cdot [\text{Ag}^+] \cdot [\text{CN}^-]^2 + \beta_2 \cdot K_3 \cdot [\text{Ag}^+] \cdot [\text{CN}^-]^3 + \beta_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot [\text{Ag}^+] \cdot [\text{CN}^-]^4$$

Przekształcając powyższe równanie otrzymujemy:

$$K_4 = \frac{c_{\text{Ag}} - ([\text{Ag}^+] + \beta_2 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^2 + \beta_2 K_3 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^3)}{\beta_2 K_3 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^4}$$

Ponieważ z definicji $\beta_4 = K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = \beta_2 \cdot K_3 \cdot K_4$ możemy zapisać ostateczny wzór jako:

$$\beta_4 = \beta_2 \cdot K_3 \cdot \left(\frac{c_{\text{Ag}} - ([\text{Ag}^+] + \beta_2 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^2 + \beta_2 K_3 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^3)}{\beta_2 K_3 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^4} \right)$$

lub po uproszczeniu:

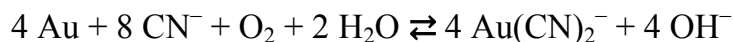
$$\beta_4 = \frac{c_{\text{Ag}} - ([\text{Ag}^+] + \beta_2 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^2 + \beta_2 K_3 [\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^3)}{[\text{Ag}^+] [\text{CN}^-]^4}$$

d. Reakcja Elsnera

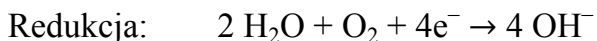
W formie cząsteczkowej:



W formie jonowej:



Reakcje połówkowe:



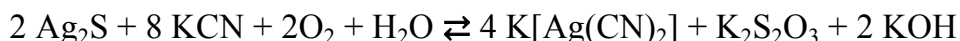
e. Cyjanowodór (HCN) jest słabym kwasem, który dysocjuje zgodnie z równaniem:



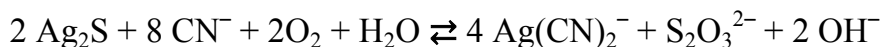
Zgodnie z regułą przekory, dodanie do roztworów jonów H^+ (H_3O^+) spowoduje przesunięcie równowagi reakcji w lewą stronę, natomiast dodanie jonów OH^- przesunięcie w prawą stronę. Zgodnie z tym rozumowaniem w celu zmniejszenia toksyczności, reakcję Elsnera powinno się prowadzić w **środkowisku zasadowym**.

f. Reakcja cyjanizacji srebra:

W formie cząsteczkowej:



W formie jonowej:



Punktacja:

a. Za podanie równań na stałe trwałości.	3×0,5 pkt. = 1,5 pkt.
b. Za wyprowadzenie wzoru na równowagowe stężenie wolnych jonów Ag^+ . Za poprawne obliczenia.	3 pkt. 2,5 pkt.
c. Za podanie wzoru na β_3 . Za obliczenie β_3 . Za podanie wzoru na β_4 .	0,5 pkt. 0,5 pkt. 5 pkt.
d. Za napisanie reakcji Elsnera w dowolnej formie. Za napisanie każdej z reakcji połówkowych (w dowolnej formie, o ile liczba wymienianych elektronów jest prawidłowa).	2 pkt. 2×0,5 pkt. = 1 pkt.
e. Za podanie prawidłowego środowiska z uzasadnieniem.	1 pkt.
f. Za napisanie reakcji cyjanizacji srebra w dowolnej formie.	3 pkt.
RAZEM	20 pkt.

ROZWIĄZANIE ZADANIA 2

a. Metaliczny chrom roztwarza się w rozcieńczonym kwasie siarkowym(VI) z wydzielaniem wodoru, zgodnie z równaniem:



Jony Cr^{2+} wykazują silne własności redukujące ($E^0_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{2+}} = -0,41 \text{ V}$) i w obecności tlenu z powietrza łatwo ulegają utlenieniu do jonów Cr^{3+} zgodnie z równaniem:



b. Z roztworu wodnego krystalizuje uwodniony siarczan(VI) chromu(III) – $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (związek A), który ulega dehydratacji w temperaturze powyżej 100 °C, co prowadzi do powstania bezwodnego siarczanu(VI) chromu(III) – związek A1. Stopień uwodnienia soli A można wyznaczyć na podstawie obserwowanego ubytku masy:

