

46. Medzinárodná chemická olympiáda

25. júl 2014

Hanoj, Vietnam

TEORETICKÁ ČASŤ



46th IChO
HANOI, VIETNAM 2014

Country:	SLOVAKIA
Name as in passport:	
Student code:	
Language:	Slovak

VŠEOBECNÉ POKYNY

- Máte **15 minút** na prečítanie celého súboru zadaní úloh.
- Táto brožúrka je zložená z 9 úloh. Máte **5 hodín na vyriešenie úloh**. Ak neskončíte pracovať po vyhlásení pokynu STOP, môže sa stať, že za danú úlohu nedostanete žiadne body.
- Vpisujte odpovede a výpočty do vnútra vyznačených rámcikov. Uved'te váš postup, ak sa to vyžaduje.
- Používajte len poskytnuté pero a kalkulačku.
- Máte k dispozícii papier na pomocné výpočty. Ak budete potrebovať viac priestoru, použite zadnú stranu papiera. Odpovede na zadnej strane papiera a na pomocných papieroch sa NEBUDÚ hodnotiť.
- V tejto brožúrke je **49 strán** vrátane odpovedových hárkov, titulného listu a periodickej tabuľky.
- Ak máte nejasnosti, môžete na požiadanie dostať oficiálnu anglickú verziu úloh.
- Ak potrebujete prestávku na občerstvenie alebo toaletu, zdvihnite ruku, dozor vás tam odvedie.
- **Po vydaní pokynu STOP** vložte brožúrku do obálky (nezalepujte ju) a nechajte ju na svojom stole. Neopúšťajte miestnosť bez pokynu.

Good luck !



Fyzikálne konštanty, jednotky, vzorce a rovnice

Avogadrova konštanta	$N_A = 6,0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Univerzálna plynová konštanta	$R = 8,3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Rýchlosť svetla	$c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Planckova konštanta	$h = 6,6261 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Štandardný tlak	$p^\circ = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
Atmosférický tlak	$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$
Nula na Celziovej stupnici	$273,15 \text{ K}$
Hmotnosť elektrónu	$m_e = 9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$

1 nanometer (nm) = 10^{-9} m ; 1 angstrom (Å) = 10^{-10} m

1 elektrónvolt (eV) = $1,6022 \times 10^{-19} \text{ J} = 96485 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

Energia svetelného kvanta s vlnovou dĺžkou λ	$E = hc / \lambda$
Energia mólu fotónov	$E_m = hcN_A / \lambda$
Gibbsova energia	$G = H - TS$
Vzťah medzi rovnovážnou konštantou a štandardnou Gibbsovou energiou	$K = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right)$
van't Hoff rovnica v integrálnej forme	$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H^0}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$
Vzťah medzi vnútornou energiou, teplom a prácou	$\Delta U = q + w$
Molová tepelná kapacita pri konštantnom objeme	$C_{v,m} = \left(\frac{dU}{dT} \right)_v$
Zmena vnútornej energie od T_1 po T_2 za predpokladu konštantnej $C_{v,m}$	$U(T_2) = U(T_1) + nC_{v,m}(T_2 - T_1),$
Čisto spinový výraz (spin only) pre efektívny magnetický moment ako funkcia počtu nespárených elektrónov	$\mu_{eff} = \sqrt{n(n+2)} \text{ B.M.}$

Teoretická úloha 1 5,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	1	2	3	4	5	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	3	7	6	4	7	27
			Hodnotenie						

Úloha 1. Častice v potenciálovej jame: polyény

V kvantovej mechanike môžeme pohyb π elektrónov v rámci neutrálneho reťazca konjugovaných uhlíkových atómov popísať modelom „častice v potenciálovej jame”. Energia π elektrónov je daná výrazom:

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

kde n je kvantové číslo ($n = 1, 2, 3, \dots$), h je Planckova konštanta, m je hmotnosť elektrónov a L je dĺžka potenciálovej jamy, ktorá môže byť aproximovaná ako $L = (k + 2) \times 1.40 \text{ \AA}$ (k je počet konjugovaných dvojitych väzieb v rámci uhlíkového reťazca molekuly). Fotón s vhodnou vlnovou dĺžkou λ môže excitovať π elektrón z najvyššieho obsadeného orbitálu (HOMO) do najnižšieho neobsadeného orbitálu (LUMO). Približná semiempirická závislosť vlnovej dĺžky λ od počtu dvojitych väzieb k a konštanty B je založená na tomto modeli:

$$\lambda \text{ (nm)} = B \times \frac{(k + 2)^2}{(2k + 1)} \quad \text{Rovnica 1}$$

1. Pomocou tohto semiempirického vzťahu **vypočítajte** hodnotu vlnovej dĺžky λ (nm) pre oktatetraén ($\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$), ak $B = 65.01 \text{ nm}$.

2. **Odvod'te** rovnicu 1 (výraz pre vlnovú dĺžku λ (nm) zodpovedajúcu prechodu elektrónu z HOMO do LUMO) ako závislosť od k a základných konštánt a potom **vypočítajte** teoretickú hodnotu konštanty $B_{\text{calc.}}$.

3. Je potrebné pripraviť lineárny polyén, u ktorého excitácia π elektrónu z HOMO do LUMO vyžaduje absorpciu pri vlnovej dĺžke približne 600 nm. Pomocou výrazu z časti 2 **určte** počet konjugovaných dvojitých väzieb (k) v polyéne a **napíšte** jeho štruktúru. [Ak ste nevyriešili časť 2, na riešenie časti 3 použite semiempirickú Rovnicu 1 s $B = 65.01$ nm]

4. **Vypočítajte** rozdiel energií medzi HOMO a LUMO (ΔE , $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) pre polyénovú molekulu určenú v časti 3.

Ak ste nevyriešili časť 3, použite $k = 5$.

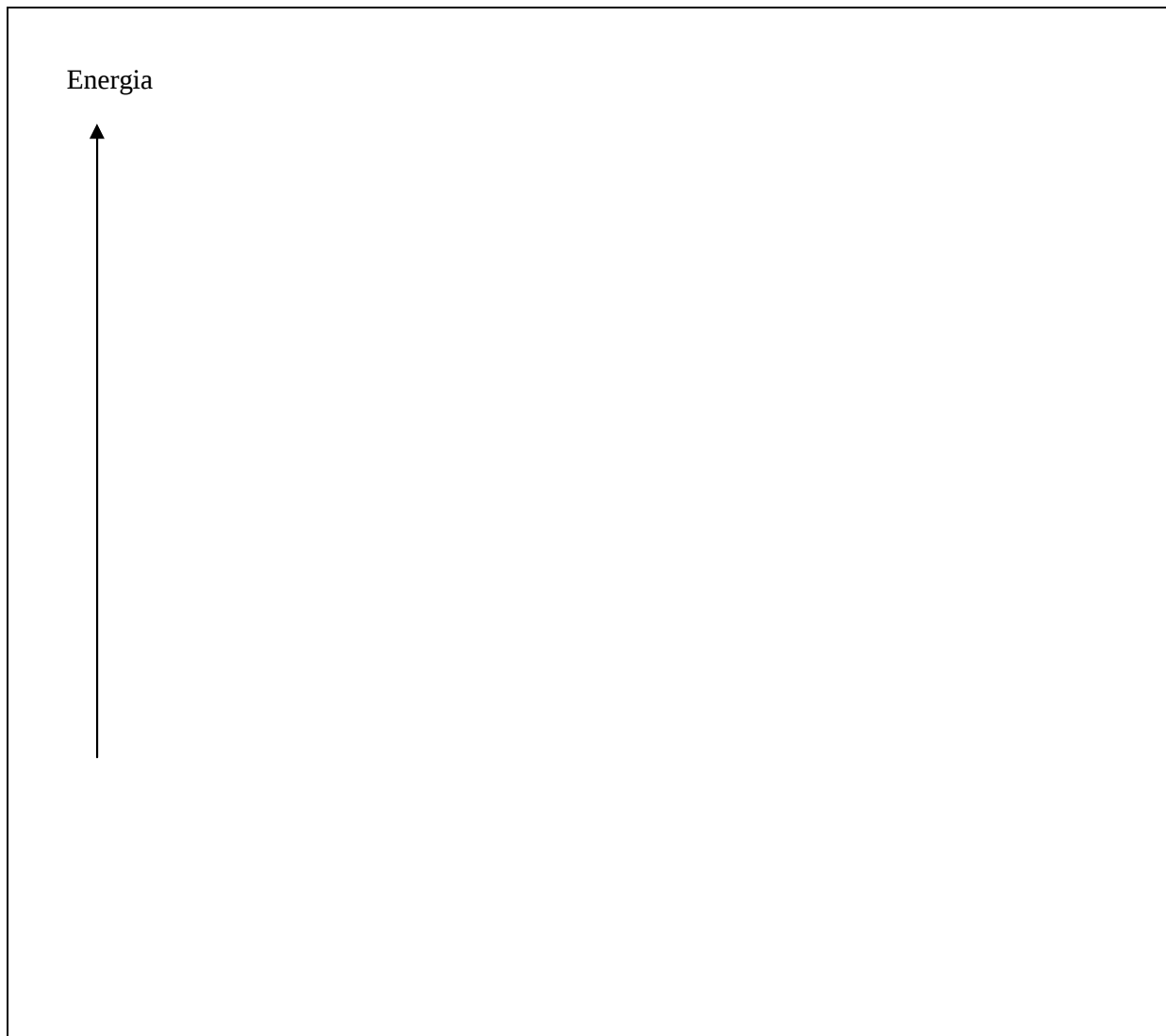
5. Model častice v jednorozmernej potenciálovej jame môžeme rozšíriť na trojrozmernú pravouhlú jamu s rozmermi L_x , L_y , a L_z , pričom výraz pre energetické hladiny bude:

$$E_{n_x, n_y, n_z} = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right)$$

Tri kvantové čísla n_x , n_y , and n_z môžu nadobúdať len celočíselné hodnoty a sú od seba nezávislé.

5.1 **Napište** vzorce pre tri **rôzne** najnižšie energie za predpokladu, že potenciálová jama je kocka s hranou L .

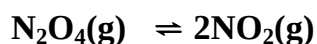
5.2 Hladiny s rovnakou energiou sa nazývajú degenerované. **Načrtnite** diagram všetkých energetických hladín, vrátane každého degenerovaného stavu, ktoré zodpovedajú kvantovým číslam 1 a 2 pre potenciálovu jamu v tvare kocky.



Teoretická úloha 2 5,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	1a	1b	2	3	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	12	8	3	10	33
			Hodnotenie					

Úloha 2. Tepelný stroj s disociáciou plynu

Dimérny oxid dusičitý tvorí v rovnováhe zmes s oxidom dusičitým:



1,00 mól N_2O_4 sa umiestnil do prázdnej nádoby s konštantným objemom $24,44 \text{ dm}^3$. Rovnovážny tlak pri 298 K bol 1,190 bar. Pri zahrievaní na 348 K sa tlak zvýšil na rovnovážnu hodnotu 1,886 bar.

1a. Vypočítajte ΔG^0 reakcie pri 298 K za predpokladu, že plyny sú ideálne.

1b. Vypočítajte ΔH^0 a ΔS^0 reakcie, za predpokladu, že sa s teplotou významne nemenia.

