

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

58. ročník, školský rok 2021/22

Kategória A

Krajské kolo

TEORETICKÉ ÚLOHY



ÚLOHY Z ANORGANICKEJ A ANALYTICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 58. ročník – školský rok 2021/22
Krajské kolo

Michal Juríček, Rastislav Šípoš

Maximálne 18 bodov Doba riešenia 60 minút
--

Úloha 1 (18 bodov)

Vyleštená kovová meď má svoju charakteristickú červenohnedú farbu. Aj keď meď pokrýva strechy mnohých historických budov, ich zafarbenie nie je červenohnedé, ale modrozelené (obrázok 1 vpravo). Toto zafarbenie je spôsobené prítomnosťou rôznych meďnatých zlúčenín, ktoré sa tvoria reakciou medi s látkami prítomnými v atmosfére. Vzniknutá modrozelená ochranná vrstva chráni strechy pred ďalšou koróziou. Koróznym povlak sa dá odstrániť čistením povrchu, ako je zaužívané v páleniciach, kde sa medené destilačné aparatúry pravidelne leštia (obrázok 1 vľavo).



Obrázok 1. Medená destilačná aparatúra v pálenici (vľavo) a Farský kostol sv. Bartolomeja v Prievidzi (vpravo). Zdroje: <https://shakethepeardistillery.com/palenica/>, [https://sk.wikipedia.org/wiki/Kostol_svätého_Bartolomeja_\(Prievidza\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Kostol_svätého_Bartolomeja_(Prievidza)).

Prvým krokom korózie medi na vzduchu, ktorý trvá roky až desiatky rokov, je oxidácia medi kyslíkom na ružovo červený oxid meďný, známy ako kuprit, ktorý sa ďalej oxiduje na čierny oxid meďnatý (tenorit). V prítomnosti vzdušnej vlhkosti následne reaguje oxid meďnatý s oxidom uhličitým a oxidom siričitým, plynmi, ktoré negatívne vplyvajú na životné prostredie. Ich zvýšená emisia do ovzdušia je spôsobená nerozvážnou činnosťou človeka, najmä nadmerným spaľovaním fosílnych palív, ako uhlie, ropa a zemný plyn. Hlavné tri zložky modrozeleného povlaku na medených strechách sú zeleno sfarbený malachit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) a brochantit ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) a modro sfarbený azurit ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).

1. V stavovom tvare napíšte reakciu oxidácie medi na oxid meďný a následnej oxidácie oxidu meďného na oxid meďnatý.
2. V stavovom tvare napíšte reakcie tvorby malachitu, azuritu a brochantitu z oxidu meďnatého.
3. Vzorka modrozeleného povlaku zo strechy Farského kostola sv. Bartolomeja v Prievidzi obsahovala 0,815 hm. % vodíka a 1,36 hm. % síry. Vypočítajte zastúpenie v hm. % malachitu, azuritu a brochantitu v tejto vzorke.

Farebná chémia medi nie je len dekoráciou historických budov, ale využíva sa aj pri rôznych analytických stanoveniach. Jedno z nich využíva Fehlingovu reakciu, ktorá sa od 19. storočia používala nielen na kvalitatívny dôkaz, ale aj na kvantitatívne stanovenie redukujúcich cukrov. V súčasnosti sa už používajú inštrumentálne metódy, ktoré sú oveľa citlivejšie, dokážeme pomocou nich stanoviť aj stopové koncentrácie. Skúsme sa však preniesť na začiatok 20. storočia, keď súčasné prístroje ešte neboli k dispozícii. Táto metóda sa môže použiť na stanovenie cukru v potravinách, alebo výživových doplnkoch, alebo napríklad v medicíne. Diabetes je rozšíreným ochorením a jedným z jeho prejavov je zvýšená hladina cukru v moči. Normálna koncentrácia glukózy v moči je 0 až $0,8 \text{ mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$. V prípade zvýšenej hladiny už treba vykonať ďalšie vyšetrenia.