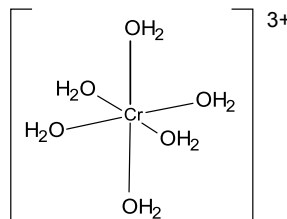
$$x = \frac{M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}} - M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{716,47 - 392,18}{18,02} = 18,00$$

Stosunek mas molowych soli uwodnionej do soli bezwodnej wynosi:

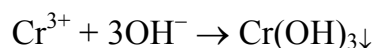
$$\frac{M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3}} = \frac{716,47}{392,18} = 1,83, \text{ co jest zgodne z obserwacjami.}$$

Zatem związek **A** to: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, natomiast związek **A1** to: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$.

- c. Kation Cr^{3+} zarówno w roztworze wodnym, jak i w stałych uwodnionych solach, występuje w postaci heksaakwajonu o stechiometrii $[\text{Cr}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$, który ma budowę oktaedryczną i który nadaje charakterystyczną fioletową barwę roztworom wodnym oraz związkom zawierającym ten kation:



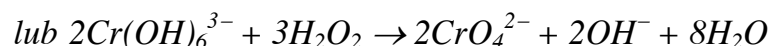
- d. Z roztworu zawierającego jony Cr^{3+} strąca się trudno rozpuszczalny wodorotlenek chromu(III) o barwie szarozielonej:



Wodorotlenek chromu(III) ma własności amfoteryczne i rozтворя się w mocnych ługach zgodnie z równaniem:



Jony tetrahydroksychromu(III) / heksahydroksychromu(III) pod wpływem nadtlenu wodoru w środowisku zasadowym ulegają utlenieniu do jonów chromianowych(VI):

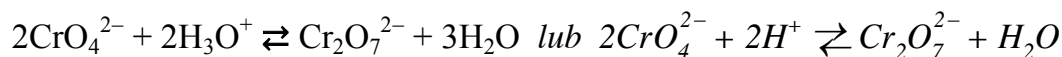


- e. Związek **B** to chromian potasu – K_2CrO_4 , co można potwierdzić obliczając wydajność procesu otrzymywania tej soli:

$$w_{\%} = \frac{n_{\text{B}}}{2 \cdot n_{\text{A}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{B}} / M_{\text{B}}}{2 \cdot m_{\text{A}} / M_{\text{A}}} \cdot 100\% = \frac{10,33 \text{ g} / 194,20 \text{ g/mol}}{2 \cdot 32,3 \text{ g} / 716,47 \text{ g/mol}} \cdot 100\% = 59,0\%$$

Uzyskana wartość jest zgodna z danymi podanymi w zadaniu.

- f. Po zakwaszeniu w roztworze zachodzi kondensacja anionów chromianowych(VI), z utworzeniem anionów dichromianowych(VI) o barwie pomarańczowej, zgodnie z równaniem:



- g. Na podstawie częściowej znajomości składu elementarnego soli **C** możemy określić jego częściową stechiometrię:

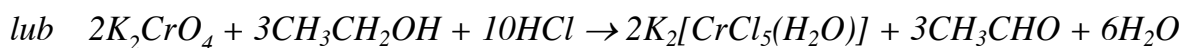
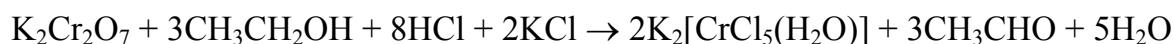
$$n_{\text{K}} : n_{\text{Cr}} : n_{\text{Cl}} = \frac{24,0}{M_{\text{K}}} : \frac{16,0}{M_{\text{Cr}}} : \frac{54,5}{M_{\text{Cl}}} = 0,61 : 0,31 : 1,54 \approx 2 : 1 : 5$$