Výpočet:

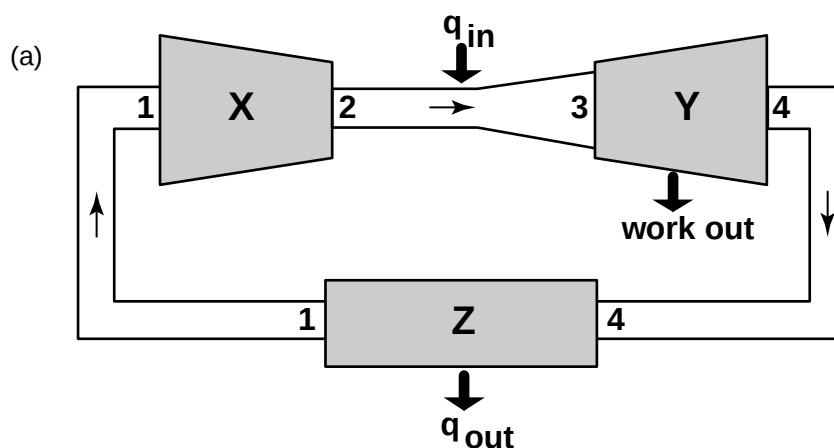
$$\Delta G^0 (298 \text{ K}) = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\Delta H^0 = \underline{\hspace{10cm}}$$

$$\Delta S^0 = \underline{\hspace{10cm}}$$

Ak nevypočítate ΔH^0 , použite v ďalších výpočtoch $\Delta H^0 = 30,0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Tendencia N_2O_4 reverzibilne disociovať na NO_2 umožňuje jeho potenciálne použitie v zdokonalených systémoch výroby energie. Zjednodušená schéma jedného takéhoto systému je na Obrázku (a). Na začiatku sa "studený" N_2O_4 stlačí ($1 \rightarrow 2$) v kompresore (X) a zahreje sa ($2 \rightarrow 3$). Časť N_2O_4 disociuje na NO_2 . Táto horúca zmes sa nechá expandovať ($3 \rightarrow 4$) cez turbínu (Y), čo spôsobí pokles aj teploty aj tlaku. Ďalej sa potom táto zmes ochladí ($4 \rightarrow 1$) vo výmeníku tepla (Z), čo podporuje opätovné vytvorenie N_2O_4 . Táto rekombinácia znižuje tlak, čo napomáha stlačeniu N_2O_4 na naštartovanie nového cyklu. Všetky tieto procesy sa uvažujú ako reverzibilné.

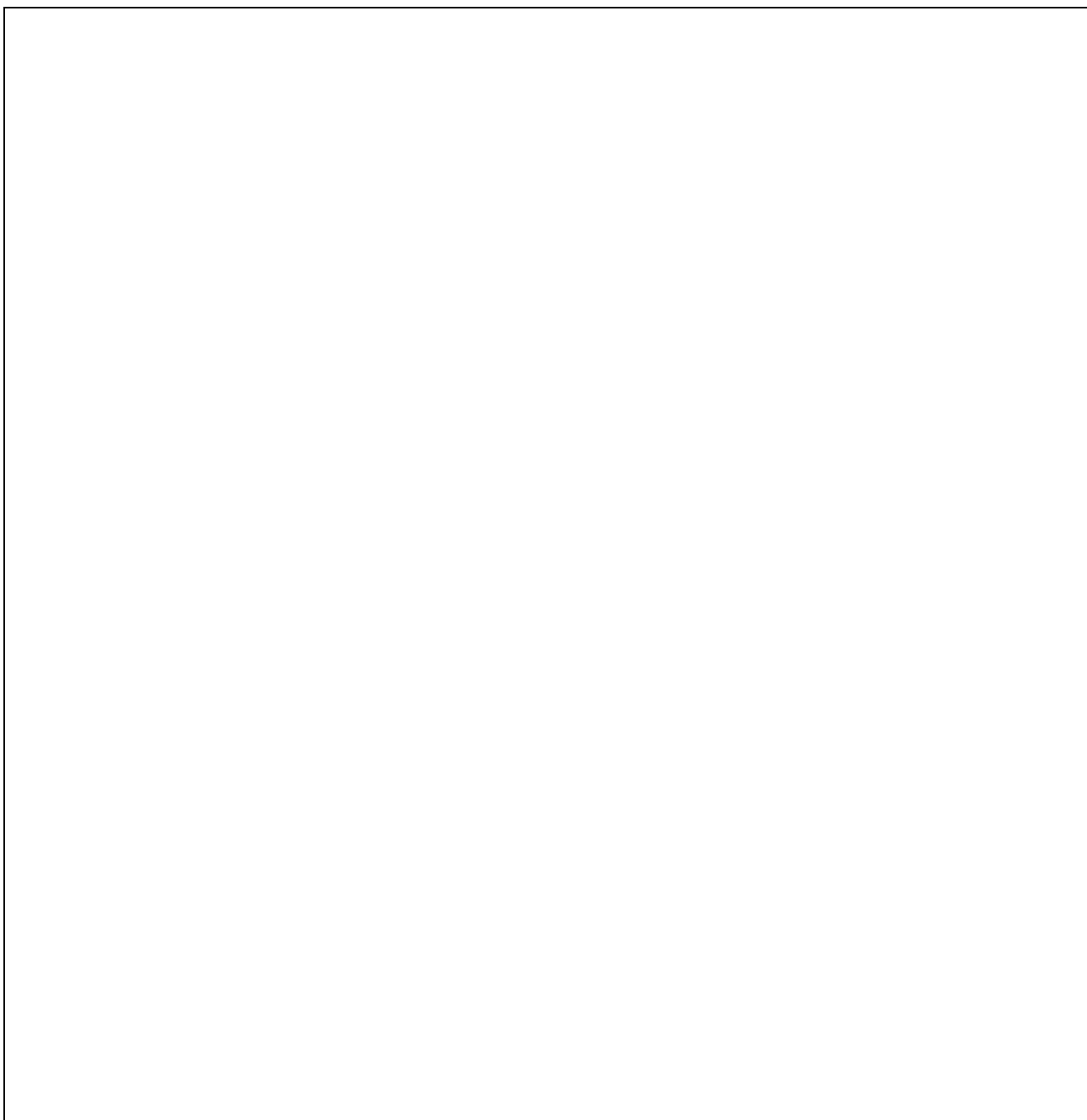


Na pochopenie výhod použitia reverzibilne disociujúcich plynov, ako je napríklad N_2O_4 , zameriame sa na krok $3 \rightarrow 4$ a budeme uvažovať ideálnu plynovú turbínu pracujúcu s 1 mol vzduchu (ktorý uvažujeme ako inertný nedisociujúci plyn). Počas reverzibilnej adiabetickej expanzie v turbíne **sa nevymieňa teplo**.

2. **Uved'te rovnicu** na výpočet práce vykonanej systémom $w(\text{vzduch})$ počas **reverzibilnej adiabetickej** expanzie na 1 mol vzduchu počas stupňa $3 \rightarrow 4$. Predpokladajte, že $C_{v,m}(\text{vzduch})$ (izochorická mólová tepelná kapacita vzduchu) je konštantná a teplota sa mení od T_3 do T_4 .

3. **Určte** pomer $w_{(\text{N}_2\text{O}_4)}/w_{(\text{vzduch})}$, v ktorom $w_{(\text{N}_2\text{O}_4)}$ je práca vykonaná plynom počas procesu reverzibilnej adiabetickej expanzie $3 \rightarrow 4$ v cykle pracujúcom s 1 mol N_2O_4 . T_3 a T_4 sú rovnaké ako v časti 2. Uvažujte tieto podmienky v stupni 3: $T_3 = 440 \text{ K}$ a $p_3 = 12,156 \text{ bar}$ a predpokladajte, že:

- (i) v stupni 3 plyn je v rovnovážnom zložení;
- (ii) $C_{v,m}$ je pre tento plyn rovnaká ako pre vzduch;
- (iii) adiabatická expanzia v turbíne prebieha takým spôsobom, že sa zloženie zmesi plynov ($\text{N}_2\text{O}_4 + \text{NO}_2$) do ukončenia expanzie nemení.



Teoretická úloha 3 9,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	1	2	3	4	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	8	14	2	12	36
			Hodnotenie					

Úloha 3. Zlúčeniny so striebrom vo vyšších oxidačných stavoch

Chémii striebra dominujú zlúčeniny Ag(I). Zlúčeniny so striebrom vo vyšších oxidačných stavoch (od +II do +V) nie sú bežné pre ich silné oxidačné účinky. Tieto zlúčeniny sú veľmi reaktívne a zo strieborných zlúčenín sa dajú syntetizovať elektrochemickou oxidáciou alebo chemickou oxidáciou pomocou silného oxidačného činidla.

1. V prípade niektorých oxidácií peroxodisíranom ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$) katalyzovaných Ag^+ sa dá izolovať čierna tuhá látka (**A**), ktorá má zloženie AgO .

1a. **Označte** políčko so správnou charakteristikou magnetického správania sa látky **A**, ak existuje ako $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$.

☐ Diamagnetická	☐ Paramagnetická
---	--

Röntgenograficky sa zistilo, že mriežka **A** obsahuje 2 typy atómov Ag (s rovnakým zastúpením), označme ich Ag1 a Ag2. Ag1 má lineárne koordinačné okolie tvorené atómami O (O-Ag-O) a Ag2 má štvorcovo planárnu koordináciu atómami O. Všetky atómy O sú ekvivalentné a majú rovnaké koordinačné okolie. Látke **A** sa teda má namiesto $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$ priradiť vzorec $\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2$.

1b. **Prirad'te** oxidačné čísla Ag1 a Ag2.

Oxidačné číslo atómov Ag1 :

Oxidační číslo atómov Ag2 :

1c. **Aké** je koordináčne číslo atómov O v mriežke látky **A**?

Koordináčne číslo atómov O =

1d. **Kol'ko** atómov Ag^{I} a Ag^{III} sa v mriežke látky **A** viaže k jednému atómu O?

Počet Ag^{I} =

Počet Ag^{III} =

1e. **Predpovedajte** magnetické správanie sa látky **A**. **Označte** príslušné políčko.



Diamagnetická



Paramagnetická

1f. Zlúčenina **A** sa môže pripraviť tiež zahrievaním roztoku Ag^+ s peroxodisíranom.

Napište rovnicu vzniku **A**.

2. Najprekvapujúcejšie zistenie, ktoré vyplynulo z kryštalografických štúdií oxidov striebra, je fakt, že zlúčenina **A** nezodpovedá vzorcu $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$. Tento fakt nám pomôžu pochopiť termochemické cykly.

Štandardné zmeny entalpie (pri 298 K):

Atóm	Štandardná zlučovacia entalpia ΔH_f° ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	1. ionizačná energia ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	2. ionizačná energia ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	3. ionizačná energia ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	1. elektrónová afinita ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	2. elektrónová afinita ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)
Cu(g)	337,4	751,7	1964,1	3560,2		
Ag(g)	284,9	737,2	2080,2	3367,2		
O(g)	249,0				-141,0	844,0

Zlúčenina	ΔH_f° (kJ·mol ⁻¹)
Ag ^I Ag ^{III} O ₂ (s)	-24,3
Cu ^{II} O(s)	-157,3

Vztah medzi **mriežkovou (lattice) disociačnou energiou** (U_{lat}) a **mriežkovou disociačnou entalpiou** (ΔH_{lat}) pre mriežku tvorenú jednoatómovými iónmi je $\Delta H_{\text{lat}} = U_{\text{lat}} + nRT$, kde n je počet iónov vo vzorcovej jednotke.

2a. Vypočítajte $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2)$ a $U_{\text{lat}}(\text{Cu}^{\text{II}}\text{O})$ pri 298 K. Predpokladajte, že ide o iónové zlúčeniny.

$U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2)$

$U_{\text{lat}}(\text{Cu}^{\text{II}}\text{O})$

Ak nevypočítate $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2)$ a $U_{\text{lat}}(\text{Cu}^{\text{II}}\text{O})$, použite pre ďalšie výpočty hodnoty:
 $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2) = 8310,0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; $U_{\text{lat}}(\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}) = 3600,0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Mriežkové disociačné energie mnohých zlúčenín sa dajú odhadnúť pomocou tohoto jednoduchého vzťahu:

$$U_{\text{lat}} = C \times \left(\frac{1}{V_{\text{m}}} \right)^{\frac{1}{3}},$$

kde V_{m} [nm^3] je objem vzorcovej jednotky a C [$\text{kJ} \cdot \text{nm} \cdot \text{mol}^{-1}$] je empirická konštanta charakteristická pre daný typ mriežky a ióny s určitými nábojmi.