Princíp Fehlingovej reakcie spočíva v tom, že cukry obsahujúce aldehydovú skupinu redukujú meďnaté kationy na meďné, ktoré sa v zásaditom prostredí zrážajú vo forme oxidu meďného. Keďže v zásaditom prostredí sa tvorí aj nerozpustný hydroxid

meďnatý, musí roztok obsahovať komplexačné činidlo, ktoré zabráni jeho zrážaniu. Používa sa tetrahydrát vínanu sodno-draselného, t. j. soľ 2,3-dihydroxybutándiovej kyseliny. Reakcia je síce samoindikujúca, keďže mizne modré sfarbenia a objavuje sa červená zrazenina, ale s poklesom koncentrácie meďnatých katiónov je problém presne stanoviť bod ekvivalencie. Preto sa pred koncom titrácie pridá do reakcie pár kvapiek metylénovej modrej ako indikátora. Tá je v oxidovanej forme intenzívne modrá, ale v redukovanej forme bezfarebná. A keď titrant obsahujúci redukujúci cukor kompletne zredukuje meď(II) na meď(I), metylénová modrá sa následne tiež zredukuje a roztok sa odfarbí.

Stanovenie prebieha podľa nasledovného postupu:

Najprv sa pripraví dve zložky Fehlingovho činidla – A a B. Roztok A sa pripraví rozpustením 17,32 g pentahydrátu síranu meďnatého v destilovanej vode a zriedi sa v odmernej banke na výsledný objem presne 250 cm³. Roztok B sa pripraví rozpustením približne 86,5 g tetrahydrátu vínanu sodno-draselného a 25 g hydroxidu sodného v destilovanej vode a zriedi sa na objem presne 250 cm³. Roztok B sa pripravuje deň vopred, aby bolo dost' času na usadenie prípadných zrazenín, ktoré sa pred ďalším postupom odfiltrujú. Štandardný roztok glukózy sa pripraví odvážením 1,272 g vopred vysušenej glukózy a rozpustením v destilovanej vode v objeme presne 250 cm³.

V ďalšom kroku sa stanoví hmotnosť glukózy, ktorá zreaguje s jedným cm³ Fehlingovho činidla (tzv. Fehlingov faktor): do Erlenmeyrovej banky sa odpipetuje 10,00 cm³ Fehlingovho roztoku A a 10,00 cm³ Fehlingovho roztoku B a pridá sa približne 30 cm³ destilovanej vody. Banka sa zahreje aspoň na 70 °C, ale tak, aby roztok nevrel. Počas celého stanovenia sa musí udržiavať teplota nad 70 °C. Roztok sa titruje odmerným roztokom glukózy do okamihu, keď roztok nadobudne svetlomodrú farbu a na dne titračnej banky sa objaví červená zrazenina. Následne sa pridajú 1 až 2 kvapky 1 % vodného roztoku metylénovej modrej a titruje sa do úplného odfarbenia roztoku.

Takto faktorizovaný roztok sa použil na analýzu obsahu glukózy vo výživovej tabletku na zvýšenie krvného cukru po cvičení. V tretej miske sa rozdrvila tabletku na prášok, z ktorého sa odvážilo presne 2,497 g a toto množstvo sa rozpustilo v približne 100 cm³ destilovanej vody a roztok sa zahrieval približne 10 minút. Následne sa prefiltraval a

zriedil do odmernej banky na výsledný objem presne 250 cm³. Týmto roztokom sa naplnila byreta a titrovalo sa rovnakým postupom ako pri stanovení faktora Fehlingovho roztoku. Priemerná spotreba bola 27,09 cm³.

Na stanovenie glukózy v moči sa zo vzorky moču odpipetovalo 10,00 cm³ a zriedilo sa na objem 100 cm³. Pri samotnom stanovení sa na rozdiel od faktorizácie pipetovalo do Erlenmeyerovej banky len po 2,000 cm³ z oboch spomínaných zložiek Fehlingovho činidla.

4. Napíšte rovnicu reakcie stanovenia glukózy Fehlingovým činidlom v iónovom tvare s uvedením stavov reaktantov a produktov. Pre zjednodušenie glukózu označte ako RCHO.
5. Nakreslite štruktúrny vzorec meďnatého komplexu vznikajúceho vo Fehlingovom činidle, kde vyznačíte spôsob viazania sa organických ligandov.
6. Vypočítajte hmotnosť glukózy, ktorá zreaguje s jedným cm³ Fehlingovho činidla (tzv. Fehlingov faktor alebo faktorizácia), ak spotreba roztoku glukózy bola 49,13 cm³. Fehlingovo činidlo je zmes roztoku A a roztoku B v rovnakom objemovom pomere.
7. Vypočítajte obsah glukózy vo výživovej tabletky v hmotnostných percentách.
8. Aká bola koncentrácia glukózy v moči pacienta, ak priemerná spotreba troch stanovení bola 26,9 cm³? Vyjadrite túto koncentráciu v jednotkách používaných v medicíne mmol/dm³ a mg/dl.

