



**60. ročník**

**2023/2024**

**NÁRODNÍ KOLO**

**Kategorie B**

---

**Praktická část – Řešení**

## PRAKTICKÁ ČÁST

40 BODŮ

## Úloha 1 Stanovení komponent elektrolytické pomědovací lázně

40 bodů

- 1) Uvedení přesné navážky dihydrátu kyseliny šťavelové.

*Tento úkol není bodově hodnocen.*

- 2) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

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

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

Referenční spotřeba pro soutěžící se spočítá z referenční navážky organizátora  $m(\text{ref})$  a jeho spotřeby  $V(\text{ref})$  a navážky soutěžících  $m(\text{stud})$  jako:

$$V(\text{stud,ref}) = V(\text{ref}) \cdot \frac{m(\text{stud})}{m(\text{ref})}$$

$\Delta V \leq 0,15 \text{ ml}$	$0,15 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 0,45 \text{ ml}$	$0,45 \text{ ml} \leq \Delta V$
6 bodů	$(9 - 20 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu  
za přesnost stanovení maximálně 6,00 bodu*

**celkem 6,00 bodu**

- 3) Výpočty:

Pro látkovou bilanci mezi kyselinou šťavelovou a hydroxidem sodným při indikaci na fenolftalein (titrace kyseliny šťavelové do druhého stupně) platí:

$$n_{\text{NaOH}} = 2 \cdot n_{\text{H}_2\text{ox}}$$

S uvážením ředění navážky kyseliny šťavelové 1:10 a vztahů pro látková množství máme pro děj v titrační baňce:

$$c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} = \frac{1}{10} \cdot 2 \cdot \frac{m_{\text{H}_2\text{ox} \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{ox} \cdot 2\text{H}_2\text{O}}} \rightarrow c_{\text{NaOH}} = \frac{1}{V_{\text{NaOH}}} \cdot \frac{1}{10} \cdot 2 \cdot \frac{m_{\text{H}_2\text{ox} \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{ox} \cdot 2\text{H}_2\text{O}}}$$

Pro modelovou navážku kyseliny šťavelové 0,7500 g a spotřebu hydroxidu sodného 12,00 ml je pak:

$$c_{\text{NaOH}} = \frac{1}{12,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} \cdot \frac{1}{10} \cdot 2 \cdot \frac{0,7500 \text{ g}}{126,07 \text{ g mol}^{-1}} = 0,09915 \text{ mol dm}^{-3}$$

*za správnou látkovou bilanci pro titraci na fenolftalein 0,50 bodu  
za správný vztah mezi látkovým množstvím NaOH a jeho koncentrací a spotřebou 0,50 bodu  
za zohlednění vztahu mezi látkovým množstvím a navážkou kyseliny šťavelové 0,50 bodu  
za zohlednění ředění 0,50 bodu  
za numericky správný výsledek včetně jednotek 0,50 bodu*

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

**celkem 2,50 bodu****4)** Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku Chelatonu 3:

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

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

$\Delta V \leq 0,2 \text{ ml}$	$0,2 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 0,6 \text{ ml}$	$0,6 \text{ ml} \leq \Delta V$
10 bodů	$(15 - 25 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

*body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu  
za přesnost stanovení maximálně 10,00 bodu*

**celkem 10,00 bodu****5)** Pro látkovou bilanci mezi měďnatými ionty ve zředěném vzorku v titrační baňce a Chelatonem 3 platí látková bilance:

$$n_{\text{Cu}^{2+}, \text{titr.baňka}} = n_{\text{Ch3}} = c_{\text{Ch3}} \cdot V_{\text{Ch3}}$$

Látkové množství měďnatých iontů v nezředěném vzorku (resp. jeho pipetáži 20,00 ml) činí vzhledem ke zředění  $20\times$  více, tedy:

$$n_{\text{Cu}^{2+}, \text{pipetáž-nezředěný vzorek}} = 20 \cdot c_{\text{Ch3}} \cdot V_{\text{Ch3}}$$