Związek **C** ma zatem następującą stechiometrię: $K_2[CrCl_5X]$ i zawiera anion o budowie zdeformowanego oktaedru o stechiometrii - $[CrCl_5X]^{2-}$. Zakładając, że chrom w tym związku występuje na III stopniu utlenienia, to ligandem X jest elektroobojętna cząsteczka wody, co potwierdza również fakt występowania wiązania wodorowego pomiędzy anionami, a także odpowiada pozostałej zawartości pierwiastków:

$$n_K : n_{Cr} : n_{Cl} : n_{H_2O} = \frac{24,0}{M_K} : \frac{16,0}{M_{Cr}} : \frac{54,5}{M_{Cl}} : \frac{5,5}{M_{H_2O}} = 0,61 : 0,31 : 1,54 : 0,31 \approx 2 : 1 : 5 : 1$$

Związek **C** ma zatem wzór $K_2[CrCl_5(H_2O)]$.

- h.** Pozytywny wynik próby Tollensa wskazuje, że dichromian utlenił alkohol etylowy do aldehydu zgodnie z równaniem:



Punktacja:

a. Za podanie zbilansowanych równań reakcji (w formie jonowej) zachodzących podczas otrzymywania związku A z metalicznego chromu.	2×1 pkt. = 2 pkt.
b. Za podanie wzoru związku A (wraz ze stopniem uwodnienia). Za podanie wzoru związku A1 . Za uzasadnienie odpowiedzi.	1 pkt. 0,5 pkt. 1,5 pkt.
c. Za naszkicowanie budowy przestrzennej kationu w związku A .	1,5 pkt.
d. Za napisanie zbilansowanych równań reakcji tworzenia wodorotlenku chromu(III) oraz jonów tetrahydroksychromu(III) lub heksahydroksychromu(III). Za podanie zbilansowanej reakcji utleniania jonów tetrahydroksychromu(III) lub heksahydroksychromu(III) do jonów chromianowych(VI).	2×0,5 pkt.=1 pkt. 1,5 pkt.
e. Za podanie wzoru związku B . Za uzasadnienie odpowiedzi.	1 pkt. 2 pkt.
f. Za podanie równania reakcji równowagowej, ustalającej się w roztworze związku B po jego zakwaszeniu.	1,5 pkt.
g. Za podanie wzoru związku C . Za uzasadnienie odpowiedzi.	1 pkt. 2,5 pkt.
h. Za podanie zbilansowanego równania reakcji otrzymywania związku C z zakwaszonego roztworu soli B .	3 pkt.
RAZEM	20 pkt.

ROZWIĄZANIE ZADANIA 3

a.

$$n_C = \frac{4,40}{12,01} = 0,367 \text{ mola}$$

$$n_S = 0 \text{ moli}$$

$$n_{CO} = n_{SO_2} = \frac{0,5 \cdot p_1 \cdot V}{R \cdot T_1} = \frac{0,5 \cdot 1013250 \cdot 0,001}{8,314 \cdot 298} = 0,204 \text{ mola}$$

b.

$$K = \left(\frac{x_{SO_2} \cdot p}{p^0} \right)^{-1} \cdot \left(\frac{x_{CO} \cdot p}{p^0} \right)^2 = \frac{x_{CO}^2 \cdot p}{x_{SO_2} \cdot p^0}$$

c.

$$\Delta H^\circ(298 \text{ K}) = 2 \cdot (-110,5) + 296,8 = 75,80 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta S^\circ(298 \text{ K}) = 31,92 + 2 \cdot 197,7 - 2 \cdot 2,368 - 248,2 = 174,4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$$