Pomôcky:

$A(\text{H}) = 1,00797 \text{ g mol}^{-1}$, $A(\text{C}) = 12,011 \text{ g mol}^{-1}$, $A(\text{O}) = 15,9994 \text{ g mol}^{-1}$, $A(\text{S}) = 32,06 \text{ g mol}^{-1}$, $A(\text{Cu}) = 63,546 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{tetrahydrát vlnanu sodno-draselného}) = 210,158 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{glukóza}) = 180,156 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{hydroxid sodný}) = 39,9971 \text{ g mol}^{-1}$, $M(\text{modrá skalica}) = 249,685 \text{ g mol}^{-1}$

ÚLOHY Z FYZIKÁLNEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 58. ročník – školský rok 2021/22
Krajské kolo

Ján Reguli

Maximálne 17 bodov,
doba riešenia 60 minút

Úloha 1 (4 body)

1.1 Rovnovážna teplota alotropickej premeny kosoštvorcovej síry na jednoklonnú pri tlaku 101325 Pa je 95,6 °C. Objemová zmena je 0,0126 ml g⁻¹ a pohltené teplo pri tejto premene v uvedených podmienkach je 10,55 J g⁻¹. Nájdite tlak, pri ktorom hodnota rovnovážnej teploty je 97 °C. Predpokladajte, že závislosť zmeny entalpie pri uvažovanej alotropickej premene od teploty je zanedbateľná.

1.2 Zmena teploty topenia NaCl pri zmene tlaku pri teplote topenia 1073 K je 0,0287·10⁻⁵ K Pa⁻¹. Vypočítajte molárnu entalpiu topenia NaCl, ak je topenie sprevádzané objemovou zmenou $\Delta_{\text{fus}}V = 7,5 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Predpokladajte, že $\Delta_{\text{top}}H$ a V_m sú nezávislé od teploty a tlaku.

Úloha 2 (7 bodov)

2.1 Vypočítajte E° chlórovej elektródy pri 25 °C, ak pri tejto teplote je elektromotorické napätie článku $\text{Ag(s)} | \text{AgCl(s)} | \text{HCl(aq)} | \text{Cl}_2(p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}) | \text{Pt(s)}$
 $E = 1,136 \text{ V}$ a poznáme hodnoty $E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,799 \text{ V}$, $K_s(\text{AgCl}) = 1,78 \cdot 10^{-10}$.

2.2 Elektromotorické napätie článku

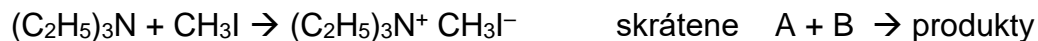
$\text{Ag(s)} | \text{AgBr(s)} | \text{HBr(aq)} | \text{Br}_2(\text{aq, nasýtený roztok}) | \text{Pt(s)}$ pri 25 °C je 0,994 V.
Vypočítajte konštantu rozpustnosti $K_s(\text{AgBr})$ pri teplote 25 °C, ak
 $E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,799 \text{ V}$, $E^\circ(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1,066 \text{ V}$ a aktivita rozpusteného brómu sa rovná 1.

2.3 Aké je elektromotorické napätie článku

$(\text{Pt}) \text{H}_2(\text{g}) | \text{KOH(aq, } 0,001 \text{ mol dm}^{-3}) || \text{HCl(aq, } c = 0,001 \text{ mol dm}^{-3}) | \text{H}_2(\text{g}) (\text{Pt})$
pri 25 °C, ak je tlak vodíka na oboch elektródach rovnaký? (Aktivitné koeficienty považujte za jednotkové.)

Úloha 3 (6 bodov)

Trietylamín reaguje s jódmetánom pri 25 °C v roztoku nitrobenzénu



3.1 Východisková koncentrácia trietylamínu aj jódmetánu boli rovnaké $c_{0A} = c_{0B} = 0,0198 \text{ mol dm}^{-3}$. Po 70 minútach poklesli na hodnotu $c_A = c_B = 0,00545 \text{ mol dm}^{-3}$. Stanovte rýchlostnú konštantu a polčas tejto reakcie druhého poriadku.

