

SLOVENSKÁ KOMISIA CHEMICKEJ OLYMPIÁDY

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

60. ročník, školský rok 2023/24

Kategória A

Školské kolo

RIEŠENIE A HODNOTENIE TEORETICKÝCH ÚLOH



RIEŠENIE A HODNOTENIE ÚLOH Z ANORGANICKEJ A ANALYTICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 60. ročník – školský rok 2023/24
Školské kolo

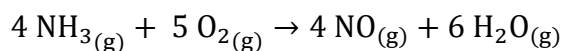
Martin Brokeš, Michal Juríček

Maximálne 18 bodov (b), resp. 36 pomocných bodov (pb).
Pri prepočte pomocných bodov na body použijeme vzťah: $b = 0,5 \cdot \text{pb}$

Úloha 1 (36 pb)

1.

(4 pb) Vyčíslená rovnica oxidácie amoniaku stlačeným vzduchom v stavovom tvare:



Za každý chybný alebo neuvedený stav -1 pb (minimálny počet bodov za úlohu je 0 pb). Za uvedenie iného, logicky správneho produktu než NO (napríklad N_2 , N_2O , NO_2) -2 pb. Za chybné stechiometrické koeficienty -2 pb.

2.

(4 pb) Hmotnostný tok \dot{m}_R bude súčtom hmotnostných tokov \dot{m}_A a \dot{m}_V , pretože v predohrievači a v odparke dochádza len k zmene teploty, resp. k zmene skupenstva. Hmotnosť sa zachováva (1 pb).

$$\dot{m}_R = \dot{m}_A + \dot{m}_V = 98 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} + 356 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} = 454 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Reakčná entalpia je zadaná v jednotkách kJ/mol, preto potrebujeme najskôr vypočítať mólový tok amoniaku (1 pb).

$$\dot{n}(\text{NH}_3) = \frac{\dot{m}_A}{M(\text{NH}_3)} = \frac{98 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5764,7 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$$

V skutočnosti za hodinu zreaguje len 95 % amoniaku (1 pb).

$$\dot{n}(\text{NH}_3)_{\text{zreag.}} = \dot{n}(\text{NH}_3) \cdot 0,95 = 5764,7 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 0,95 = 5476,5 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$$

Teplo vyprodukované reakciou za 2 hodiny prevádzky teda je (1 pb).
Predelenie absolútnou hodnotou stechiometrického koeficientu amoniaku je z dôvodu definície reakčnej entalpie vzťahnutej na 1 mol rozsahu reakcie.

$$Q = \Delta H_{\text{R}} \cdot \frac{\dot{n}(\text{NH}_3)_{\text{zreag.}}}{|\nu(\text{NH}_3)|} \cdot 2 \text{ h} = -905,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \frac{5476,5 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}}{4} \cdot 2 \text{ h}$$
$$Q = 2478,6 \text{ MJ}$$

3.

(2 pb) N₂, O₂, Ar, Pt, NH₃, N₂O

V prípade uvedenia aj oxidu uhličitého body nestrhávať.

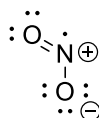
V prípade jednej chýbajúcej látky udeliť 1 pb.

V prípade dvoch a viac chýbajúcich látok udeliť 0 pb.

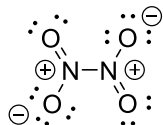
V prípade uvedenia názvov miesto chemických vzorcov –1 pb.

4.

(4 pb) Elektronový štruktúrny vzorec látky **A** (2 pb).



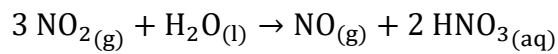
Elektronový štruktúrny vzorec látky **B** (2 pb).



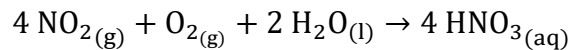
Elektronové štruktúrne vzorce látok sú zameniteľné. V prípade neúplného vyznačenia alebo nevyznačenia voľných elektrónových párov –1 pb za každú štruktúru. V prípade neúplného vyznačenia alebo nevyznačenia formálnych nábojov –1 pb za každý. Minimálny počet bodov za úlohu je 0 pb.

5.

(4 pb) Reakcia v absorpčnej kolóne je (4 pb)



Alternatívne uznať za plný počet bodov (4 pb) aj:



Za každý chybný stav –1 pb (minimálny počet bodov za úlohu je 0 pb).

Za chybné stechiometrické koeficienty –2 pb.

6.