$$\Delta H_1 = C_{pC}^0(T_1 - T_2) = 10,1(298 - 365) = -677 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H_2 = C_{pSO_2}^0(T_1 - T_2) = 34,6 \cdot (298 - 365) = -2318 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H_3 = C_{pS}^0(T_2 - T_1) = 22,7(365 - 298) = 1521 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H_4 = C_{pCO}^0(T_2 - T_1) = 27,5(365 - 298) = 1843 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S_1 = C_{pC}^0 \ln \frac{T_1}{T_2} = 10,1 \ln \frac{298}{365} = -2,05 \text{ JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta S_2 = C_{pSO_2}^0 \ln \frac{T_1}{T_2} = 34,6 \ln \frac{298}{365} = -7,02 \text{ JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta S_3 = C_{pS}^0 \ln \frac{T_2}{T_1} = 22,7 \ln \frac{365}{298} = 4,60 \text{ JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta S_4 = C_{pCO}^0 \ln \frac{T_2}{T_1} = 27,5 \ln \frac{365}{298} = 5,58 \text{ JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H^\circ(365 \text{ K}) = 2\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H^\circ(298 \text{ K}) + \Delta H_3 + 2\Delta H_4 = 77335 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta S^\circ(365 \text{ K}) = 2\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S^\circ(298 \text{ K}) + \Delta S_3 + 2\Delta S_4 = 179 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ(365 \text{ K}) = \Delta H^\circ(365 \text{ K}) - 365 \Delta S^\circ(365 \text{ K}) = 12000 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$K_2 = \exp\left(\frac{-\Delta G^\circ(365 \text{ K})}{R \cdot T_2}\right) \quad K_2 = \exp\left(\frac{-12000}{8,314 \cdot 365}\right) = 1,92 \cdot 10^{-2}$$

d. Wprowadzamy niewiadomą „y” wiążącą początkowe i równowagowe ilości reagentów:

wzór	n_i^0	n_i^r	x_i^r
C	0,367	0,367-2y	
SO ₂	0,204	0,204-y	(0,204-y)/(0,408+y)
CO	0,204	0,204+2y	(0,204+2y)/(0,408+y)
S	0	y	

Otrzymujemy układ równań:

$$(0,408 + y)RT = pV$$

$$K_2 = \left(\frac{\left(\frac{0,204-y}{0,408+y} \right) \cdot p}{p^0} \right)^{-1} \cdot \left(\frac{\left(\frac{0,204+2y}{0,408+y} \right) \cdot p}{p^0} \right)^2$$

Prowadzi on do równania kwadratowego:

$$y^2 + 0,204y + 0,010 = 0$$

Rozwiązania: $y_1 = -0,122$; $y_2 = -0,082$. Po wstawieniu do tabeli w kolumnę „ n_i^r ” tych wartości, otrzymujemy za każdym razem ujemną liczbę moli siarki, stąd wnioskujemy, że skład równowagowy nie zmieni się i ilość węgla pozostanie taka sama jak na początku.

Stąd $p = 1238121 \text{ Pa} = 12,38 \text{ bar}$ otrzymujemy przez podstawienie początkowej ilości moli gazu.

e. Można zapisać $n_C^0 - 2y = 0,9n_C^0$

$$\text{Czyli } y = 1,83 \cdot 10^{-2}$$

Po podstawieniu tej wartości do wyrażenia na K , obliczamy ciśnienie:

$$K_2 = \left(\frac{\left(\frac{0,204-0,0183}{0,408+0,0183} \right) \cdot p}{p^0} \right)^{-1} \cdot \left(\frac{\left(\frac{0,204+2 \cdot 0,0183}{0,408+0,0183} \right) \cdot p}{p^0} \right)^2$$

$$p = 2626 \text{ Pa}$$

f. Nie zmieni się.

g. Zwiększy się.

h. Zwiększy się.

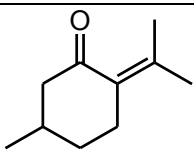
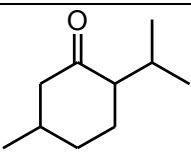
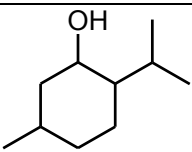
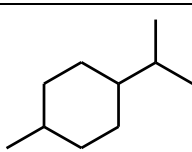
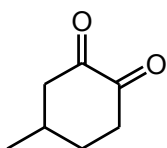
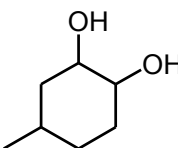
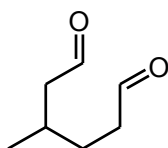
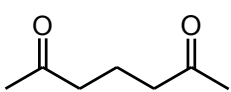
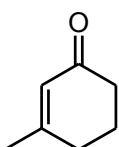
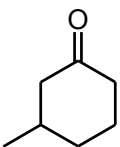
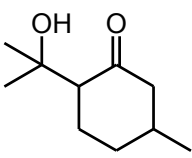
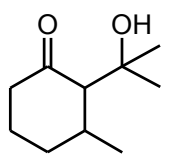
i. Zmniejszy się.