3.2 Východisková koncentrácia trietylamínu bola $0,0198 \text{ mol dm}^{-3}$ a jódmetánu $0,0205 \text{ mol dm}^{-3}$. Po jednej hodine priebehu reakcie poklesla koncentrácia trietylamínu o $14,03 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. Výpočtom overte, či daný úbytok koncentrácie trietylamínu zodpovedá rýchlostnej konštante, získanej v úlohe 3.1. v $\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ hod}^{-1}$ a v $\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Koľko bolo nezreagovaného trietylamínu po 38 minútach priebehu reakcie?

ÚLOHY Z ORGANICKEJ CHÉMIE

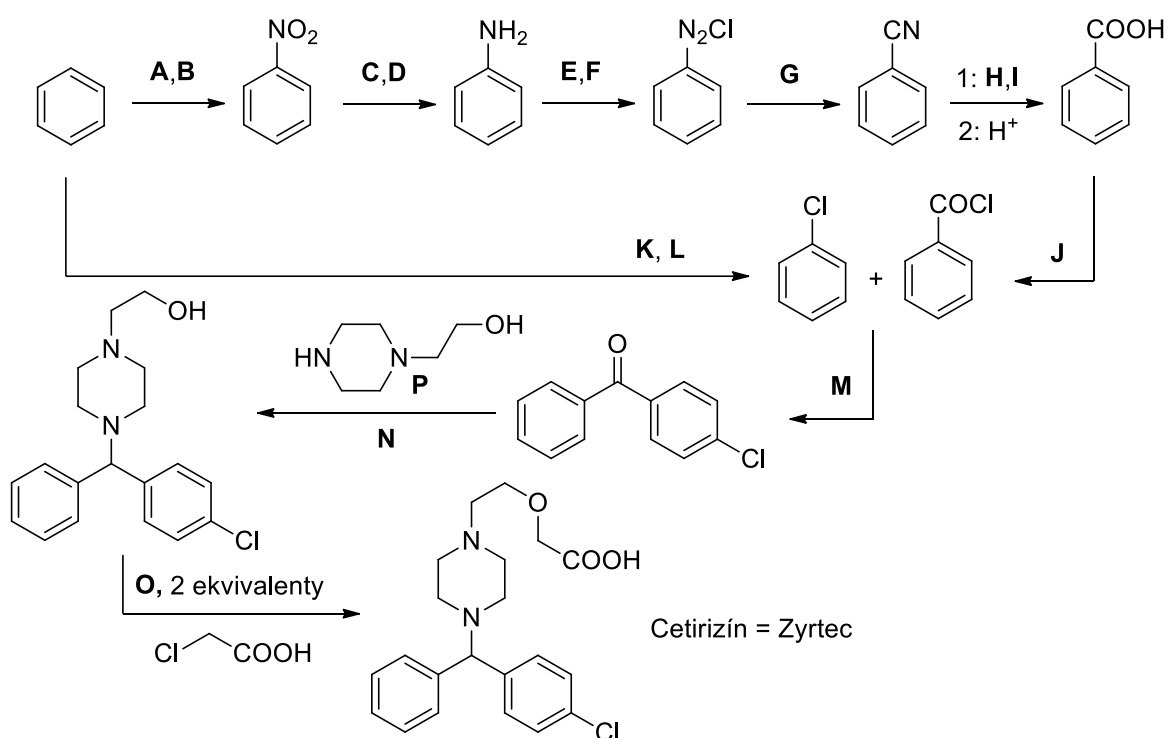
Chemická olympiáda – kategória A – 58. ročník – školský rok 2021/22
Krajské kolo

Radovan Šebesta, Michal Májek

Maximálne 17 bodov
Doba riešenia: 50 minút

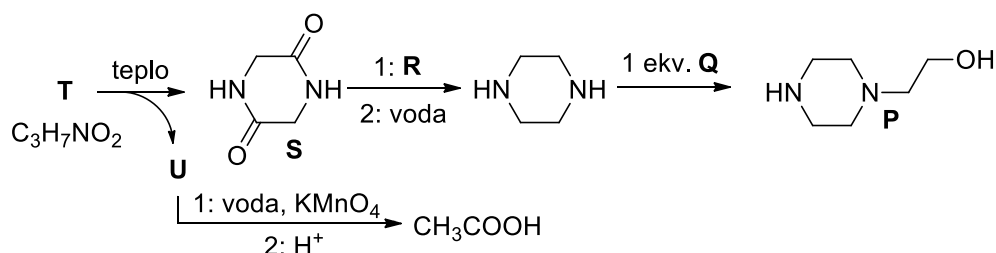
Úloha 1 (8,5 bodov)