(3 pb) K ohrievaniu absorpčnej kolóny prispievajú všetky exotermické deje, ktoré v nej prebiehajú. Týmito dejmi sú (3 pb).

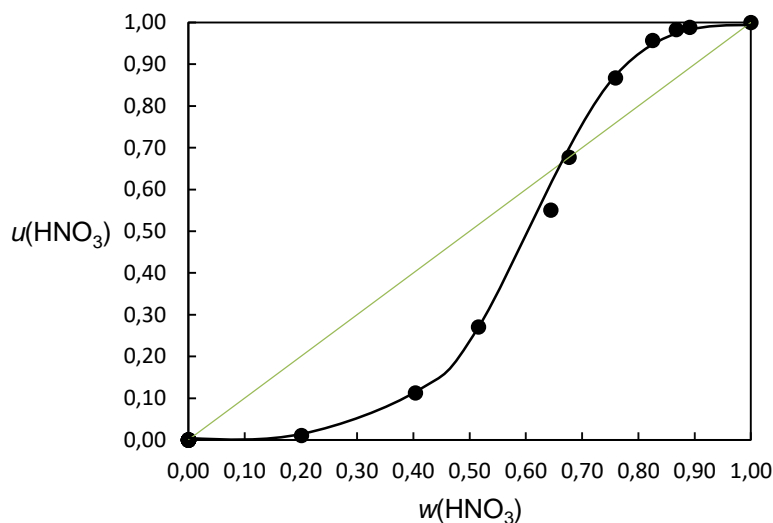
- Rozpúšťanie NO_2 vo vode
- Reakcia NO_2 s vodou
- Disociácia HNO_3 vo vode

V prípade uvedenia jedného nesprávneho deja udeliť 2 pb.

V prípade uvedenia dvoch a viac nesprávnych dejov udeliť 1 pb

7.

(6 pb) Graf rovnováhy by mal vyzeráť približne takto. Uhlopriečku do obrázku nie je nutné kresliť. Graf musí byť vyhotovený na milimetrový papier.



Poznámky k hodnoteniu grafu rovnováhy:

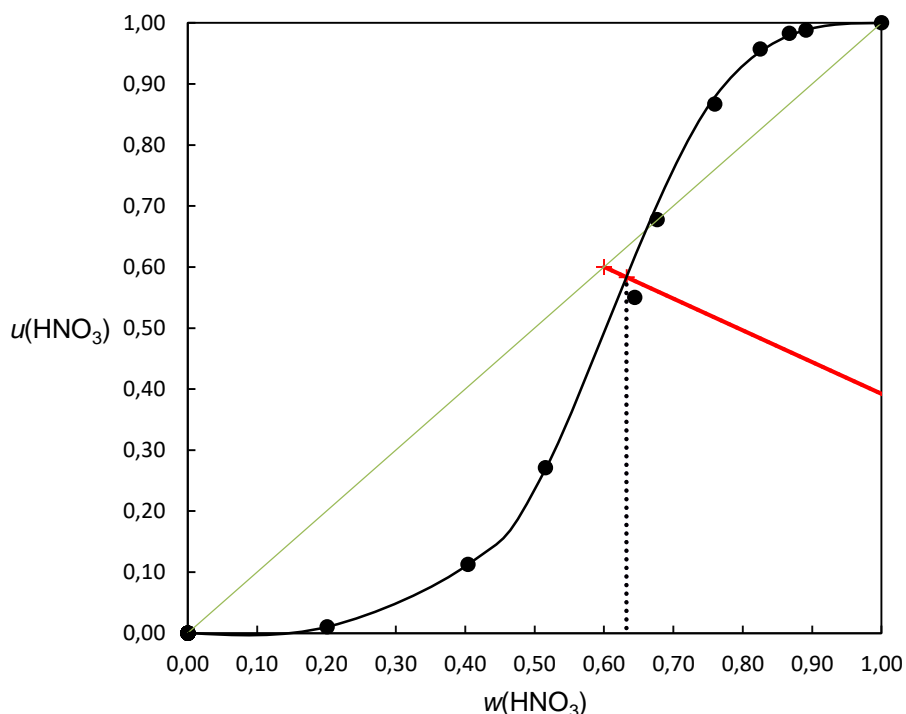
- V prípade rysovania tupou ceruzkou -3 pb (konečný zisk z úlohy nemôže byť nižší než 0 pb).
- Za správne a presne (s odchýlkou $\pm 0,5$ mm) vynesené body z tabuľky 3 pb. Ak budú 2 body vynesené nepresne, -1 pb, ak viac, udeliť 0 pb.
- Za správne označené osi 2 pb. Za nesprávne 0 pb.
- Za krivku preloženú bodmi 1 pb.

