



60. ročník

2023/2024

KRAJSKÉ KOLO

Kategorie B

Praktická část – Řešení

PRAKTICKÁ ČÁST**40 BODŮ****Úloha 1 Stanovení kyseliny sírové a fosforečné ve směsi****40 bodů**

- 1) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

Přesnost stanovení se hodnotí na základě odchylky ΔV spočtené jako rozdíl mezi spotřebou stanovenou účastníky $V(\text{stud})$ a referenční spotřebou $V(\text{stud,ref})$.

$$\Delta V = |V(\text{stud}) - V(\text{stud,ref})|$$

$\Delta V \leq 0,2 \text{ ml}$	$0,2 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 0,6 \text{ ml}$	$0,6 \text{ ml} \leq \Delta V$
13 bodů	$(19,5 - 32,5 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu
za přesnost stanovení maximálně 13,00 bodů*

celkem 13,00 bodů

- 2) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

Přesnost stanovení se hodnotí na základě odchylky ΔV spočtené jako rozdíl mezi spotřebou stanovenou účastníky $V(\text{stud})$ a referenční spotřebou $V(\text{stud,ref})$.

$$\Delta V = |V(\text{stud}) - V(\text{stud,ref})|$$

$\Delta V \leq 0,2 \text{ ml}$	$0,2 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 1,2 \text{ ml}$	$1,2 \text{ ml} \leq \Delta V$
13 bodů	$(15,6 - 13,0 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu
za přesnost stanovení maximálně 13,00 bodů*

celkem 13,00 bodů

- 3) Výpočty:

Pro látkovou bilanci mezi oběma kyselinami a hydroxidem sodným v titrační baňce při titraci na fenolftalein (obě kyseliny se na tento indikátor titrují do druhého stupně) platí:

$$n_{\text{NaOH,FFT}} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} + 2 \cdot n_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

Pro látkovou bilanci mezi oběma kyselinami a hydroxidem sodným v titrační baňce při titraci na methyloranž (kyselina sírová se titruje do druhého stupně, kyselina fosforečná se titruje do prvního stupně) platí:

$$n_{\text{NaOH,MO}} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} + n_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

Odečtením těchto dvou rovnic a úpravou obdržíme:

$$n_{\text{NaOH,FFT}} - n_{\text{NaOH,MO}} = (2 \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} + 2 \cdot n_{\text{H}_3\text{PO}_4}) - (2 \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} + n_{\text{H}_3\text{PO}_4}) = n_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

$$c_{\text{NaOH}}(V_{\text{NaOH,FFT}} - V_{\text{NaOH,MO}}) = n_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

Pro modelové spotřeby $V_{\text{NaOH,FFT}} = 19,50$ ml a $V_{\text{NaOH,MO}} = 14,00$ ml odměrného roztoku hydroxidu sodného o koncentraci $c_{\text{NaOH}} = 0,1000$ mol dm⁻³ obdržíme:

$$n_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0,1000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot (19,50 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 - 14,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3) = 5,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Látkové množství kyseliny sírové je pak možné vypočítat z jakékoli výše uvedené látkové bilance, tedy např.

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot (n_{\text{NaOH,FFT}} - 2 \cdot n_{\text{H}_3\text{PO}_4}) = \frac{1}{2} \cdot (c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH,FFT}} - 2 \cdot n_{\text{H}_3\text{PO}_4})$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot (0,1000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 19,50 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 - 2 \cdot 5,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}) = 4,250 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Analogicky lze látkové množství kyseliny sírové vypočítat jako:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot (n_{\text{NaOH,MO}} - n_{\text{H}_3\text{PO}_4}) = \frac{1}{2} \cdot (c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH,MO}} - n_{\text{H}_3\text{PO}_4})$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot (0,1000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 14,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 - 5,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}) = 4,250 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

za správnou látkovou bilanci pro titraci na fenolftalein 1,00 bod

za správnou látkovou bilanci při titraci na methyloranž 1,00 bod

za správný vztah mezi látkovým množstvím NaOH a jeho koncentrací a spotřebou 0,50 bodu

za každý numericky správný výsledek včetně jednotek 1,00 bod

jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů

celkem 4,50 bodu

- 4) Vzhledem k tomu, že se z odměrné baňky o objemu 100,0 ml pipetovalo 10,00 ml, je látkové množství obou kyselin v odměrné baňce, a tedy i nezředěném vzorku, 10× vyšší, tedy:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{vzorek}} = 10 \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{vzorek}} = 10 \cdot n_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 5,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Hmotnost kyselin ve vzorku je pak:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{vzorek}} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{vzorek}} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 98,08 \text{ g mol}^{-1} = 0,4168 \text{ g}$$

$$m_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{vzorek}} = n_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{vzorek}} \cdot M_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 5,500 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 98,00 \text{ g mol}^{-1} = 0,5390 \text{ g}$$