Príroda sa zatiaľ síce ešte neprebrala zo zimného spánku, avšak jarné mesiace prinášajú okrem optimistickej zelenej farby kvitnúcich kvetín aj niečo nepríjemnejšie – alergie. Proti alergickým reakciám sa predpisujú antihistaminiká, pričom jedno z tých dnes najbežnejších – cetirizín, známy aj pod značkou Zyrtec, si v tejto úlohe zosyntetizujeme:



a) Doplňte činidlá **A-O**.

b) Pri syntéze potrebujete činidlo **P**, ktoré si musíte najprv pripraviť. Doplňte reagenty **Q** a **R**.



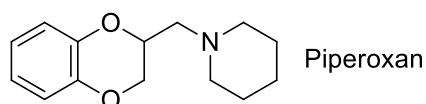
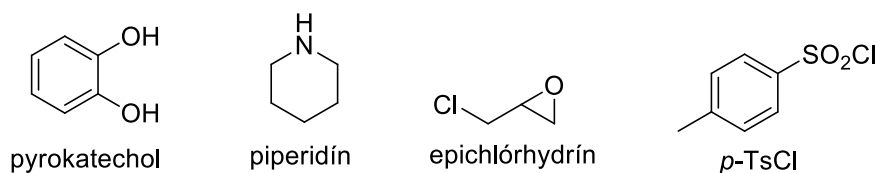
c) Syntéza činidla **P** vychádza z jednoduchej látky **T**, ktorej zahrievaním vzniká derivát **S**. Pri tomto procese z reakčnej zmesi unikajú pary **U**, ktoré odfarbujú manganistanový vodný roztok, pričom je cítiť štipľavý zápach kyseliny octovej. Akú štruktúru majú látky **T** a **U**?

Cetirizín patrí do skupiny antihistaminík druhej generácie. Výhoda týchto látok je v ich neschopnosti prejsť cez hematoencefalickú bariéru. To znamená, že pôsobia iba na receptory v periférnom nervovom systéme a nie v mozgu, kde by ich pôsobenie vyvolalo nežiaduce účinky – a to hlavne ospalosť, typický vedľajší účinok liekov prvej generácie. Pri návrhu liečiv druhej generácie sa využil fakt, že hematoencefalická bariéra je veľmi lipofilná a zle cez ňu prechádzajú veľmi polárne látky.

d) Uveďte akú štruktúru bude mať pravdepodobne cetirizín pri fyziologickom pH (cca pH = 7). Stačí ak uvediete jednu z dvoch najpravdepodobnejších štruktúr.

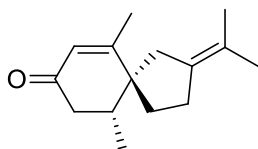
Napriek tomu, že dnes sa už antihistaminiká prvej generácie pre ich vedľajšie účinky prakticky nepoužívajú, ich objavenie v 30-tych rokoch bolo veľkým krokom vpred. Prvou látkou, ktorej antihistaminový potenciál bol demonštrovaný na zvieratách bol Piperoxan. Za vynájdenie tejto látky bola v roku 1957 udelená Nobelova cena za medicínu.

e) Navrhnete syntézu piperoxanu, ak ako organické látky pri syntéze môžete použiť: pyrokatechol, piperidín, epichlórhydrín a *p*-tozylchlorid. Môžete použiť aj akékoľvek anorganické reagenty, aké potrebujete.