Tomu odpovídá hmotnost a hmotnostní koncentrace měďnatých iontů:

$$m_{\text{Cu}^{2+}, \text{pipetáž-nezředěný vzorek}} = M_{\text{Cu}^{2+}} \cdot 20 \cdot c_{\text{Ch3}} \cdot V_{\text{Ch3}}$$

$$c_{m, \text{Cu}^{2+}} = \frac{1}{V_{\text{pipetáž-nezředěný vzorek}}} \cdot M_{\text{Cu}^{2+}} \cdot 20 \cdot c_{\text{Ch3}} \cdot V_{\text{Ch3}}$$

Pro modelovou spotřebu Chelatonu 3 o koncentraci  $0,05000 \text{ mol dm}^{-3}$  činící  $8,00 \text{ cm}^3$  je pak:

$$c_{m, \text{Cu}^{2+}} = \frac{1}{20,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} \cdot 63,55 \text{ g mol}^{-1} \cdot 20 \cdot 0,05000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 8,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 25,42 \text{ g dm}^{-3}$$

Hmotnostní koncentrace pentahydrátu síranu měďnatého musí být poměrně k jeho molární hmotnosti vyšší, tedy:

$$c_{m, \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = \frac{M_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{Cu}^{2+}}} \cdot c_{m, \text{Cu}^{2+}} = \frac{249,69 \text{ g mol}^{-1}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 25,42 \text{ g dm}^{-3} = 99,88 \text{ g dm}^{-3}$$

*za správnou látkovou bilanci 0,50 bodu*

*za správný vztah mezi látkovým množstvím a molární koncentrací/spotřebou Chelatonu 3 0,50 bodu*

*za zohlednění ředění 0,50 bodu*

*za správné vyjádření hmotnosti mědi 0,50 bodu*

*za správný postup vyjádření hmotnostní koncentrace mědi 0,50 bodu*

*za správný postup vyjádření hmotnostní koncentrace pentahydrátu síranu měďnatého 0,50 bodu*

*za každý numericky správný výsledek včetně jednotek 0,25 bodu*

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

**celkem 3,50 bodu**

- 6) Hodnocení přesnosti spotřeby odměrného roztoku hydroxidu sodného:

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

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

$\Delta V \leq 0,2 \text{ ml}$	$0,2 \text{ ml} \leq \Delta V \leq 1,0 \text{ ml}$	$1,0 \text{ ml} \leq \Delta V$
10 bodů	$(12,5 - 12,5 \cdot \Delta V)$ bodů	0 bodů

body se uvádějí se zaokrouhlením s přesností na 0,25 bodu  
za přesnost stanovení maximálně 10,00 bodu

**celkem 10,00 bodu**

- 7) Pro látkovou bilanci mezi všemi přítomnými  $\text{H}^+$  ionty ve zředěném vzorku v titrační baňce a hydroxidem sodným platí látková bilance:

$$n_{\text{H}^+, \text{total, titr. baňka}} = n_{\text{H}^+, \text{kyseliny}} + n_{\text{H}^+, \text{chelatometrie}} = n_{\text{H}^+, \text{kyseliny, titr. baňka}} + 2 \cdot n_{\text{Cu}^{2+}, \text{titr. baňka}}$$

$$c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} = n_{\text{H}^+, \text{kyseliny, titr. baňka}} + 2 \cdot c_{\text{Ch}_3} \cdot V_{\text{Ch}_3} \rightarrow n_{\text{H}^+, \text{kyseliny, titr. baňka}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} - 2 \cdot c_{\text{Ch}_3} \cdot V_{\text{Ch}_3}$$

Látkové množství  $\text{H}^+$  iontů pocházejících z kyselin v nezředěném vzorku je vzhledem k pipetáži nezředěného vzorku a odměrné baňky 20× vyšší, tedy:

$$n_{\text{H}^+, \text{kyseliny, pipetáž-nezředěný vzorek}} = 20 \cdot (c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} - 2 \cdot c_{\text{Ch}_3} \cdot V_{\text{Ch}_3})$$