Objem vzorcovej jednotky pre niektoré oxidy bol vypočítaný z kryštalografických údajov ako podiel objemu vzorcovej jednotky a počtu vzorcových jednotiek v elementárnej bunke:

Oxid	V_{m} (nm^3)
$\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}$	0,02030
$\text{Ag}^{\text{III}}_2\text{O}_3$	0,06182
$\text{Ag}^{\text{II}}\text{Ag}^{\text{III}}_2\text{O}_4$	0,08985

2b. Vypočítajte U_{lat} pre hypotetickú zlúčeninu $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$. Predpokladajte, že $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$ a $\text{Cu}^{\text{II}}\text{O}$ majú rovnaký typ mriežky, a že $V_{\text{m}}(\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}) = V_{\text{m}}(\text{Ag}^{\text{II}}\text{Ag}^{\text{III}}_2\text{O}_4) - V_{\text{m}}(\text{Ag}^{\text{III}}_2\text{O}_3)$.

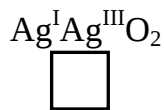
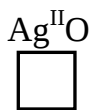
$U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{II}}\text{O})$

2c. Pomocou termodynamického cyklu, prípadne akokoľvek inak, **určte** zmenu entalpie pre premenu v pevnej fáze z $\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}$ na 1 mol $\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2$.

(Ak ste nevypočítali $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{II}}\text{O})$ v časti 2b, použite $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{II}}\text{O}) = 3180,0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ a $U_{\text{lat}}(\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2) = 8310,0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.)

$$\Delta H_{\text{rxn}} =$$

2d. **Označte zaškrtnutím**, ktorá zlúčenina je termodynamicky stabilnejšia.



3. Rozpustením $\text{Ag}^{\text{I}}\text{Ag}^{\text{III}}\text{O}_2$ vo vodnom roztoku HClO_4 vzniká najprv paramagnetická zlúčenina **B**, ktorá sa pomaly rozkladá za vzniku diamagnetickej zlúčeniny **C**. **Napište** rovnice vzniku **B** a **C**, ak viete, že to sú jediné vznikajúce zlúčeniny obsahujúce striebro.

Vznik **B**:

Vznik **C**:

4. Oxidáciou Ag^+ silnými oxidačnými činidlami v prítomnosti vhodných ligandov môžu vznikať komplexy striebra vo vysokých oxidačných stavoch. Komplex **Z** bol pripravený a analyzovaný nasledujúcim postupom:

K ľadovo studenému roztoku 5,000 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ sa pridal vodný roztok obsahujúci 0,500 g AgNO_3 a 2 ml pyridínu ($d = 0,982 \text{ g/ml}$). Reakčná zmes ožltla a potom sa vylúčila oranžová tuhá látka **Z** s hmotnosťou 1,719 g (po vysušení).

Elementárna analýza **Z** poskytla nasledujúce údaje: C 38,96 %, H 3,28 %, N 9,09 % (hm.).

Do vodného roztoku NH_3 sa pridalo 0,6164 g látky **Z**. Suspenzia sa povarila, čím vznikol číry roztok a došlo k úplnému rozkladu komplexu. Roztok sa okyslil nadbytkom vodného roztoku HCl . Vzniknutá zrazenina sa odfiltrovala, premyla a vysušila (v tme), hmotnosť získanej bielej tuhej látky **D** bola 0,1433 g. K filtrátu sa pridal nadbytok roztoku BaCl_2 , čím vznikla biela zrazenina **E** hmotnosti 0,4668 g (po vysušení).

4a. Určte empirický vzorec látky **Z** a vypočítajte výťažok syntézy v percentách.

4b. Oxidačné stavy Ag(IV) a Ag(V) sú mimoriadne nestabilné a existujú len v niektorých fluoridoch. Vznik ich komplexov s organickými ligandmi vo vodnom prostredí môžeme teda vylúčiť. Na potvrdenie oxidačného čísla striebra v látke **Z** sa odmeral jej efektívny magnetický moment $\mu_{\text{eff}} = 1,78 \text{ BM}$. Použite vzťah pre čisto spinový (spin only) moment a určte počet nespárených elektrónov v látke **Z** a molekulový vzorec látky **Z** (**Z** obsahuje jednojadrový komplex s jedným typom atómov Ag a jeden typ ligandov v koordinačnej sfére).

4c. Napište rovnice všetkých chemických reakcií prebiehajúcich pri syntéze a analýze látky **Z**.

Príprava **Z**:

Rozklad **Z** pôsobením NH_3 :

Vznik **D**:

Vznik **E**:

Teoretická úloha 4 4,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	1a	1b	2a	3a	3b	3c	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	4	1	10	2	6	4	27
			Hodnotenie							

Úloha 4. Zeiseho soľ

1. Zeiseho soľ, $K[PtCl_3C_2H_4]$, je jednou z prvých známych organokovových zlúčenín. Profesor univerzity v Kodani W. C. Zeise pripravil túto zlúčeninu v r. 1827 reakciou $PtCl_4$ s vriacim etanolom, do ktorého potom pridal chlorid draselný (Metóda 1). Táto zlúčenina sa dá pripraviť aj varom zmesi $K_2[PtCl_6]$ a etanolu (Metóda 2). Komerčne dostupná Zeiseho soľ sa pripravuje reakciou $K_2[PtCl_4]$ a eténu (Metóda 3).

1a. **Napište** vyčíslené rovnice pre každú z vyššie uvedených metód prípravy Zeiseho soli za predpokladu, že v metódach 1 a 2 sa na vznik 1 mólu Zeiseho soli spotrebujú 2 móly etanolu.

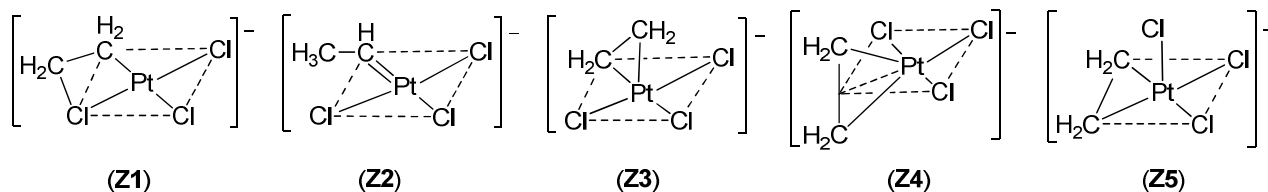
1b. Hmotnostné spektrum aniónu $[\text{PtCl}_3\text{C}_2\text{H}_4]^-$ obsahuje sériu pík s hmotnostnými číslami 325-337 o rôznych intenzitách.

Vypočítajte hmotnostné číslo aniónu zloženého z izotopov, ktoré majú najväčšie prírodné zastúpenie (použite nižšie uvedené údaje).

Izotop	$^{192}_{78}\text{Pt}$	$^{194}_{78}\text{Pt}$	$^{195}_{78}\text{Pt}$	$^{196}_{78}\text{Pt}$	$^{198}_{78}\text{Pt}$	$^{35}_{17}\text{Cl}$	$^{37}_{17}\text{Cl}$	$^{12}_6\text{C}$	$^{13}_6\text{C}$	^1_1H
Prírodné zastúpenie, %	0,8	32,9	33,8	25,3	7,2	75,8	24,2	98,9	1,1	99,99



2. Niektoré z pôvodne navrhnutých štruktúr aniónu Zeiseho soli vyzerali takto:

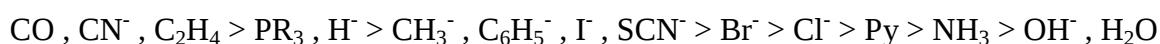


V štruktúrach **Z1**, **Z2** a **Z5** sú oba atómy uhlíka v jednej rovine s čiarkovaným štvorcom. [Predpokladajte, že v týchto štruktúrach nedochádza k žiadnym fluxionálnym procesom, pri ktorých by dochádzalo k výmene dvoch alebo viacerých koordinačných miest.]

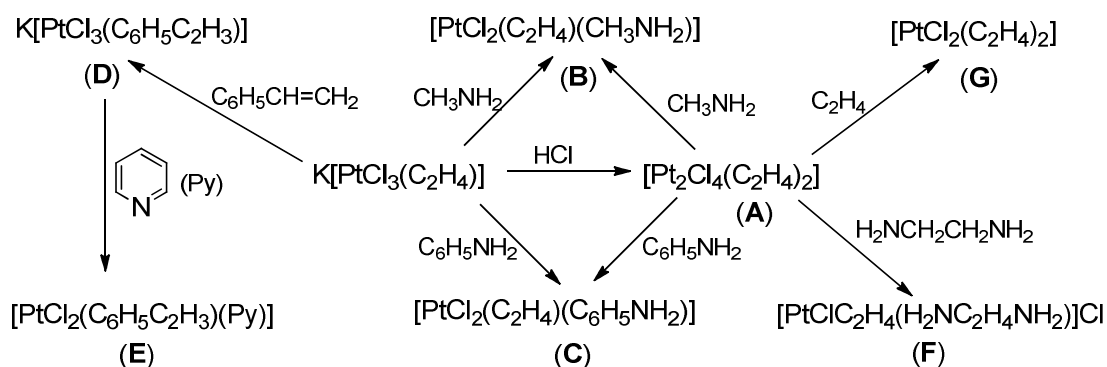
2a. NMR spektroskopia umožnila určiť, že štruktúra Zeiseho soli zodpovedá štruktúre **Z4**. Pre každú štruktúru **Z1-Z5** napište do tabuľky, v koľkých rozdielnych prostrediach sa v nej nachádzajú atómy vodíka a v koľkých rozdielnych prostrediach sa v nej nachádzajú atómy uhlíka.

Štruktúra	Počet rozdielnych prostredí pre atómy vodíka	Počet rozdielnych prostredí pre atómy uhlíka
Z1		
Z2		
Z3		
Z4		
Z5		

3. Pre substitučné reakcie na štvorcovo planárnych platnatých komplexoch sa ligandy dajú usporiadať podľa ich tendencie uľahčiť substitúciu v *trans*-polohe voči nim samotným (*trans*-efekt). Poradie ligandov je nasledovné:



V tejto sérii ligandov má ligand, ktorý je vľavo, silnejší *trans*-efekt, ako ligand vpravo. Niektoré reakcie Zeiseho soli a komplexu $[\text{Pt}_2\text{Cl}_4(\text{C}_2\text{H}_4)_2]$ sú uvedené v schéme:



3a. **Nakreslite štruktúrny vzorec látky A** za predpokladu, že molekula tohto komplexu má stred symetrie, neobsahuje väzbu Pt-Pt ani mostíkový alkén.

A

3b. **Nakreslite** štruktúrne vzorce látok **B, C, D, E, F** a **G**.

B	C	D
E	F	G

3c. **Navrhните**, čo je hybnou silou(silami) pri tvorbe **D** a **F** výberom jednej alebo viacerých z nasledujúcich tvrdení (napríklad: i a ii):

- i) vznik plynu,
- ii) vznik kvapaliny,
- iii) *trans*-efekt,
- iv) chelatačný efekt.