Úloha 2 (5,5 bodov)

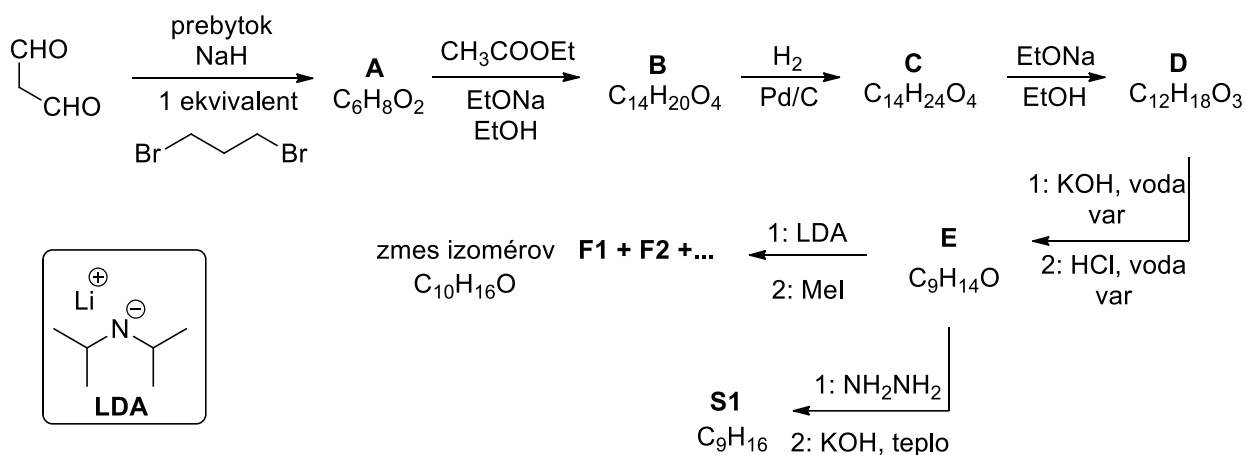
Na rozdiel od našich zemepisných šírok, v krajinách na juh od nás rastliny veselo prekvitajú aj v tomto okamihu. Ak by sme zablúdili do Karibiku, všimli by sme si vysoké stebľá trávy podobnej nášmu ciroku, ktoré okolo seba šíria zaujímavú vôňu. Rastlina sa volá Vetivéria a esenciálny olej z nej sa už od stredoveku používa do parfumov, pre jeho zemito-čokoládovú vôňu. Za túto arómu je zodpovedný aj terpén β -vetivón:



β -Vetivón je spirocyklická látka – obsahuje jeden atóm uhlíka, ktorý spája dva kruhy. Spirocyklické zlúčeniny sa vyskytujú nie len v prírode, ale napríklad aj v materiálovej chémii. V tejto úlohe sa pozrieme na ich syntézu.

a) Nakreslite štruktúry trochspirocyklických látok **S1-S3** so sumárnym vzorcom C_9H_{16} . Pozor, hľadajte len látky s jedným kvartérnym atómom C, ostatné atómy C sú sekundárne (t. j. látka má len dva cykly a žiadne vetvenie).

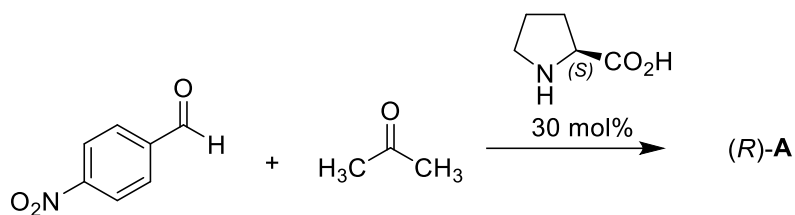
b) Syntéza jednej zo spirocyklických látok **S1** vychádza z malónového aldehydu (propán-1,3-dialu). Doplňte štruktúry **A – E** a **S1**.



c) Navrhňte, ako by ste malónový aldehyd (propán-1,3-dial) pripravili z cyklohexa-1,4-diénu.

Úloha 3 (1,25 bodov)