Body sa odčítajú za:

- Nevhodnú voľbu mierky osí (vhodná voľba mierky je napríklad 1 dielik = $0,1$ alebo 1 dielik = $0,25$ alebo 1 dielik = $0,02$, atď. Vhodná voľba nie je napríklad 1 dielik = $0,33$ alebo 1 dielik = $0,07$, atď) -2 pb

8.

(5 pb) Grafické riešenie destilácie 60% HNO_3 . Červenou je znázornená polpriamka bilancie. Na nej sú znázornené dva body, jeden je priesečník s pomocnou priamkou a druhý je priesečník s rovnovážnou krivkou. Z tohto bodu sa vynesie kolmica na os x a odčíta hodnota $w(\text{HNO}_3) = 0,63$.



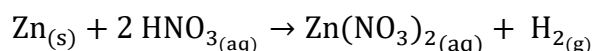
Poznámky k hodnoteniu grafu riešenia destilácie:

- V prípade rysovania tupou ceruzkou –3 pb (konečný zisk z úlohy nemôže byť nižší než 0 pb).
- Kolmica na os x nemusí v grafe figurovať.
- V prípade správne a presne narysovanej priamky alebo polpriamky udeliť 3 pb. V prípade, že priamka bilancie nepretína rovnováhu, udeliť 0 pb.
- Určenie priesečníku bilančnej priamky s rovnováhou a správne odčítanie hodnoty $w(\text{HNO}_3)$. Aj v prípade odchýlky od autorskej hodnoty $w(\text{HNO}_3) = 0,63$ udeliť plný počet bodov (2 pb) pokiaľ je odčítanie z grafu presné.

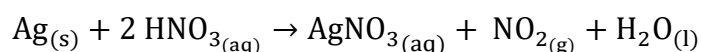
Na základe grafického riešenia 1 destilácia nebude stačiť na zakoncentrovanie kyseliny dusičnej na 68 %.

9.

(4 pb) Vyčíslená rovnica reakcie zinku s 68 % HNO_3 (2 pb).



Vyčíslená rovnica reakcie striebra s 68 % HNO_3 (2 pb).



Za 2 pb uznať aj správne vyčíslené rovnice oxidácie striebra, ktoré obsahujú namiesto NO_2 napríklad NO alebo aj NH_4NO_3 . V prípade, že vzniká v druhej rovnici vodík, udeliť 0 pb. Za každý nesprávne určený stav –1 pb. Za nesprávne vyčíslenú rovnicu –1 pb.

RIEŠENIE A HODNOTENIE ÚLOH Z FYZIKÁLNEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 60. ročník – školský rok 2023/24
Školské kolo

Ján Reguli

Maximálne 17 bodov = 68 pb (4 pb = 1 b)

Úloha 1 (3 body)

Budeme potrebovať poznať, koľko vzduchu je v nádobe

$$2 \text{ pb} \quad n_1 = \frac{p_0 V_0}{R T_0} = \frac{1000000 \cdot 0,02}{8,3145 \cdot 298,15} = 8,0679 \text{ mol}$$

Nádobu musíme zohriať na 1,5-násobok pôvodnej teploty, lebo takto sa má zvýšiť tlak (Charlesov alebo Gay-Lussacov zákon). Teplotu môžeme vypočítať aj zo stavovej rovnice.

$$2 \text{ pb} \quad T_1 = \frac{V_0 p_1}{n_1 R} = \frac{0,02 \cdot 1500000}{8,0679 \cdot 8,3145} = 447,22 \text{ K}$$

Pri izochorickom zohratí sa vnútorná energia plynu zvýšila dodaným teplom o

$$2 \text{ pb} \quad q = \Delta U = n_1 C_{V,m}(T_1 - T_0) = 8,0679 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,3145 \cdot (447,22 - 298,15) = \\ = 24999,25 \text{ J}$$