Štruktúra	D	F
Hybná sila(y)		

Teoretická úloha 5 6.5 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	1	2	3	4	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	6	4	4	6	20
			Hodnotenie					

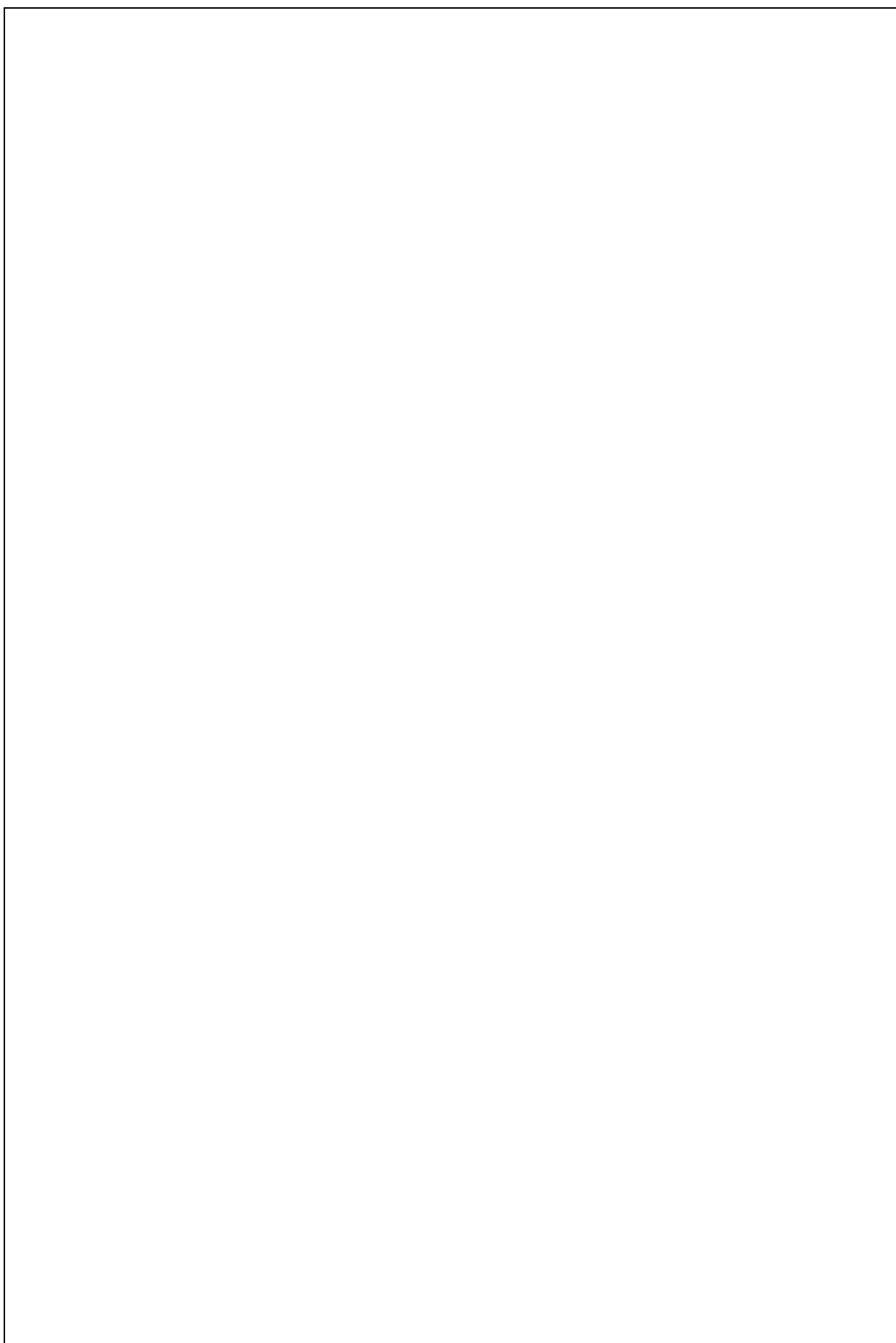
Úloha 5. Acidobázické rovnováhy vo vode

Roztok **X** obsahuje dve jednosýtne kyseliny (teda kyseliny *s jedným* kyslým atómom vodíka); HA má disociačnú konštantu $K_{HA} = 1,74 \times 10^{-7}$, HB má disociačnú konštantu $K_{HB} = 1,34 \times 10^{-7}$. Roztok **X** má pH 3,75.

1. Na úplné stitrovanie roztoku X je potrebné 100 ml roztoku $0,220 \text{ mol l}^{-1}$ NaOH.

Vypočítajte celkové koncentrácie ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$) oboch kyselín v roztoku **X**.

Pri výpočte môžete použiť vhodné zjednodušenia. [$K_v = 1,00 \times 10^{-14}$ pri 298 K.]



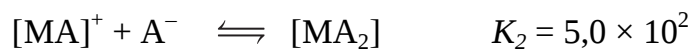
2. **Vypočítajte** pH roztoku **Y**, ktorý obsahuje celkové koncentrácie $6,00 \times 10^{-2} \text{ mol l}^{-1}$ NaA a $4,00 \times 10^{-2} \text{ mol l}^{-1}$ NaB.

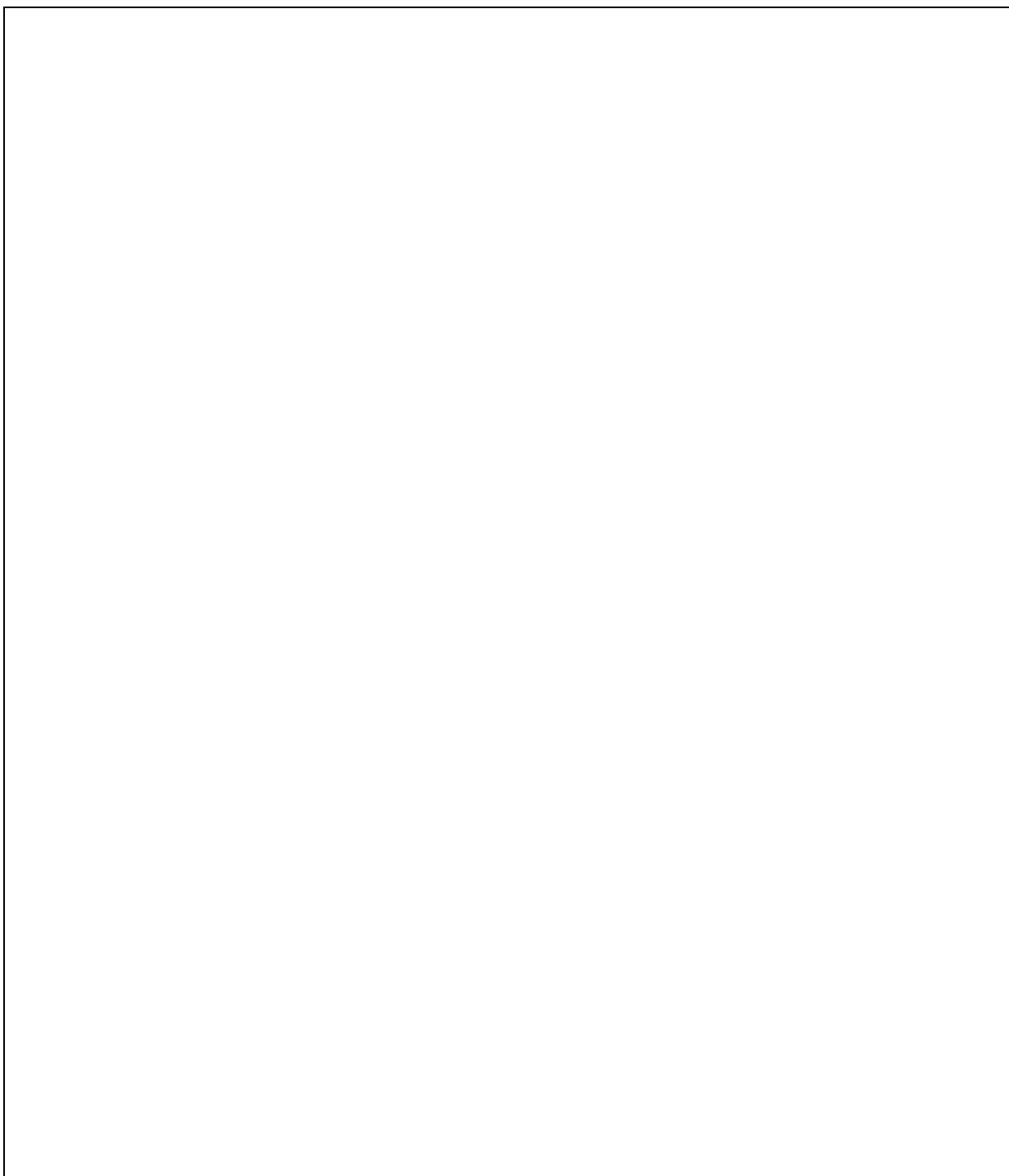
3. Pridaním veľkého množstva vody do roztoku **X** vznikne veľmi (nekonečne) zriedený roztok, v ktorom sa celkové koncentrácie kyselín blížia nule.

Vypočítajte stupeň disociácie v percentách pre obe jednotlivé kyseliny v tomto roztoku.

4. K roztoku **Y** sa pridal pufer, ktorý ho udrzuje na pH 10,0. Predpokladajte, že v takto vzniknutom roztoku **Z** nedošlo k zmene objemu.

Vypočítajte rozpustnosť ($\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) látky $\text{M}(\text{OH})_2$ v roztoku **Z**, ak viete, že anióny A^- a B^- tvoria s M^{2+} nasledujúce komplexy:

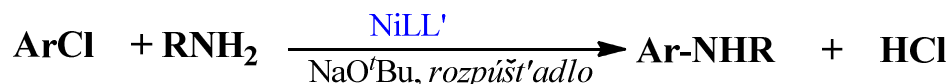




Teoretická úloha 6 7,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	6a	6b	6c	6d	6e	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	6	8	4	12	2	32
			Hodnotenie						