Hmotnostní koncentraci obdržíme podělením objemem pipetovaného vzorku, tedy 10,00 ml:

$$c_{m, \text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{vzorek}}}{V_{\text{pipetáž, vzorek}}} = \frac{0,4168 \text{ g}}{10,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} = 41,68 \text{ g dm}^{-3}$$

$$c_{m, \text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{m_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{vzorek}}}{V_{\text{pipetáž, vzorek}}} = \frac{0,5390 \text{ g}}{10,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} = 53,90 \text{ g dm}^{-3}$$

za správný způsob přepočtu látkového množství na hmotnost 1,00 bod

za správné zohlednění poměru pipetáže a odměrné baňky 1,00 bod

za každý numericky správný výsledek včetně jednotek 0,50 bodu

jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů

celkem 3,00 body

5) Výpočty:

Pro výpočet je třeba zohlednit rovnost látkových množství obou kyselin ve směsi a dále celkový objem obou kyselin $V_{\text{total}} = 1000 \text{ cm}^3$, která je při zanedbání objemové kontrakce rovna součtu objemů obou koncentrovaných kyselin. Můžeme tedy psát, že:

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} + V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} = V_{\text{total}}$$

$$n_{\text{H}_3\text{PO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

Tuto látkovou bilanci můžeme dále rozepsat jako:

$$\begin{aligned} n_{\text{H}_3\text{PO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} &\rightarrow \frac{m_{\text{H}_3\text{PO}_4}}{M_{\text{H}_3\text{PO}_4}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \rightarrow \frac{w_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot m_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_3\text{PO}_4}} = \frac{w_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot m_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{w_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_3\text{PO}_4}} = \frac{w_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \end{aligned}$$

Se zohledněním objemové bilance je pak:

$$\begin{aligned} \frac{w_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_3\text{PO}_4}} &= \frac{w_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot (V_{\text{total}} - V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}})}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \rightarrow \\ &\rightarrow V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} = \frac{\frac{w_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot V_{\text{total}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}}{\frac{w_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_3\text{PO}_4}} + \frac{w_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{konc.}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}}} \end{aligned}$$

Číselně tedy:

$$V_{\text{H}_3\text{PO}_4, \text{konc.}} = \frac{0,96 \cdot 1,83 \text{ g cm}^{-3} \cdot 1000 \text{ cm}^3}{98,08 \text{ g mol}^{-1}} = 547 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V_{\text{total}} - V_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 1000 \text{ cm}^3 - 547 \text{ cm}^3 = 453 \text{ cm}^3$$

za správné zohlednění bilance objemů 0,50 bodu
za správný vztah rovnosti látkového množství obou kyselin 0,50 bodu
za jakýkoliv správný postup výpočtu objemu obou kyselin 1,00 bod
za každý numericky správný výsledek včetně jednotek 1,00 bod

jakýkoliv jiný správný postup vedoucí ke správnému numerickému výsledku hodnotit plným počtem bodů

celkem 4,00 body

6) Vhodný indikátor místo fenolftaleinu: thymolftalein či jakýkoliv jiný indikátor s barevným přechodem nad $\text{pH} = 8$

Vhodný indikátor místo methylovanči: methylčerveň či jakýkoliv jiný indikátor s barevným přechodem $\text{pH} \approx 4-6$

Zdůvodnění výběru: Indikátor alternativní k fenolftaleinu musí mít barevný přechod v bazické oblasti, aby byl schopen indikovat vytitrování obou kyselin do druhého stupně. Indikátor alternativní k methylovanči musí mít barevný přechod v kyselé oblasti, aby byl schopen indikovat vytitrování kyseliny sírové do obou stupňů ale vytitrování kyseliny fosforečné pouze do prvního stupně.

za každou správnou volbu (jsou možné alternativy koherentní s autorským vysvětlením) 0,25 bodu
za smysluplné vysvětlení 0,50 bodu

celkem 1,00 bod

7) Rovnice reakce zředěné kyseliny sírové s kovovým zinkem: $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$

Rovnice reakce zředěné kyseliny sírové s kovovým hliníkem: $2 \text{Al} + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3 \text{H}_2$

za každou správně sestavenou a vyčíslenou rovnicí 0,50 bodu (dílčí body se neudělují)

celkem 1,00 bod

8) Vysvětlení:

Obě kyseliny, jak kyselina sírová, tak kyselina fosforečná, mají velmi silné intermolekulární interakce prostřednictvím vodíkových vazeb. To snižuje vzájemnou pohyblivost jednotlivých molekul těchto kyselin, zejména v koncentrovaném stavu.

za smysluplné vysvětlení na základě vodíkových vazeb 0,50 bodu (dílčí body se neudělují)

celkem 0,50 bodu