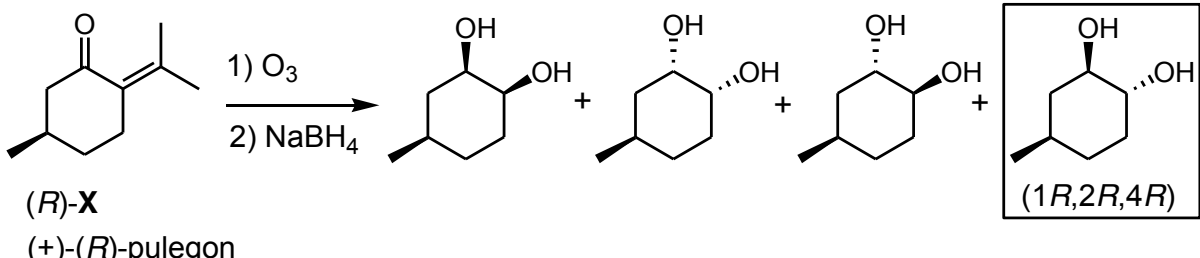
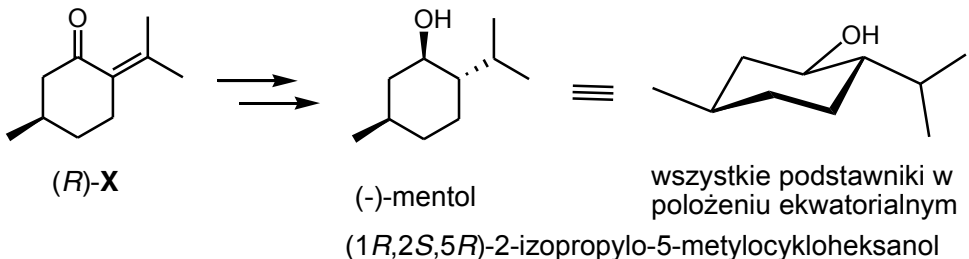
j. Spowoduje to spadek ciśnienia cząstkowego reagentów gazowych. Zgodnie z regułą przekory układ zareaguje tak, aby zniwelować częściowo spadek ciśnienia. Może się to odbyć poprzez zwiększenie ilości cząsteczek reagentów gazowych, czyli poprzez przesunięcie równowagi w prawo, co jest równoważne wzrostowi ilości moli CO.

Punktacja:

a. Za podanie liczby moli siarki. Za obliczenie liczby moli pozostałych składników.	0,25 pkt. 3×0,25 pkt. = 1 pkt.
b. Za uwzględnienie bezwymiarowości stałej (wstawienie p_0). Za wpisanie poprawnej formuły, jako iloczynu ułamków molowych i ciśnienia równowagowego.	1 pkt. 1 pkt.
c. Za obliczenie ΔS i ΔH w temperaturze 298 K. Za obliczenie ΔS i ΔH w temperaturze eksperymentu. Za obliczenie ΔG . Za obliczenie K .	2×0,5 pkt. = 1 pkt. 2×1,5 pkt. = 3 pkt. 0,5 pkt. 0,5 pkt.
d. Za właściwe podstawienie do wyrażenia na K . Za rozwiązanie równania kwadratowego. Za podanie właściwej masy węgla. Za obliczenie ciśnienia.	1 pkt. 1,5 pkt. 0,5 pkt. 1 pkt.
e. Za prawidłowe obliczenie zmiennej reakcji. Za obliczenie ciśnienia.	0,5 pkt. 1,5 pkt.
f. – i. Za każdą prawidłową odpowiedź.	4×1 pkt. = 4 pkt.
j. Za podanie prawidłowego wyjaśnienia.	2 pkt.
RAZEM	20 pkt.