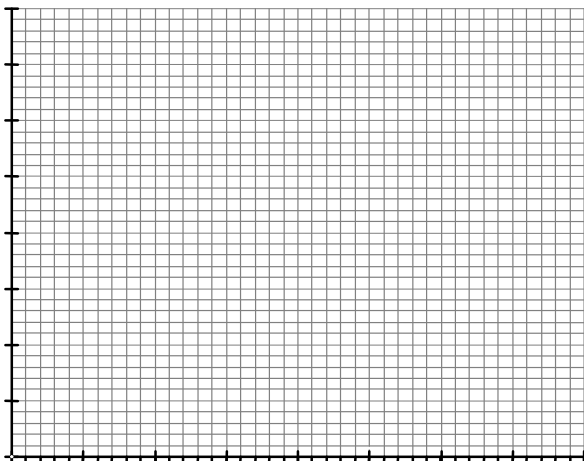
Úloha 6. Chemická kinetika

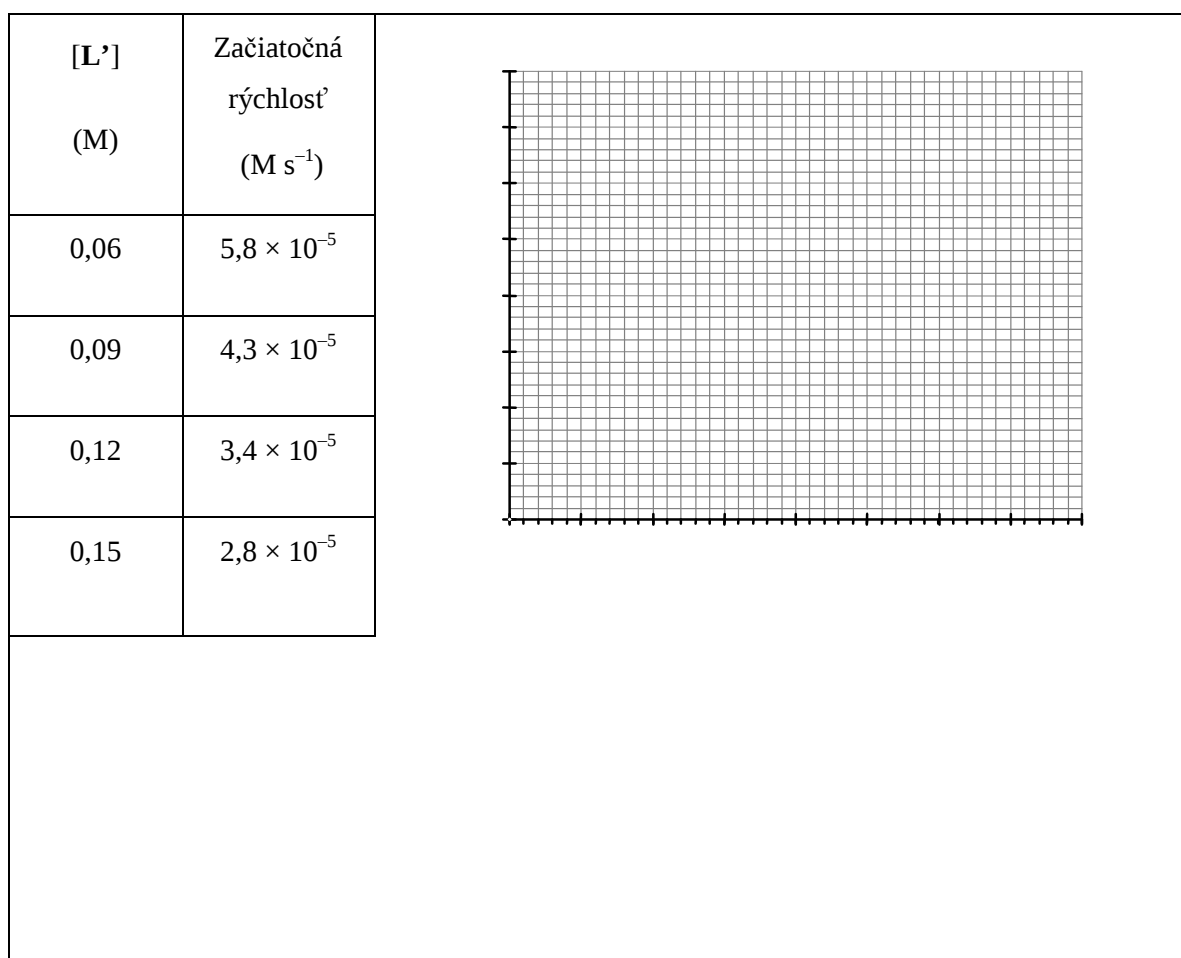
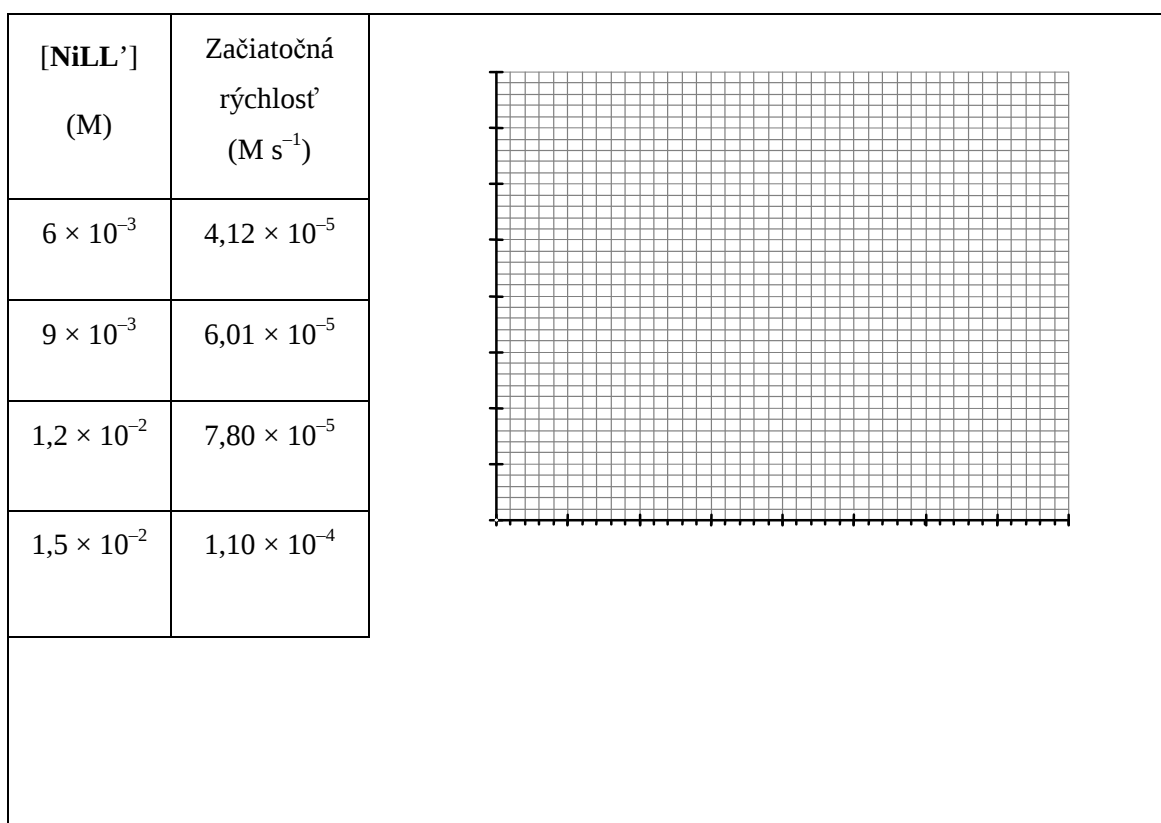
Aminácia arylhalogenidov katalyzovaná prechodnými kovmi sa stáva jednou z najefektívnejších metód syntézy arylaminov. Celková reakcia niklom katalyzovanej aminácie v zásaditom prostredí je:



kde NiLL' je komplex niklu ako katalyzátor. Reakcia prebieha v niekoľkých krokoch, pri ktorých sa môžu zúčastňovať katalyzátor, reaktanty a rozpúšťadlo.

6a. Na určenie poriadku reakcie vzhľadom na jednotlivé reaktanty sa uskutočnilo meranie závislosti začiatocnej rýchlosti reakcie od koncentrácie pre jednotlivé reaktanty pri veľkom nadbytku ostatných reaktantov. Namerané kinetické výsledky pri 298 K sú v tabuľkách. **(Využite grafy len ak chcete)**

[ArCl] (M)	Začiatočná rýchlosť (M s ⁻¹)	
0,1	$1,88 \times 10^{-5}$	
0,2	$4,13 \times 10^{-5}$	
0,4	$9,42 \times 10^{-5}$	
0,6	$1,50 \times 10^{-4}$	



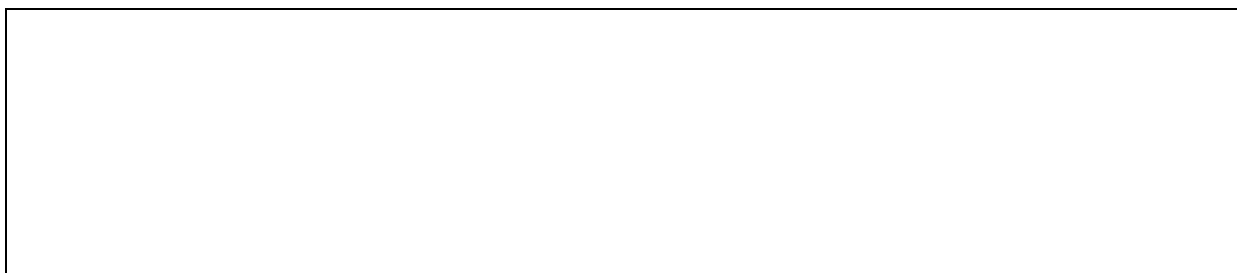
Určte poriadky reakcie vzhľadom na reaktanty za predpokladu, že sú celočíselné.

- Poriadok vzhľadom na **ArCl** =
- Poriadok vzhľadom na **NiLL'** =
- Poriadok vzhľadom na **L'** =

6b. Sledoval sa mechanizmus tejto reakcie. Pomocou ^1H , ^{31}P , ^{19}F , a ^{13}C NMR spektroskopie sa určili majoritné komplexy prechodných kovov v roztoku. Pomocou reakčnej kalorimetrie sa merali začiatkové rýchlosti. Medziprodukt $\text{NiL}(\text{Ar})\text{Cl}$ sa dá izolovať pri laboratórnej teplote. Prvé dva kroky reakcie zahŕňajú: disociáciu ligandu z NiLL' (krok 1) pri $50\text{ }^\circ\text{C}$, nasledovanú oxidačnou adíciou (krok 2) arylchloridu na NiL pri laboratórnej teplote (rt):



S použitím aproximácie stacionárneho stavu **odvod'te** rýchlostnú rovnicu vzniku $[\text{NiL}(\text{Ar})\text{Cl}]$.



V ďalších krokoch reaguje amín (RNH_2) a $t\text{BuONa}$. Na určenie poriadku reakcie vzhľadom na jednotlivé reaktanty sa uskutočnilo meranie závislosti začiatocnej rýchlosti reakcie od koncentrácie pre tieto dva reaktanty pri veľkom nadbytku ostatných reaktantov. Namerané výsledky sú v tabuľkách.

$[\text{NaO}^t\text{Bu}]$ (M)	Začiatočná rýchlosť ($\text{M}\cdot\text{s}^{-1}$)	
0,2	$4,16 \times 10^{-5}$	
0,6	$4,12 \times 10^{-5}$	
0,9	$4,24 \times 10^{-5}$	
1,2	$4,20 \times 10^{-5}$	

$[\text{RNH}_2]$ (M)	Začiatočná rýchlosť ($\text{M}\cdot\text{s}^{-1}$)	
0,3	$4,12 \times 10^{-5}$	
0,6	$4,26 \times 10^{-5}$	
0,9	$4,21 \times 10^{-5}$	
1,2	$4,23 \times 10^{-5}$	

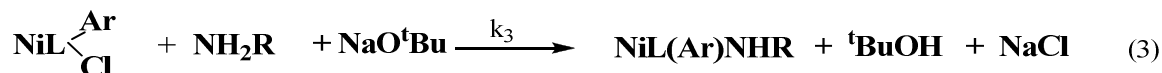
6c. Určte poriadok reakcie vzhľadom na každý z uvedených reaktantov za predpokladu, že sú celočíselné (**Využite grafy len ak chcete**)