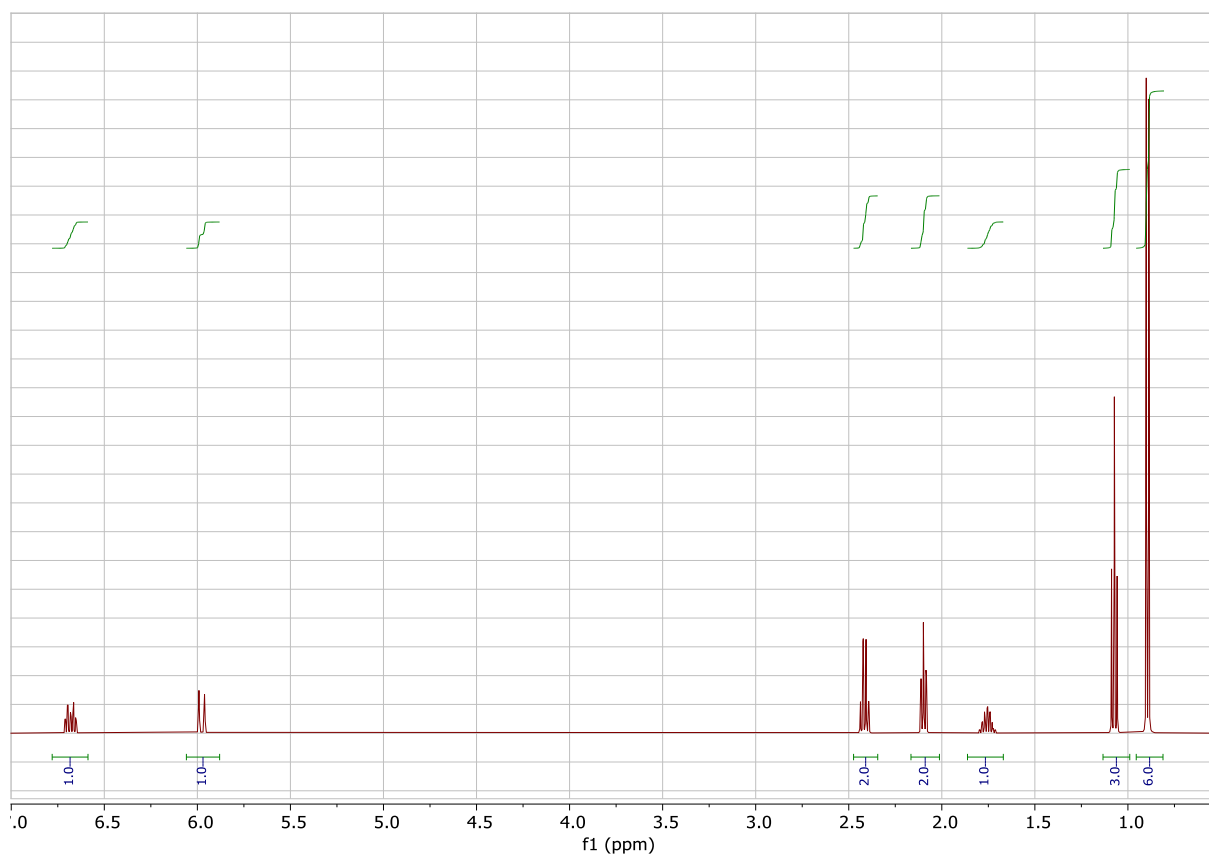
Nobelova cena za chémiu v roku 2021 bola udelená Benjaminovi Listovi a Davidovi MacMillanovi za rozvoj asymetrickej organokatalýzy, ktorá sa za krátke obdobie stala jedným z najdôležitejších spôsobov prípravy chirálnych zlúčenín. Organokatalýza využíva jednoduché organické molekuly ako katalyzátory reakcií ako je napríklad aminokyselina prolín. Prelomovou prácou práve Bena Lista je reakcia 4-nitrobenzaldehydu s acetómom s (*S*)-prolínom ako katalyzátorom. Vzniká takto chirálna zlúčenina **A** s (*R*)-konfiguráciou na stereogénnom centre. Nakreslite štruktúrny vzorec (*R*)-enantioméru zlúčeniny **A**. Pomenujte zlúčeninu **A** systémovým názvom.



Úloha 4 (1,75 bodov)

Pri výskumoch v Tichom oceáne vedci izolovali z koralov neznámu olejovitú látku so sladkastým zápachom. Jej ^1H NMR spektrum je zobrazené nižšie. V infračervenom spektre má táto zlúčenina dva výrazné signály pri 1680 , 1635 cm^{-1} , pričom prvý signál je intenzívnejší ako druhý. Pomocou hmotnostnej spektrometrie výskumníci zistili molárnu hmotnosť zlúčeniny $M_r = 140\text{ g/mol}$. Určte štruktúru zlúčeniny **A**, priradte IČ signály. Ak neviete určiť celú štruktúru zlúčeniny **A**, tak sa pokúste určiť aspoň fragmenty, z ktorých sa táto zlúčenina skladá.