Po tepelnej izolácii nádoby sme k približne ôsmim molekulám vzduchu s teplotou 447,22 K pridali 5 mólov vzduchu s teplotou 298,15 K. Teplota v nádobe sa ustálila na hodnote, ktorú vypočítame z kalorimetrickej rovnice

$$n_1 C_{V,m}(T_{\text{def}} - T_1) = -n_2 C_{V,m}(T_{\text{def}} - T_2)$$

$$8,0679 \cdot (T_{\text{def}} - 447,22) = -5 \cdot (T_{\text{def}} - 298,15)$$

$$13,0679 \cdot T_{\text{def}} = 5 \cdot 298,15 + 8,0679 \cdot 447,22$$

$$4 \text{ pb} \quad T_{\text{def}} = \frac{(5 \cdot 298,15 + 8,0679 \cdot 447,22)}{13,0679} = 390,18 \text{ K}$$

a konečný tlak je

$$2 \text{ pb} \quad p_{\text{def}} = \frac{n R T_0}{V_2} = \frac{13,0679 \cdot 8,3145 \cdot 390,18}{0,02} = 2,1197 \text{ MPa}$$

Úloha 2 (2 body)

Najprv si potrebujeme vypočítať počiatočný a konečný objem plynu:

$$1 \text{ pb} \quad V_1 = n R T_1 / p = 5 \cdot 8,3145 \cdot 300 / 101325 = 0,12309 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ pb} \quad V_2 = n R T_2 / p = 5 \cdot 8,3145 \cdot 400 / 101325 = 0,16412 \text{ m}^3$$

Práca plynu pri izobarickej expanzii

$$2 \text{ pb} \quad w = -p \Delta V = -101325 \cdot (0,16412 - 0,12309) = -4157,369 \text{ J}$$

Teplo, ktoré plyn prijal je

2 pb $q = \Delta H = n C_{p,m}(T_2 - T_1) = 5 \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,3145 \cdot (400 - 300) = 14550,375 \text{ J}$

Vnútoraná energia plynu sa teda zvýšila o

2 pb $\Delta U = q + w = 14550,375 - 4157,369 = 10393,006 \text{ J}$

Úloha 3 (4 body)

Reakciu $\text{I}_2(\text{g}) + \text{C}_5\text{H}_8(\text{g}) = 2 \text{HI}(\text{g}) + \text{C}_5\text{H}_6(\text{g})$ si zapíšeme v tvare $\text{A} + \text{B} = 2 \text{C} + \text{D}$
Stechiometrické koeficient teda sú $\nu_A = -1$, $\nu_B = -1$, $\nu_C = 2$, $\nu_D = 1$, $\sum \nu_i = 1$.
Rozsah reakcie je

2 pb $\xi = \frac{\Delta n_i}{\nu_i} = -\Delta n_A = -\Delta n_B = \frac{\Delta n_C}{2} = \Delta n_D = n_{0A} - n_A = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ mol}$

Látkové množstvá reakčných zložiek v rovnovážnej sústave sú

$$n_A = n_{0A} + \Delta n_A = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ mol}$$

$$n_B = n_{0B} + \Delta n_B = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ mol}$$

$$n_C = n_{0C} + \Delta n_C = 0 + 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ mol}$$

$$n_D = n_{0D} + \Delta n_D = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ mol}$$

4 pb $n = \sum n_i = 3,5 \text{ mol}$

Pre štandardný stav I. s $p^\circ = 101,325 \text{ kPa}$

$$K_p = (p^\circ)^{-\sum \nu_i} \prod p_i^{\nu_i} = \left(\frac{p}{p^\circ}\right)^{\sum \nu_i} \prod (n_i)^{\nu_i} = \frac{n_C^2 n_D p}{n n_A n_B p^\circ}$$

4 pb $K_p = \frac{n_C^2 n_D p}{n n_A n_B p^\circ} = \frac{1^2 \cdot 0,5 \cdot 80000}{3,5 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot 101325} = 0,1504$

Teplotu, pri ktorej sa ustanoví takáto rovnováha, vypočítame z teplotnej závislosti rovnovážnej konštanty

$$\ln K_p(T, p^\circ = 101325 \text{ Pa}) = 6,4768 - 4844/T$$

$$\ln K_p = \ln 0,1504 = 6,4768 - 4844/T$$

$$\ln 0,1504 - 6,4768 = -4844/T$$

4 pb $T = \frac{4844}{6,4768 - \ln 0,1504} = 578,647 \text{ K}$

2 pb $\Delta_r G^\circ = -R T \ln K_p = -8,3145 \cdot 578,647 \cdot \ln 0,1504 = 9114,54 \text{ J mol}^{-1}$

Úloha 4 (5 bodov)

Pre rozklad fosfánu $4 \text{PH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{P}_4(\text{g}) + 6 \text{H}_2(\text{g})$ t. j. reakciu $4 \text{A} \rightarrow \text{B} + 6 \text{C}$ majú stechiometrické koeficienty hodnoty