- Poriadok vzhľadom na NaO^tBu =

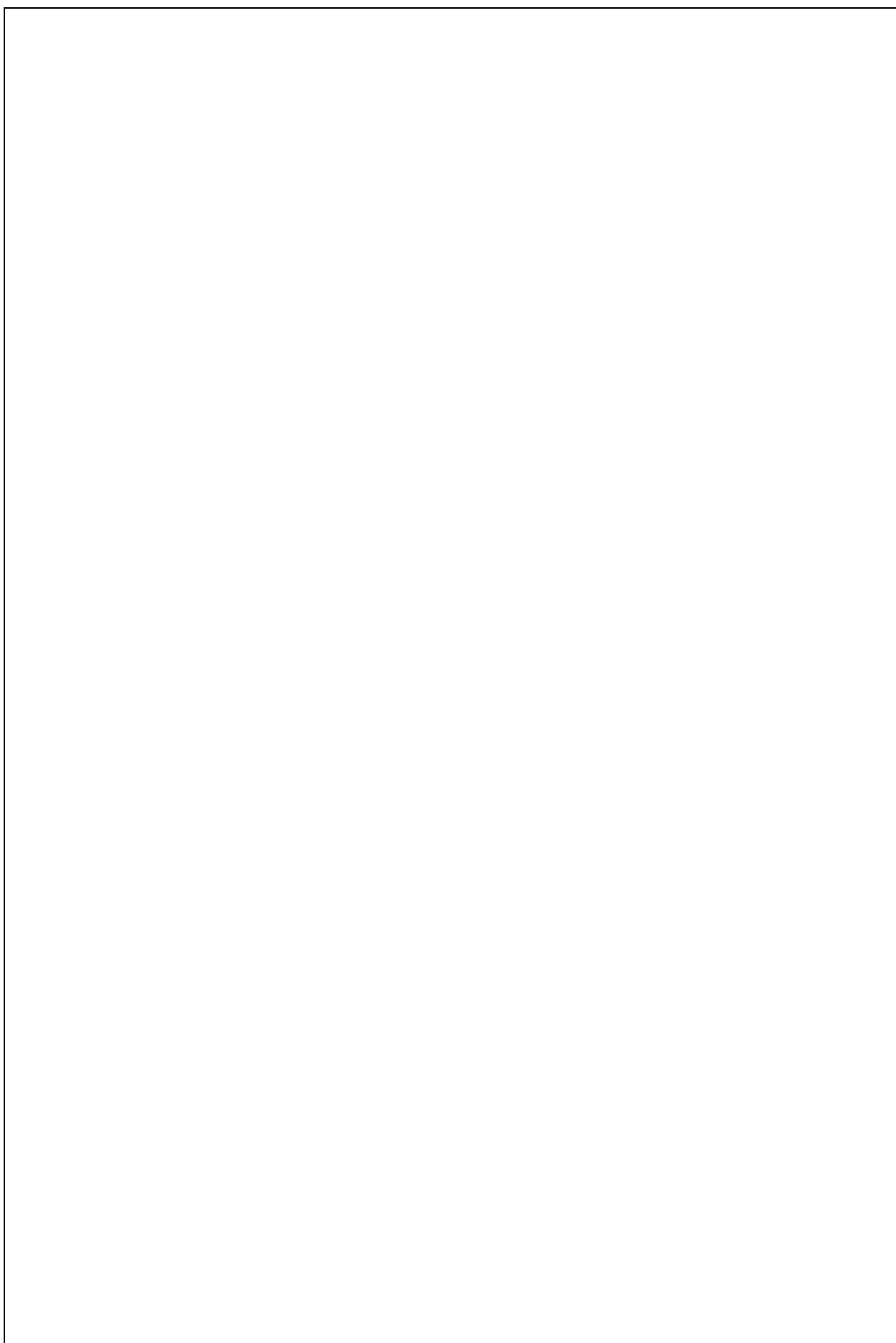
- Poriadok vzhľadom na RNH_2 =

Katalytického cyklu sa môže zúčastňovať katalyzátor vo forme viacerých rôznych štruktúr. Jeden krok cyklu je stupňom určujúcim rýchlosť.

Pre niklom katalyzovaný kapling arylhalogenidov s amínmi sa navrhol tento cyklus:



6d. Pre uvedený mechanizmus **použite** aproximáciu stacionárneho stavu a rovnicu látkovej bilancie na **odvodenie** rýchlostnej rovnice pre $d[\text{ArNHR}]/dt$ od začiatočnej koncentrácie katalyzátora $[\text{NiLL}']_0$ a koncentracii $[\text{ArCl}]$, $[\text{NH}_2\text{R}]$, $[\text{NaO}^t\text{Bu}]$ a $[\text{L}']$.



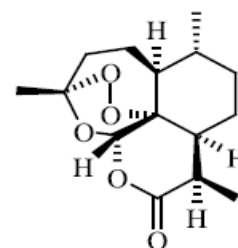
6e. Napište zjednodušenú formu rýchlostnej rovnice v **6d** ak predpokladáte, že k_1 má veľmi malú hodnotu.

$$d[\text{ArNHR}]/dt = - d[\text{ArCl}]/dt =$$

Teoretická úloha 7 8,0 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	7a	7b	7c	7d	7e	7f	Spolu
	Hodnotil		Mark	12	8	8	12	12	12	64
			Hodnotenie							

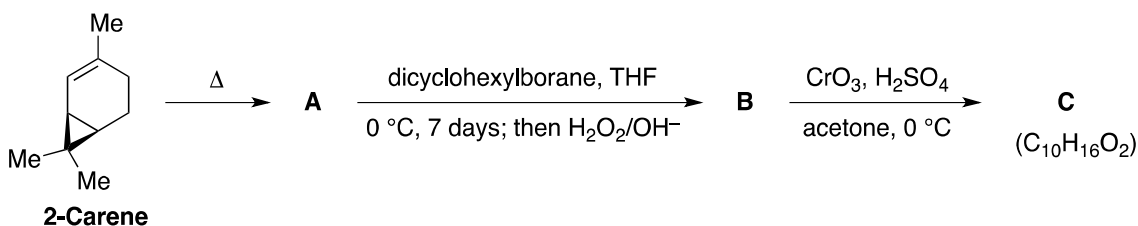
Úloha 7. Syntéza artemizininu

(+)-Artemizinin, izolovaný z rastliny *Artemisia annua* L. (palina ročná, astrovité), je antimalarikum účinné proti rezistentným kmeňom *Plasmodia*. Ďalej je popísaná jednoduchá syntetická cesta k artemizininu.



(+)-Artemisinin

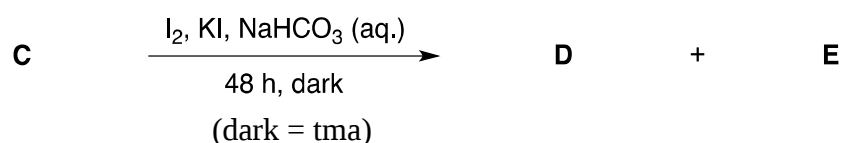
(+)-2-Karén sa najskôr podrobí pyrolýze, pri ktorej dochádza k narušeniu cyklopropánového kruhu a medzi ďalšími produktami vzniká (1R)-(+)-*trans*-izolimonén **A** ($C_{10}H_{16}$). Ten sa následne podrobí regioselektívnej hydroborácii dicyklohexylboránom za vzniku alkoholu **B** ako zmesi diastereomérov v 82% výťažku. V ďalšom kroku sa látka **B** premení Jonesovou oxidáciou na zodpovedajúcu γ,δ -nenасыtenú kyselinu **C** v 80% výťažku.



7a. **Nakreslite** štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčenín **A-C**.

A	B	C

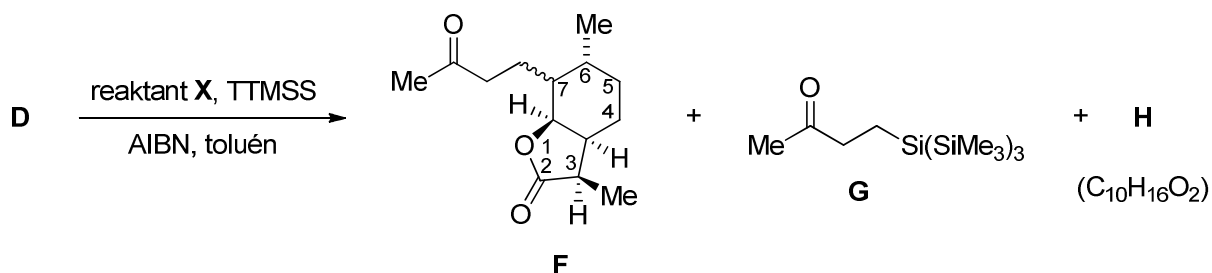
Kyselina **C** sa podrobila jódlaktonizácii pôsobením KI a I₂ vo vodnom roztoku NaHCO₃ za vzniku diastereomérnych laktónov **D** a **E** (ktoré sa líšia len stereochemiou na uhlíku C³) v 70% výťažku.



7b. Nakreslite štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčenín **D** a **E**.

D	E
----------	----------

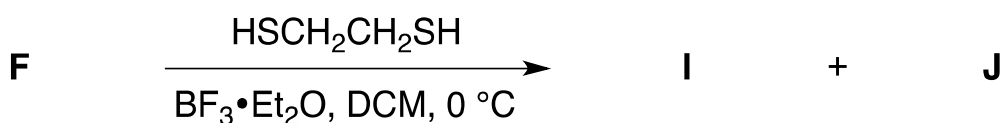
Jódlaktón **D** sa podrobil medzimolekulovej radikálovej reakcii s ketónom **X** za použitia tris(trimetylsilyl)silánu (TTMSS) a katalytického množstva AIBN (azobis(izobutyronitrilu)). Varom v toluéne takto vznikol alkylovaný laktón **F** v 72% výťažku ako zmes diastereoizomérov, ktoré sa líšia len stereochemiou na uhlíku C⁷, ďalej zlúčenina **G** (~10 %) a redukovaný produkt **H**, C₁₀H₁₆O₂ (<5%).



7c. **Nakreslite** štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčeniny **H** a reaktantu **X**.

X	H

Ketoskupina látky **F** reagovala s etánditiolom a $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ v dichlórmétáne (DCM) pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ za vzniku dvoch diastereomérnych tioketálových laktónov **I** a **J** v takmer kvantitatívnom výťažku (98 %). Zavedenie tioketálovej jednotky uľahčilo separáciu hlavného izoméru **J**, v ktorom je tioketálová skupina na opačnej strane kruhu než susedná metylová skupina.

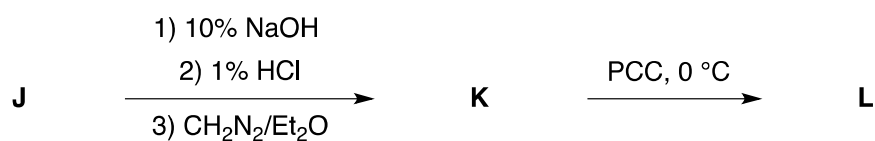


7d. **Nakreslite** štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčenín **I** a **J**.

I	J

Izomér **J** sa ďalej podrobil alkalickej hydrolýze a následnej esterifikácii diazometánom za vzniku hydroxy-metylesteru **K** v 50% výťažku. Hydroxy-metylester **K** sa premenil na keto-ester **L** pôsobením **PCC** (chlorochrómanom pyridínia) ako oxidačného činidla v dichlórmétáne (DCM).

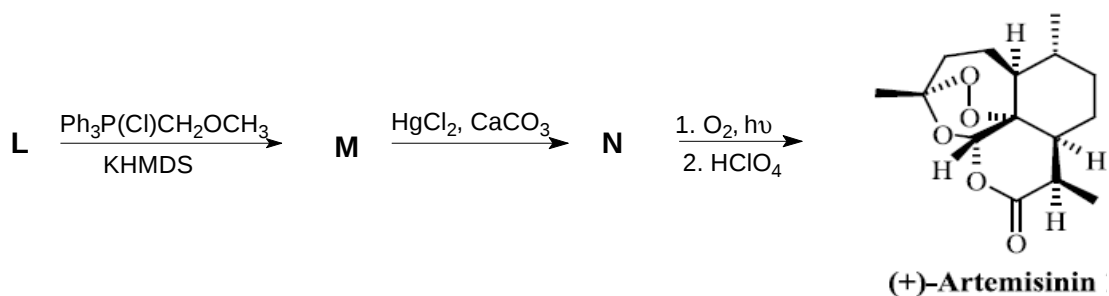
Štúdium látky **L** dvojdimenzionálnym NMR ukázalo, že dva atómy vodíka, ktoré susedia s novovzniknutou karbonylovou skupinou, sú navzájom v *cis*-usporiadaní, čo potvrdilo štruktúru látky **L**.



7e. **Nakreslite** štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčenín **K** a **L**.

K	L
----------	----------

Ketón **L** sa podrobil Wittigovej reakcii s trifenyl(metoxymetyl)fosfónium-chloridom a KHMDS (hexametyldisilazanidom, silnou nenukleofilnou bázou) za vzniku metyl(vinyl)éteru **M** v 45% výťažku. Odchránenie tioketálu pôsobením HgCl_2 a CaCO_3 viedlo k vzniku kľúčového intermediátu **N** (80 %). Na záver sa zlúčenina **N** fotooxidáciou a následnou kyslou hydrolyzou pôsobením 70 % HClO_4 premenila na cielený artemizinín.



7f. **Nakreslite** štruktúrne vzorce (vrátane stereochemie) zlúčenín **M** a **N**.