^1H NMR spektrum zlúčeniny **A**



ÚLOHY Z BIOCHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 58. ročník – šk. rok 2021/22
Krajské kolo

Pavol Štefík, Boris Lakatoš

Maximálne 8 bodov Doba riešenia: 40 minút
--

ÚLOHA 1

Cytochróm c oxidáza je transmembránový proteín, ktorý pozostáva zo 14 podjednotiek a obsahuje viacero prostetických skupín: dva hémy a dve centrá obsahujúce meď. Je posledným komplexom dýchacieho reťazca, ktorý prenáša elektróny na finálny akceptor – molekulový kyslík – a súčasne prenáša H^+ ióny z matrixu mitochondrie do jej medzimembránového priestoru. Redukciu cytochrómu c a molekulového kyslíka vyjadrujú nasledujúce rovnice:



1. Napíšte sumárnu rovnicu reakcie, ktorú katalyzuje cytochróm c oxidáza.
2. Vypočítajte zmenu voľnej Gibbsovej energie za štandardných podmienok (25 °C, pH 7) pri prenose 1 mólu elektrónov z cytochrómu c na kyslík. Hodnota Faradayovej konštanty je $96\,485 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Na syntézu ATP sa môže využiť 65 % voľnej energie uvoľnenej pri reakcii katalyzovanej cytochróm c oxidázou. Zmena voľnej energie pri prechode jedného mólu H^+ iónov cez ATP syntázu je $-23,3 \text{ kJ}$. Na syntézu jednej molekuly ATP z ADP a fosfátu sú potrebné 3 H^+ ióny.

3. Vypočítajte množstvo ATP ($M = 507,18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$), ktoré teoreticky môže vzniknúť za štandardných podmienok transportom 1 mólu elektrónov z cytochrómu c na molekulový kyslík.
4. Napíšte celé názvy koenzýmov, ktoré sa reoxidujú v dýchacom reťazci. Ktoré vitamíny sú súčasťou týchto koenzýmov (uvedte ich triviálne názvy)?

Cytochróm c oxidáza je inhibovaná väzbou oxidu uhoľnatého, sulfánu, azidov alebo kyanidov, ktoré okrem transportu plynov pomocou hemoglobínu inaktivujú aj dýchací reťazec. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty rýchlosti reakcie katalyzovanej *cytochróm c oxidázou* v prítomnosti a neprítomnosti inhibítora kyanidu, vyjadrenej ako spotreba kyslíka v $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ za jednu minútu:

Koncentrácia cytochrómu c ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)	Rýchlosť reakcie ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	
	Bez inhibítora	S inhibítorom
10	0,88	0,40
100	2,14	0,97

- Na základe údajov v tabuľke zostrojte Lineweaver-Burkov graf (dvojité recipročné vyjadrenie rovnice Michaelisa a Mentenovej), v ktorom vyznačíte priebeh danej závislosti pre inhibovaný a neinhibovaný enzým.
- Určte, o aký typ inhibície ide.
- Vypočítajte hodnoty K_M a V_{\max} pre neinhibovaný enzým bez použitia Lineweaver-Burkovho grafu.

ÚLOHA 2

Až 95 % celkového množstva medi v krvnej plazme je viazaných v ceruloplazmíne. Ide o glykoproteín s molekulovou hmotnosťou $132 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$, ktorý viaže niekoľko iónov medi, z ktorých približne polovica je v stave Cu^{2+} a druhá polovica v stave Cu^+ .

- Ak viete, že v 1 mg ceruloplazmínu je viazaných 3,15 μg medi, vypočítajte počet iónov medi, ktoré sú viazané v jednej molekule ceruloplazmínu. Molárna hmotnosť medi je $63,546 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Ak je koncentrácia ceruloplazmínu v krvnej plazme 20 $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$, vypočítajte celkovú koncentráciu medi v krvnej plazme v $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

Autori: Mgr. Michal Juríček, PhD., doc. Ing. Boris Lakatoš, PhD., Ing. Michal Májek, PhD., doc. Ing. Ján Reguli, CSc. (vedúci autorského kolektívu), prof. Mgr. Radovan Šebesta, DrSc., Ing. Rastislav Šípoš, PhD., Ing. Pavol Štefík

Recenzenti: Ing. Tibor Dubaj, PhD., Mgr. Jela Nociarová, Ing. Ján Pavlík, PhD., Ing. Kristína Plevová, PhD., doc. Ing. Martin Šimkovič, PhD.

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2022