ROZWIĄZANIE ZADANIA 4

a.	X - C ₁₀ H ₁₆ O, F - C ₇ H ₁₂ O ₂ ,
b.	 X (±)-pulegon  Y (izomer <i>trans</i> to menton)  Z (mentol jest jednym z diastereoizomerów)  A (<i>cis</i> lub <i>trans</i>)  B  C  D  E  F  G  H  I główny regioizomer (<i>trans</i> lub <i>cis</i>)  uboczny regioizomer

c.	 (<i>R</i>)-X (+)-(<i>R</i>)-pulegon
d.	 (<i>R</i>)-X (-)-mentol (1<i>R</i>,2<i>S</i>,5<i>R</i>)-2-izopropyl-5-metylocykloheksanol wszystkie podstawniki w położeniu ekwatorialnym

Wyjaśnienie (nie jest wymagane w rozwiązaniu)

Ustalenie struktury związków **X**, **Y**, **Z** oraz **A-E**

W związku **X** tlen stanowi 10,5% masowych ($100 - 78,9\% - 10,6\% = 10,5\%$).

Przy założeniu, że związek **X** zawiera jeden atom tlenu, jego masa molowa wynosi 152 g/mol i odpowiada mu wzór sumaryczny $C_{10}H_{16}O$.

Natomiast związkowi **Z** o masie molowej 156 g/mol, otrzymanemu w wyniku redukcji **X**, odpowiada wzór $C_{10}H_{20}O$. Taki wzrost masy sugeruje obecność jednego wiązania podwójnego $C=C$ oraz jednej grupy karbonylowej. Stopień nienasycenia dla **Z** wynosi 1, co sugeruje, że zawiera on jeden pierścień.

W wyniku reakcji ozonolizy z użyciem siarczku dimetylu przy udziale jednego wiązania podwójnego masa molowa produktów wzrasta o 32 g/mol względem substratu.

Jeżeli masa molowa **X** wynosi 152 g/mol i zawiera on jedno wiązanie $C=C$, to łączna masa produktów ozonolizy powinna wynieść 184 g/mol. Znając masę molową **B** (126 g/mol) można określić masę molową **C**, która wynosi 58 g/mol ($184 - 126$).

Jeżeli **C** zawiera jeden atom tlenu to posiada wzór sumaryczny C_3H_6O (aceton lub aldehyd propionowy), natomiast przy dwóch atomach tlenu: $C_2H_2O_2$ (gliksal).

Jednak redukcja związku **B** (126 g/mol) przy użyciu $NaBH_4$ do **D** (130 g/mol) świadczy o obecności dwóch grup karbonylowych i wzorze sumarycznym $C_7H_{10}O_2$. Związek **C** ma wzór C_3H_6O i jest to aceton, co potwierdza jeden sygnał w widmie 1H NMR.

Reakcja **D** z $NaIO_4$ potwierdza, że **B** jest związkiem 1,2-dikarbonylowym o budowie cyklicznej. Oznacza to również, że **X** jest α,β -nienasyconym ketonem. Redukcja **Y** do węglowodoru **A** i jego

widmo ^{13}C NMR (7 sygnałów) świadczy o symetrii związku **A**. Taka liczba sygnałów odpowiada 1,4-dipodstawionemu cykloheksanowi z podstawnikami izopropylowym i metylowym.

Związki **X** (pulegon), **Y** (menton) i **Z** (mentol) wyizolowane zostały z mięty, która należy do rodziny jasnotowatych.

Ustalenie struktury związku **F**

Związek **F** zbudowany jest z atomów węgla, wodoru i tlenu, a pozytywny wynik próby jodoformowej świadczy o tym że jest to keton metylowy. Związek ten musi zawierać więcej atomów węgla niż cztery (4 sygnały w widmie ^{13}C NMR), ponieważ jego masa molowa wynosi 128 g/mol. Ponadto z widma ^1H NMR (trzy sygnały o względnych intensywnościach 1 : 2 : 3) wynika, że zawiera co najmniej 6 atomów wodoru lub wielokrotności np. 12.

Jeżeli **F** zawiera jeden atom tlenu, to odpowiadałby mu wzór sumaryczny $\text{C}_9\text{H}_4\text{O}$ (zbyt mało atomów wodoru) lub $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$ – nie spełniają warunków zadania.