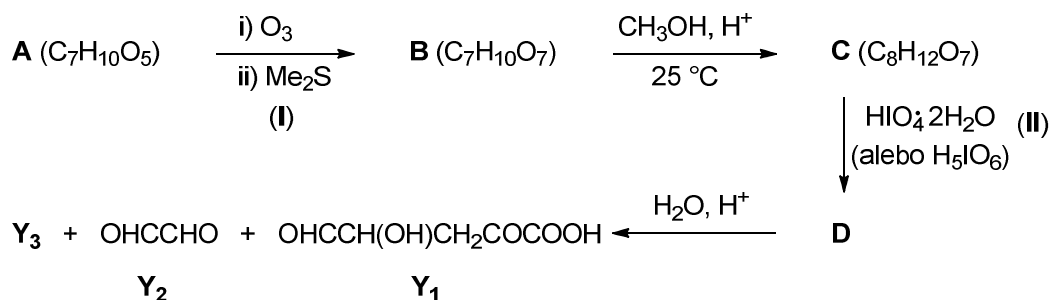
M	N
----------	----------

Teoretická úloha 8 8,0% z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	8a	8b	8c	8d	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	15	2	12	10	39
			Hodnotenie					

Úloha 8. Badyán

Illicium verum, bežne nazývaný badyán, je malý stálezelený strom, ktorý rastie v severovýchodnom Vietname. Plod badyánu sa používa v tradičnej vietnamskej medicíne. Je tiež hlavnou prísadou v aróme ‘phở’, obľúbenej vietnamskej polievky.

Kyselina **A** bola izolovaná z plodu badyánu. Štruktúra látky **A** sa stanovila z nasledujúceho sledu reakcií:



(I): tieto podmienky vedú nakoniec k štiepeniu väzby C=C, na každom jej uhlíku sa dvojitou väzbou naviaže atóm kyslíka

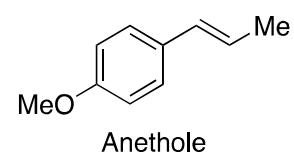
(II): tento proces oxidačného štiepenia 1,2-diolov štiepi C(OH)–C(OH) väzbu za tvorby zodpovedajúcich karbonylových zlúčenín

8a. Prekreslite štruktúrne vzorce zlúčenín **Y**₁ a **Y**₂ a **vydedukujte** štruktúrne vzorce zlúčenín **Y**₃ a **A**, **B**, **C**, **D**, ak v štruktúre **A** je iba jeden atóm vodíka na eténovej jednotke.

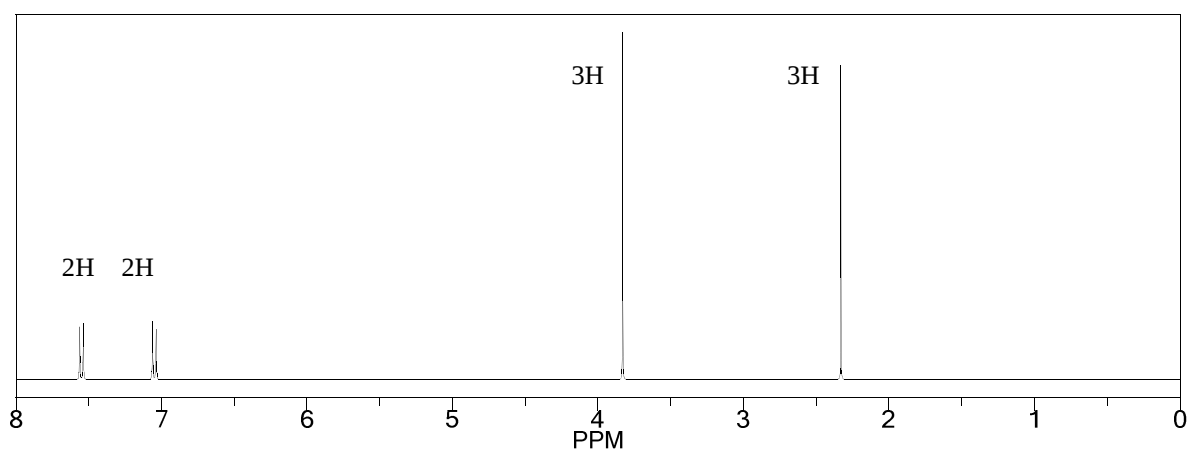
Y ₁	Y ₂	Y ₃

A	B
C	D

Anetol je hlavnou zložkou badyánovej esencie a je lacným chemickým prekursorom pre výrobu mnohých liečiv.



Reakcia anetolu s dusitanom sodným v kyseline octovej dáva kryštalickú látku **E** ($C_{10}H_{10}N_2O_3$). Na základe IČ spektra látka **E** neobsahuje nearomatickú dvojitú väzbu $C=C$. 1H NMR spektrum látky **E** je zobrazené nižšie.

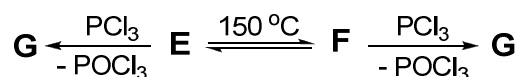


8b. Ktorý rozdiel medzi štruktúrami **E** a anetolu sa dá zistiť z ^1H NMR spektra?

- i) **E** obsahuje *cis*-C=C eténovú väzbu, kým v anetole je *trans*.
- ii) **E** nemôže obsahovať nearomatickú C=C väzbu.
- iii) **E** je aduktom anetolu a N_2O_2 .
- iv) **E** je aduktom anetolu a N_2O_3 .
- v) **E** neobsahuje dva *trans* eténové protóny, ktoré boli v anetole.

	Z vyššie uvedených možností vyberte jedno správne tvrdenie
Z ^1H NMR spektra	

Pri zahrievaní látky **E** niekoľko hodín na $150\text{ }^\circ\text{C}$ sa **E** čiastočne izomerizuje na látku **F**. Látka **F** za rovnakých podmienok poskytuje identickú rovnovážnu zmes, aká bola získaná z látky **E**. Obe látky **E** a **F** pri zahrievaní s chloridom fosforitým strácajú jeden atóm kyslíka za vzniku zlúčeniny **G**. Zlúčeniny **E** a **F** obsahujú rovnaké funkčné skupiny.



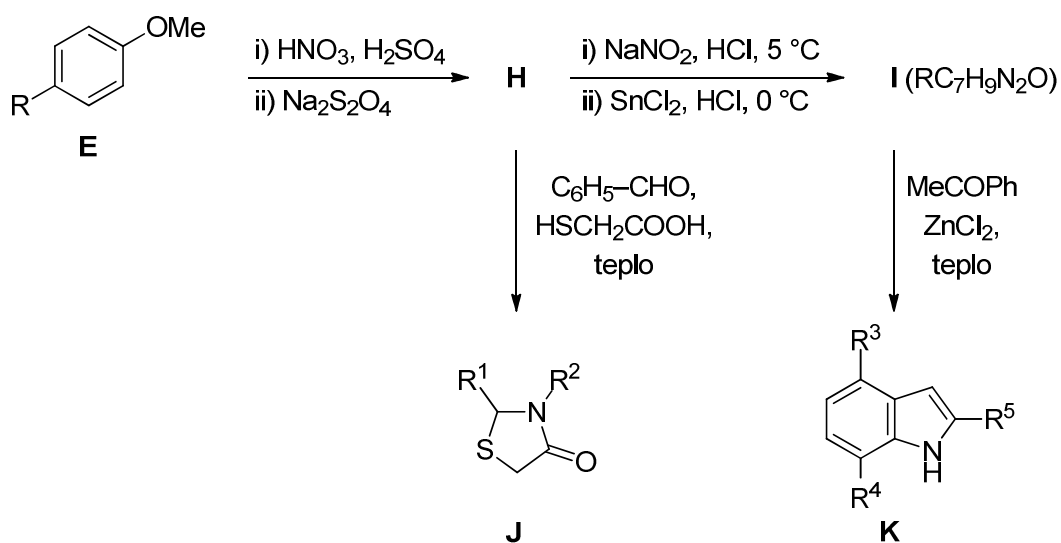
Ďalej sú uvedené chemické posuny metylových protónov v látkach **E**, **F** a **G**:

	E	F	G
$\text{CH}_3\text{-O}$	3,8 ppm	3,8 ppm	3,8 ppm
$\text{CH}_3\text{-C}$	2,3 ppm	2,6 ppm	2,6 ppm

8c. Navrhните štruktúry látok **E**, **F** a **G** za predpokladu, že tieto **NEOBSAHUJÚ** trojčlenné cykly.

E	F	G

V nižšie uvedenej schéme je zobrazená zjednodušená štruktúra zlúčeniny **E**. Skupina **R** sa nemení v celom zvyšku tejto úlohy. Zlúčenina **E** sa nitráciou a následnou redukciou ditioničitanom sodným zmení na látku **H**. Reakciou **H** s dusitanom sodným a kyselinou chlorovodíkovou pri 0–5 °C a následnou redukciou s chloridom cínatým vznikne látka **I** ($R-C_7H_9N_2O$). “One-pot” reakciou (reakciou troch zložiek v jednej banke) látky **H**, benzaldehydu a kyseliny tioglykolovej ($HSCH_2CO_2H$) vznikne látka **J**. Reakcia látky **I** a fenylmetylketónu v prítomnosti $ZnCl_2$ dáva látku **K**.



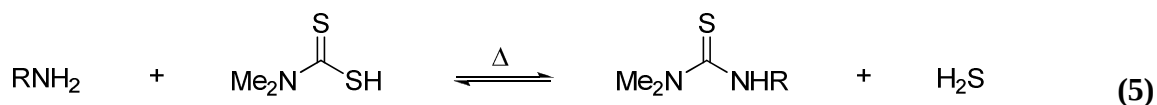
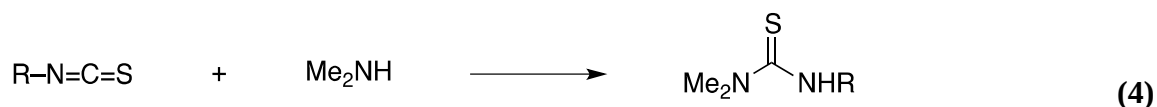
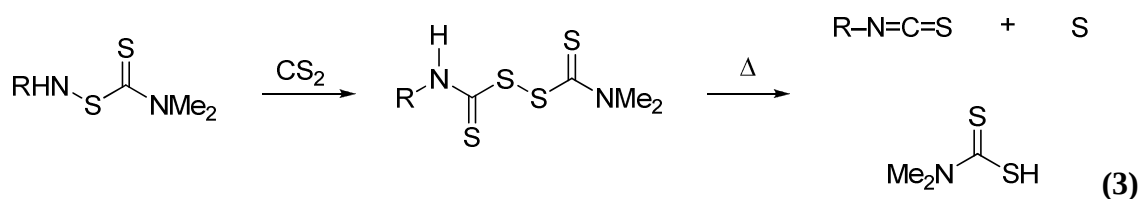
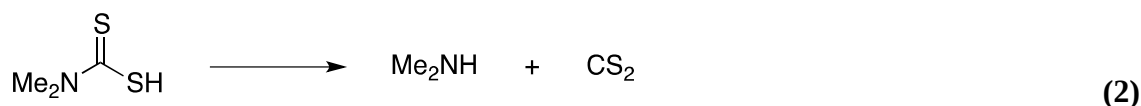
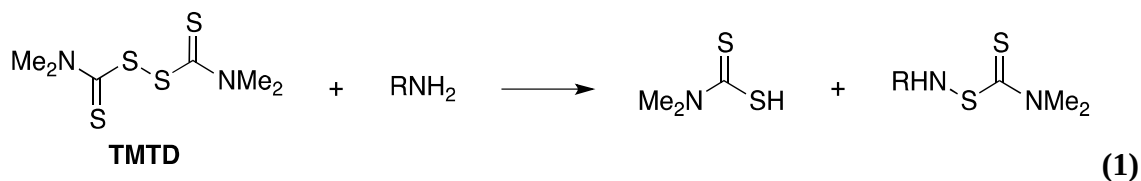
8d. Nakreslite štruktúrne vzorce látok **H**, **I**, **J** a **K**.