Molární koncentrace  $\text{H}^+$  iontů v nezředěném vzorku je pak:

$$c_{\text{H}^+} = \frac{n_{\text{H}^+, \text{kyseliny, pipetáž-nezředěný vzorek}}}{V_{\text{pipetáž-nezředěný vzorek}}} = \frac{20 \cdot (c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} - 2 \cdot c_{\text{Ch}_3} \cdot V_{\text{Ch}_3})}{V_{\text{pipetáž-nezředěný vzorek}}}$$

Příslušná molární koncentrace kyseliny sírové je pak poloviční, vzhledem k tomu, že se jedná o dvojsytnou kyselinu, tedy:

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{H}^+} = \frac{1}{2} \cdot \frac{20 \cdot (c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} - 2 \cdot c_{\text{Ch}_3} \cdot V_{\text{Ch}_3})}{V_{\text{pipetáž-nezředěný vzorek}}}$$

Číselně je tedy při modelové spotřebě 12,00 ml hydroxidu sodného o koncentraci 0,1000 mol dm<sup>-3</sup>:

$$c_{\text{H}^+} = \frac{20 \cdot (0,1000 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 12,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 - 2 \cdot 0,0500 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 8,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3)}{20,00 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3} = 0,400 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{H}^+} = 0,200 \text{ mol dm}^{-3}$$

za správnou bilanci mezi kyselostí z kyselin, celkovou kyselostí a kyselostí způsobenou chelatometrií 1,50 bodu

za správné zohlednění molární koncentrace a spotřeb 0,50 bodu

za zohlednění zředění 0,50 bodu

za správný způsob výpočtu celkové koncentrace  $\text{H}^+$  iontů v nezředěném vzorku 1,00 bodu

za správný způsob přepočtu na molární koncentraci  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,50 bodu

za každý numericky správný výsledek včetně jednotek 0,50 bodu

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

**celkem 5,00 bodu**

8) Výpočty:

Výpočet provedeme pro požadovanou hodnotu koncentrace kyseliny sírové  $0,400 \text{ mol dm}^{-3}$ . Ze zadání požadujeme  $1,00 \text{ dm}^3$  uvedené směsi, která tedy musí obsahovat:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,400 \text{ mol dm}^{-3}$$

To odpovídá hmotnosti čisté kyseliny sírové:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,400 \text{ mol} \cdot 98,08 \text{ g mol}^{-1} = 39,23 \text{ g}$$

Přepočet na 96 % hm. kyseliny:

$$m_{96\% \text{ H}_2\text{SO}_4} = \frac{100}{96} \cdot m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{100}{96} \cdot 39,23 \text{ g} = 40,87 \text{ g}$$

To odpovídá objemu 96%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$V_{96\% \text{ H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{96\% \text{ H}_2\text{SO}_4}}{\rho_{96\% \text{ H}_2\text{SO}_4}} = \frac{40,87 \text{ g}}{1,83 \text{ g cm}^{-3}} = 22,3 \text{ cm}^3$$

Pro zadanou alternativní hodnotu je objem 96%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (dle stejného postupu)  $27,91 \text{ cm}^3$ .

*za správné určení potřebného látkového množství 0,50 bodu  
za správný přepočet látkového množství na hmotnost 0,50 bodu  
za správné zohlednění hmotnostního zlomku kyseliny 0,50 bodu  
za správné určení objemu koncentrované kyseliny 0,50 bodu  
za numericky správný výsledek 0,50 bodu*

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

**celkem 2,50 bodu**

9) Tetrafluoridoboritan měďnatý:  $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$

Kyselina tetrafluoridoboritá:  $\text{HBF}_4$

*za každý správný vzorec 0,25 bodu*

**celkem 0,50 bodu**