$\nu_A = -4$, $\nu_B = 1$, $\nu_C = 6$, $\sum \nu_i = 3$. V rýchlostnej rovnici je parciálny tlak reaktanta, merať však vieme len celkový tlak. Musíme preto použiť vzťah

2 pb $\frac{\Delta p_i}{\nu_i} = \frac{\Delta p}{\sum \nu_i}$, teda $\frac{\Delta p_A}{-4} = \frac{\Delta p_B}{1} = \frac{\Delta p_C}{6} = \frac{\Delta p}{3}$,

V polčase reakcie je

$$4 \text{ pb} \quad \frac{p_{0A}/2 - p_{0A}}{-4} = \frac{p_{0A}}{8} = \frac{p_C}{6} = p_B$$

a teda parciálny tlak vodíka bude

$$4 \text{ pb} \quad p_C = \frac{6 p_{0A}}{8} = \frac{3 \cdot 100}{4} = 75 \text{ kPa}$$

Celkový tlak v polčase je

$$4 \text{ pb} \quad p = p_A + p_B + p_C = \frac{p_{0A}}{2} + \frac{p_{0A}}{8} + p_C = \frac{100}{2} + \frac{100}{8} + 75 = 137,5 \text{ kPa}$$

(tlak môžeme vypočítať aj zo vzťahu

$$\frac{\Delta p_A}{-4} = \frac{\Delta p}{3} \quad \text{ktorý má pre polčas tvar} \quad \frac{-p_0/2}{-4} = \frac{p - p_0}{3}$$

$$\text{odkiaľ máme } p = \frac{3 p_0}{8} + p_0 = \frac{11 p_0}{8} = 137,5 \text{ kPa}$$

Mólový zlomok vodíka vtedy je

$$2 \text{ pb} \quad x_C = \frac{n_C}{n} = \frac{p_C}{p} = \frac{75}{137,5} = 0,54545$$

Tlak v sústave po rozložení všetkého fosfánu dostaneme opäť zo vzťahu v ktorom $p_A = 0$

$$2 \text{ pb} \quad \frac{\Delta p_A}{-4} = \frac{\Delta p}{3} \quad \text{čiže} \quad \frac{1}{4} p_0 = \frac{1}{3} (p_\infty - p_0) \quad \text{odkiaľ dostaneme}$$

$$2 \text{ pb} \quad p_\infty = \frac{3}{4} p_0 + p_0 = \frac{7}{4} p_0 = \frac{7 \cdot 100}{4} = 175 \text{ kPa}$$

Úloha 5 (3 body)

Rozklad dimetyléru si opíšeme rovnicou $A \rightarrow B + C + D$. Ide o reakciu 1. poriadku, ktorej priebeh opisuje rovnica $\ln \frac{p_{0A}}{p_A} = k t$. Parciálny tlak reaktantu do nej dosadíme zo vzťahu $\frac{\Delta p_i}{v_i} = \frac{\Delta p}{\sum v_i}$, ktorý má pre naše zadanie tvar

$$2 \text{ pb} \quad \frac{p_A - p_{0A}}{-1} = \frac{p - p_0}{2}$$

$$p_0 - p_A = \frac{p - p_0}{2}$$

$$4 \text{ pb} \quad p_A = p_0 - \frac{p - p_0}{2} = \frac{3 p_0 - p}{2}$$

Rýchlostná rovnica teda má tvar

$$2 \text{ pb} \quad \ln \frac{p_{0A}}{p_A} = \ln \frac{2 p_0}{3 p_0 - p} = k t$$

a rýchlostná konštanta má hodnotu

$$4 \text{ pb} \quad k = \frac{1}{t} \ln \frac{2 p_0}{3 p_0 - p} = \frac{1}{20} \ln \frac{2 \cdot 41,80}{3 \cdot 41,80 - 75} = 0,0253 \text{ min}^{-1}$$

RIEŠENIE A HODNOTENIE ÚLOH Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 60. ročník – školský rok 2023/24
Školské kolo

Michal Májek, Radovan Šebesta

Maximálne 17 bodov
85 pb x 0,2 = 17 b

Úloha 1 (6,8 b, 34 pb)

a) 1 pb za **A-P**, 16 pb

A, B – bróm, Fe (alebo FeBr_3 či iná Lewisova kyselina)

C, D – kyselina dusičná, kyselina sírová

E – Mg, éter

F – oxid uhličitý

G – HCl (alebo iná silná kyselina)