H	I
J	K

Teoretická úloha 9 7,5 % z celkového počtu bodov	Kód:		Podúloha	9a	9b	9c	9d	9e	9f	Spolu
	Hodnotil		Pomocné body	8	4	6	4	2	9	33
			Hodno- tenie							

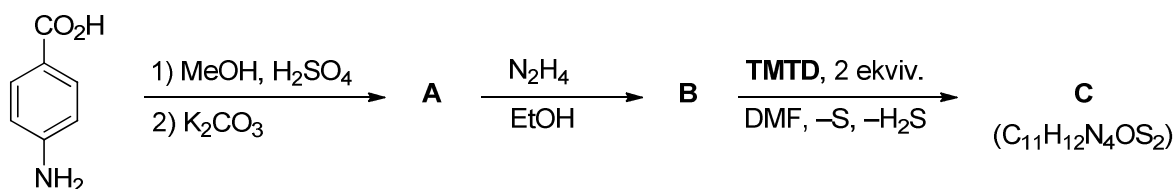
Úloha 9. Príprava heterocyklov

Tetrametyltiurám-disulfid (**TMTD**) sa v organickej chémii používa ako činidlo na prípravu mnohých funkčných skupín a heterocyklov obsahujúcich síru a dusík. Reakciami **TMTD** s primárnymi amínmi ako aj zodpovedajúcimi následnými premenami vzniká produkt(y) zobrazené v nasledovných schémach:

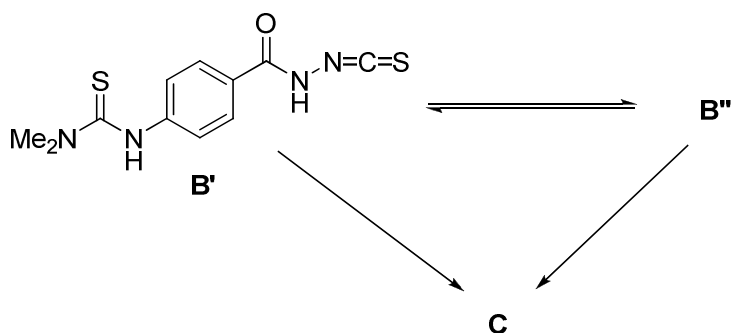


Podobné premeny sa pozorovali aj pri reakcii benzohydrazidov (obsahujú nukleofilnú NH₂ skupinu) a **TMTD**.

V nižšie uvedenej syntetickej schéme tiokarbamoylačnej reakcie arénkarbonylhydrazínu, odvodeného od kyseliny *para*-aminobenzoovej, s **TMTD** vzniká zlúčenina **C**, ktorá obsahuje heterocyklickú jednotku.



Pri vzniku látky **C** z látky **B** sa pozoroval vznik intermediátu **B'**. Tento intermediát tautomerizuje na **B''**. Látka **C** môže vznikať ako z látky **B'**, tak aj z **B''**.

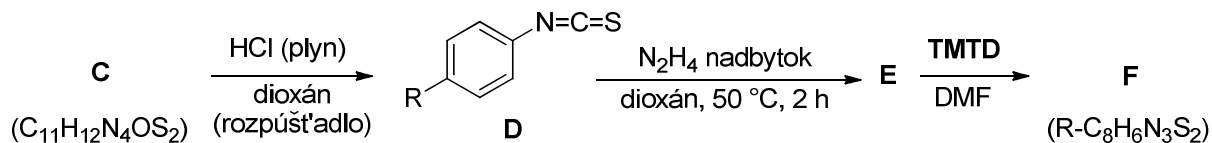


9a. **Nakreslite** štruktúrne vzorce látok **A**, **B** a **C**.

A	B	C

9b. **Navrhnite** štruktúru tautoméru **B''** a **pomocou šípok znázornite mechanizmus** vzniku látky **C**.

Zlúčenina **C** sa premenila na látku **F** podľa nasledovnej schémy:



[Skupina R ostáva nezmenená v celom zvyšku tejto úlohy.]

9c. Nakreslite štruktúrne vzorce látok **E** a **F**. (Odtiaľto až do konca úlohy nemusíte rozkresľovať štruktúru skupiny R)

E	F

Látka **E** sa získala, iba ak sa látka **D** pomaly pridávala do roztoku nadbytku N_2H_4 v dioxáne. Ak sa naopak N_2H_4 pridal do roztoku látky **D** v dioxáne, prednostne vznikne vedľajší produkt **D'** ($\text{R}_2\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{S}_2$).

9d. Nakreslite štruktúrny vzorec látky **D'**.

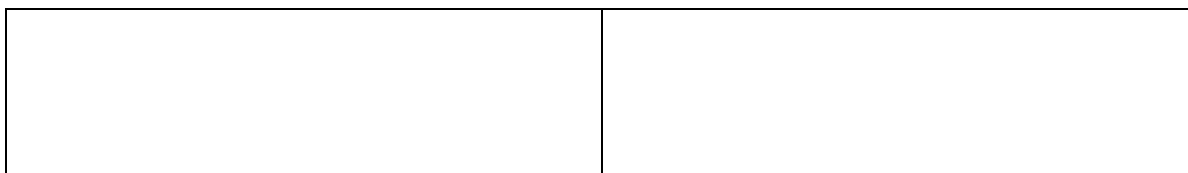
Miernym zahrievaním látky **D** s etanolamínom ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) v dioxáne počas 2 hodín vzniká látka **G** ($\text{R}-\text{C}_9\text{H}_{11}\text{N}_2\text{OS}$).

9e. **Nakreslite** štruktúrny vzorec látky **G**.

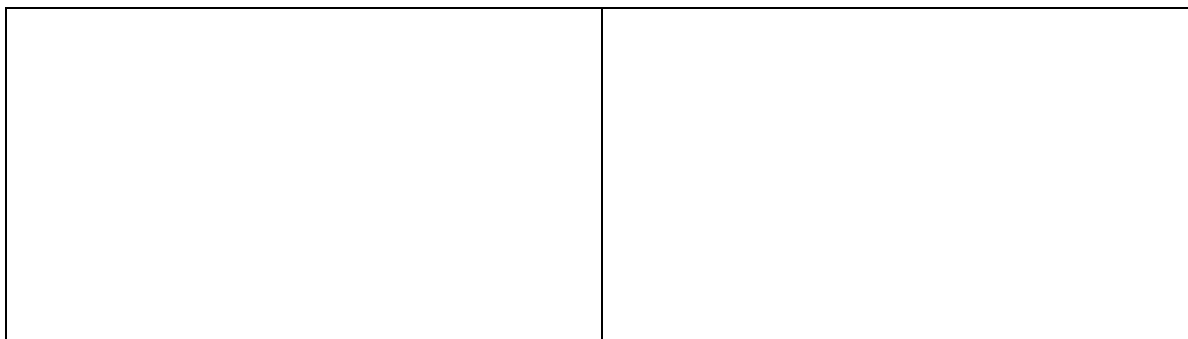


9f. Zahrievaním látky **G** v prítomnosti kyseliny *para*-toluénsulfónovej ako katalyzátora môžu vzniknúť viaceré rôzne produkty s päťčlánkovými heterocyklami.

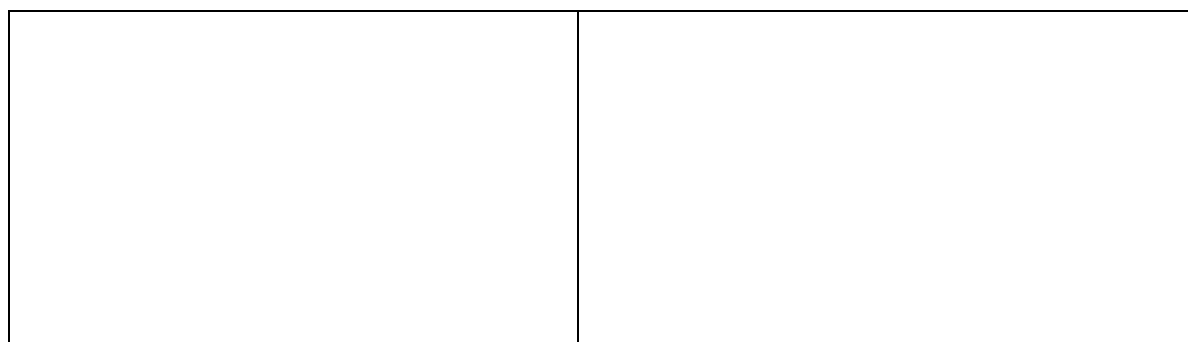
i) **Nakreslite** 2 takéto štruktúry, ktoré sa líšia sumárnym vzorcom.



ii) **Nakreslite** 2 takéto štruktúry, ktoré sú konštitučnými izomérmi.



iii) **Nakreslite** 2 takéto štruktúry, ktoré sú stereoizomérmi.



Periodická tabuľka prvkov

1	2											13	14	15	16	17	18
1 1 H 1.008																	2 2 He 4.003
2 3 Li 6.941	2 4 Be 9.012	Prechodné prvky										5 5 B 10.81	6 6 C 12.01	7 7 N 14.01	8 8 O 16.00	9 9 F 19.00	10 10 Ne 20.18
3 11 Na 22.99	12 12 Mg 24.31											13 13 Al 26.98	14 14 Si 28.09	15 15 P 30.98	16 16 S 32.07	17 17 Cl 35.45	18 18 Ar 39.95
4 19 K 39.10	20 20 Ca 40.08	21 21 Sc 44.96	22 22 Ti 47.87	23 23 V 50.94	24 24 Cr 52.00	25 25 Mn 54.94	26 26 Fe 55.85	27 27 Co 58.93	28 28 Ni 58.69	29 29 Cu 63.55	30 30 Zn 65.41	31 31 Ga 69.72	32 32 Ge 72.61	33 33 As 74.92	34 34 Se 78.96	35 35 Br 79.90	36 36 Kr 83.80
5 37 Rb 85.47	38 38 Sr 87.62	39 39 Y 88.91	40 40 Zr 91.22	41 41 Nb 92.91	42 42 Mo 95.94	43 43 Tc (97.9)	44 44 Ru 101.1	45 45 Rh 102.9	46 46 Pd 106.4	47 47 Ag 107.9	48 48 Cd 112.4	49 49 In 114.8	50 50 Sn 118.7	51 51 Sb 121.8	52 52 Te 127.6	53 53 I 126.9	54 54 Xe 131.3
6 55 Cs 132.9	56 56 Ba 137.3	57 57 La 138.9	72 72 Hf 178.5	73 73 Ta 180.9	74 74 W 183.8	75 75 Re 186.2	76 76 Os 190.2	77 77 Ir 192.2	78 78 Pt 195.1	79 79 Au 197.0	80 80 Hg 200.6	81 81 Tl 204.4	82 82 Pb 207.2	83 83 Bi 209.0	84 84 Po (209.0)	85 85 At (210.0)	86 86 Rn (222.0)
7 87 Fr (223.0)	88 88 Ra (226.0)	89 89 Ac (227.0)	104 104 Rf (261.1)	105 105 Db (262.1)	106 106 Sg (263.1)	107 107 Bh (262.1)	108 108 Hs (265)	109 109 Mt (266)	110 110 Ds (271)	111 111 Rg (272)	112 112 Cn (285)	113 113 Uut (284)	114 114 Fl (289)	115 115 Uup (288)	116 116 Lv (292)	117 117 Uus (294)	118 118 Uuo (294)

6 Lantanoidy

7 Aktinoidy

58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (144.9)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 174.0
90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237.1)	94 Pu (244.1)	95 Am (243.1)	96 Cm (247.1)	97 Bk (247.1)	98 Cf (251.1)	99 Es (252.1)	100 Fm (257.1)	101 Md (258.1)	102 No (259.1)	103 Lr (260.1)