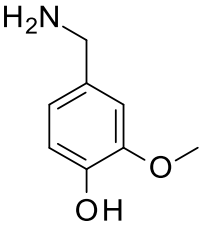
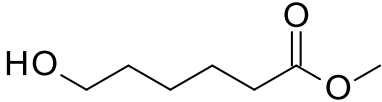
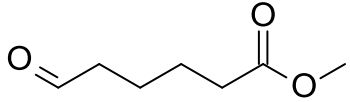
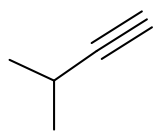
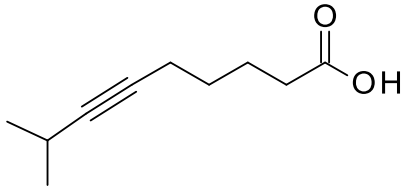
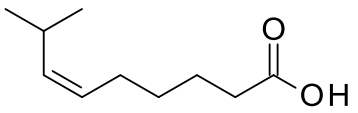
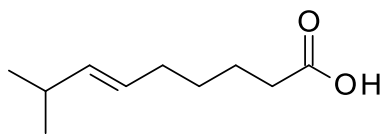
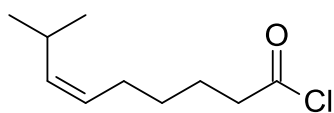
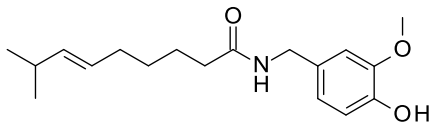
Przy dwóch atomach tlenu możliwy jest tylko jeden wzór sumaryczny $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_2$ z odpowiednią ilością atomów wodoru (2 : 4 : 6). Jeden z sygnałów odpowiada sześciu atomom wodoru, które pochodzą od dwóch równocennych grup metylowych połączonych z grupami karbonyłowymi (dwie grupy acetylowe). Resztę stanowią trzy atomy węgla oraz 6 atomów wodoru, od których pochodzą dwa sygnały w widmie ^{13}C NMR oraz dwie grupy sygnałów w widmie ^1H NMR o względnych intensywnościach 1 : 2. Mogą to być tylko grupy CH_2 , z których dwie są równocenne.

Związkiem **F** jest heptano-2,6-dion.

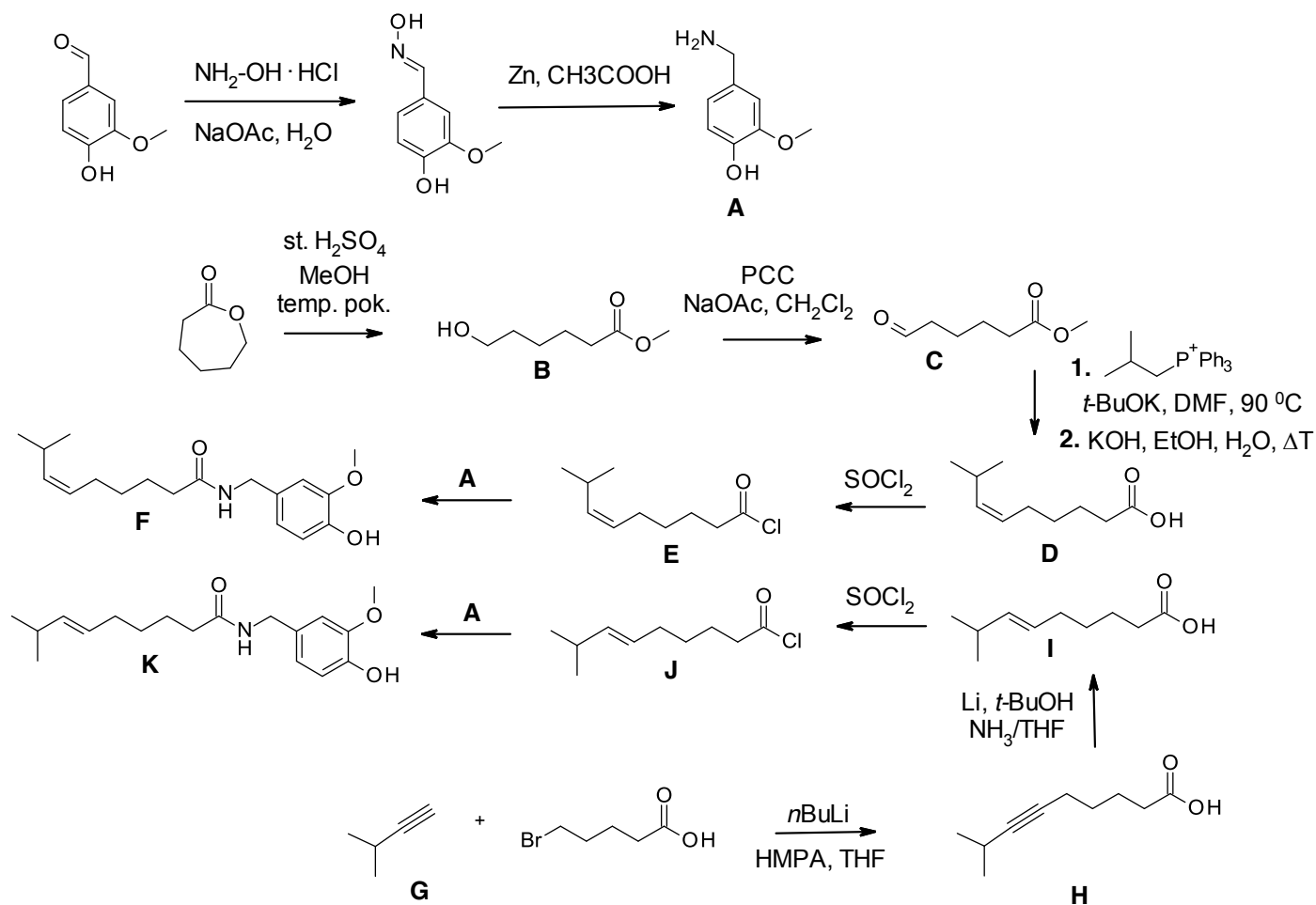
Punktacja:

a. Za podanie wzorów sumarycznych związków X i F .	2×1 pkt. = 2 pkt.
b. Za podanie wzorów strukturalnych związków X i F . Za podanie wzorów strukturalnych związków C , G i I . Za podanie wzorów strukturalnych związków Y , Z , A , B , D , E i H .	2×2 pkt. = 4 pkt. 3×1,5 pkt. = 4,5 pkt. 7×1 pkt. = 7 pkt.
c. Za narysowanie wszystkich możliwych stereoizomerów związku D . Za narysowanie stereoizomeru, w którym wszystkie centra stereogeniczne mają konfigurację <i>R</i> .	1 pkt. 0,5 pkt.
d. Za narysowanie diastereoizomeru związku Z (wzór konformacyjny).	1 pkt.
RAZEM	20 pkt.

ROZWIĄZANIE ZADANIA 5

a. Związek A 	a. Związek B 	a. Związek C 
b. Związek G 	b. Związek H 	c. Związek D 
c. Związek I 	d. Związek E 	d. Związek K  (kapsaicyna)
e. Związki K oraz F są przykładem izomerów geometrycznych. Związek K (kapsaicyna) jest izomerem E, związek F (cukapsaicyna) jest izomerem Z.		
f. Odpowiedź (iii)		

Schemat syntezy



Punktacja:

a. Za podanie prawidłowych wzorów strukturalnych związków A , B oraz C .	3×2 pkt. = 6 pkt.
b. Za podanie prawidłowych wzorów strukturalnych związków G oraz H .	2×2 pkt. = 4 pkt.
c. Za podanie prawidłowych wzorów strukturalnych związków D oraz I . W przypadku odwrotnego przypisania konfiguracji wiązania podwójnego związkom D oraz I przysługują 2 pkt.	2×2 pkt. = 4 pkt.
d. Za podanie prawidłowego wzoru strukturalnego związku E . Za podanie prawidłowego wzoru strukturalnego związku K .	1 pkt. 2 pkt.
e. Za wskazanie izomerii geometrycznej. Za wskazanie, że związek K jest izomerem <i>E</i> a związek F jest izomerem <i>Z</i> . Dopuszczalne jest także nazwanie związku K izomerem <i>trans</i> a związku F izomerem <i>cis</i> .	1 pkt. 1 pkt.
f. Za udzielenie poprawnej odpowiedzi.	1 pkt.
RAZEM	20 pkt.