H, I – Pd/C, vodík

J, K – NaNO_2 , HCl

L – voda alebo voda a kyselina sírová

M, N – metanol, kyselina sírová

O – LiAlH_4

P – kyselina malónová

b) III – prítomnosť minerálnej kyseliny (napr. kyselina sírová), 1 pb

c) 1 pb za **Q-U**, 5 pb

Q – voda

R – NaNH_2 (alebo iná silná báza)

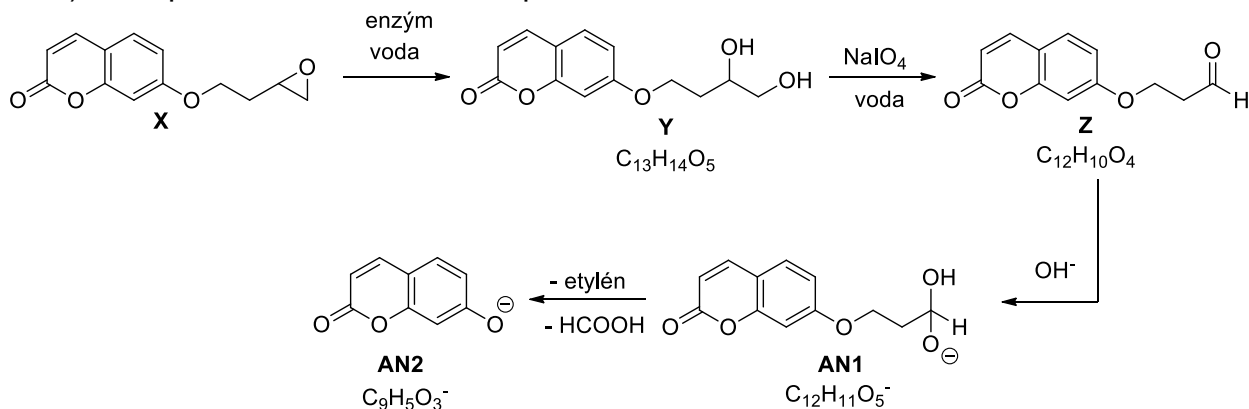
S – oxirán

T – *m*CPBA (alebo iné epoxidačné činidlo – napr. DMDO)

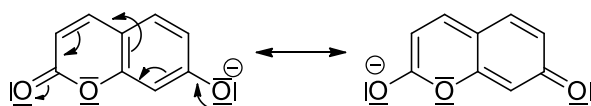
U – PBr_3 (nie HBr, ani iná kyslé činidlo – otvorili by epoxid)

d) V – prítomnosť katalytického jedu (chinolín, síran olovnatý), 2 pb

e) 4x2 pb za **Y, Z, AN1, AN2**, 8 pb

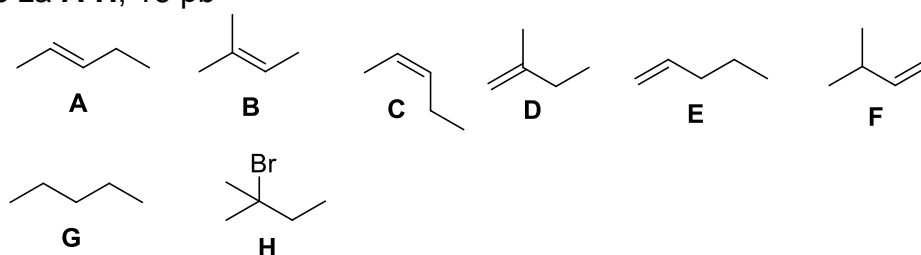


f) 2 pb



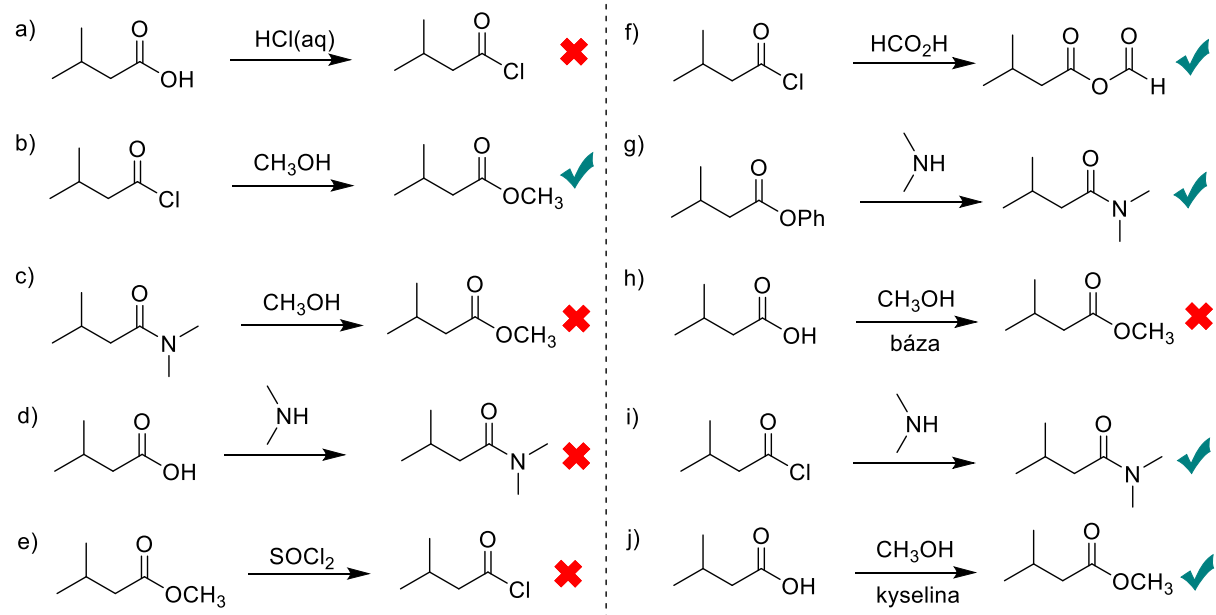
Úloha 2 (3,2 b, 16 pb)

2 pb za A-H, 16 pb



Úloha 3 (4,0 b, 20 pb)

1 pb za správne určenie priebehu reakcií, 10 pb



Reakcia (a) neposkytne produkt, pretože produkt reakcie chlorid kyseliny je reaktívnejší ako východisková kyselina, reakcia je vratná.

Reakcia (c) neposkytne produkt, pretože amid je menej reaktívny ako ester.

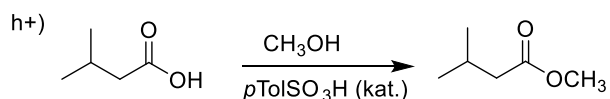
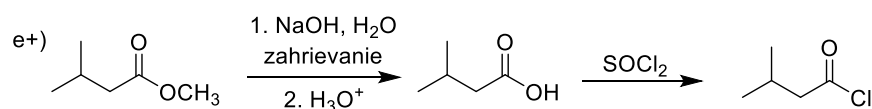
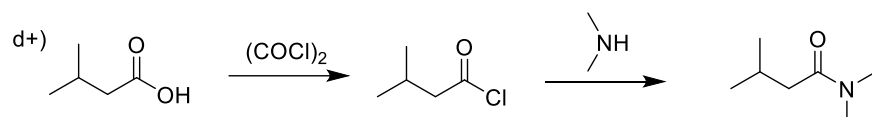
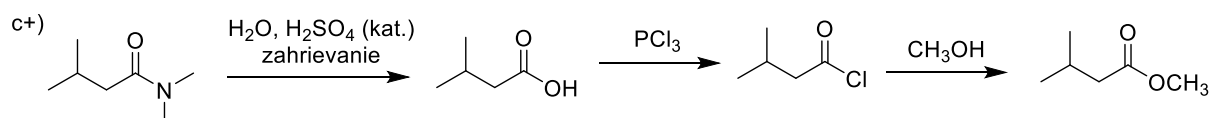
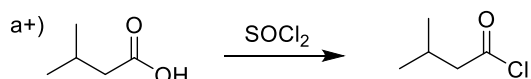
Reakcia (d) neposkytne produkt, pretože amín najskôr deprotonizuje karboxylovú kyselinu na veľmi nereaktívnu soľ.

Reakcia (e) neposkytne produkt, pretože ester nereaguje s SOCl_2 .

Reakcia (h) neposkytne produkt, pretože alkohol v bázičkom prostredí deprotonuje karboxylovú kyselinu na soľ a tá nie je dostatočne reaktívna aby zreagovala s alkoholom alebo alkoholátom.

5x1 pb za zdôvodnenia.

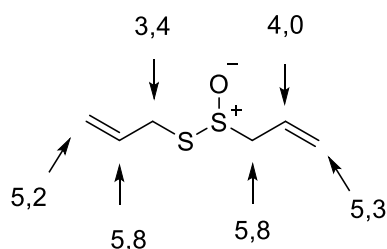
Možné alternatívne cesty k neúspešným reakciám (treba uznať aj iné chemicky správne postupy) (5x1 pb):



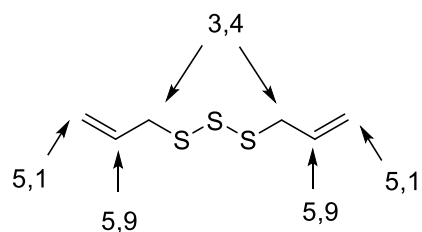
Úloha 4 (3,0 b, 15 pb)

3+3 pb za štruktúry A a B, 6x1 pb za NMR látky A a 3x1 pb za NMR látky B.

Zlúčenina A:



Zlúčenina B:



RIEŠENIA ÚLOH Z BIOCHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 60. ročník – šk. rok 2023/24
Školské kolo

Pavol Štefík, Boris Lakatoš

Maximálne 8 bodov = 16 pb

1. A – DNA polymeráza
- B – proteín stabilizujúci jednovláknovú DNA
- C – topoizomeráza
- D – DNA helikáza
- E – DNA primáza
- F – DNA ligáza
- G – Okazakiho fragment
- H – oneskorené vlákno
- I – vedúce vlákno

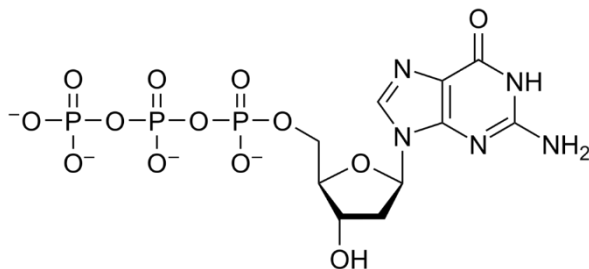
Za každý správne priradený pojem udeliť **0,5 pb**, celkom **4,5 pb** za podúlohu.

2. Účinnosť využitia energie z hydrolýzy ATP enzýmom **D** (DNA helikázou):

$$\frac{7,3 \text{ kJ/mol}}{2 \cdot 30,5 \text{ kJ/mol}} \cdot 100 \% = 12 \%$$

2 pb

3.



Za správnu štruktúru guanínu udeliť **2 pb**, za správnu štruktúru 2-deoxyribózy udeliť **1 pb**, za správnu štruktúru fosfátových skupín udeliť **0,5 pb**, celkom **3,5 pb** za úlohu.

4. Pri reakcii dvoch 2'-deoxynukleozid-5'-trifosfátov dochádza k nukleofilnému ataku atómu fosforu v α -fosfátovej skupine (t. j. fosfátová skupina bezprostredne viazaná na 2-deoxyribózu) jedného nukleotidu 3'-OH skupinou 2-deoxyribózy druhého nukleotidu

za odstúpenia pyrofosfátu, tzn. že ide o nukleofilnú substitúciu. Molekule 2',3'-dideoxynukleozid-5'-trifosfátu chýba 3'-OH skupina, teda takáto molekula sa po začlenení do reťazca DNA nemôže podieľať na ďalšej nukleofilnej substitučnej reakcii a ďalší nukleotid sa preto nebude viazať do reťazca DNA.

Za (podobne formulovanú) odpoveď udeliť **3 pb**.

5. Doba trvania replikácie DNA pri jednom počiatku replikácie, t. j. pri replikácii prebiehajúcej z dvoch replikačných vidlíc:

$$\frac{6 \cdot 10^9 \text{ bp}}{2 \cdot 100 \text{ bp/s}} = 3 \cdot 10^7 \text{ s} \quad \mathbf{1 \text{ pb}}$$

Počet počiatkov replikácie, ktoré sú potrebné na kompletnú replikáciu za 8 hodín:

$$\frac{3 \cdot 10^7 \text{ s}}{8 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} \approx 1042 \quad \mathbf{1 \text{ pb}}$$

Minimálny počet molekúl DNA polymerázy potrebnej na kompletnú replikáciu DNA za 8 hodín:

1042 počiatkov replikácie x 2 replikačné vidlice/počiatok replikácie x 2 molekuly DNA polymerázy/replikačnú vidlicu = 4168 molekúl DNA polymerázy **1 pb**

Autori: Martin Brokeš, 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. Pavol Štefík

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

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: NIVAM – Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2023