

Cvičení z analytické chemie

Tereza Uhlíková

verze 2024

Titrační stechiometrie

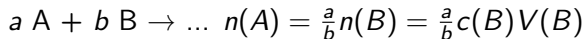
Titrace = odměrná analýza - metoda kvantitativní analýzy – zjišťuje se množství (V , n) odměrného činidla o známé koncentraci, které je nutné přidat ke stanovované složce, aby bylo dosaženo bodu ekvivalence

Odměrný roztok = roztok titračního činidla o přesně známé látkové koncentraci = titr (4 desetinná místa)

Základní látka = látka, která umožňuje přesné stanovení titru odměrného roztoku

Bod ekvivalence = stav, kdy veškerá stanovovaná látka právě zreagovala s titračním činidlem

prakticky určujeme tzv. **konec titrace**



Alikvotní podíl = přesně definovaná část celkového objemu roztoku vzorku (přesně definovaná část navážky)

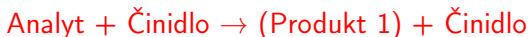
- spotřeba odměrného činidla odpovídá pouze příslušné části navážky tedy celkové $n(A) = \frac{a}{b} n(B) = \frac{a}{b} c(B) V(B) \cdot \frac{V}{V_a}$

Druhy titrací

Přímá titrace = roztok analytu je přímo titrován odměrným roztokem titračního činidla do bodu ekvivalence



Zpětná titrace = analyt se nechá zreagovat se známým nadbytkem odměrného činidla a poté se množství nezreagovaného činidla stanoví titrací jiným odměrným činidlem

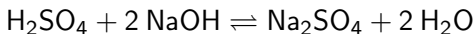


Nepřímá titrace = analyt, který nereaguje přímo s určitým odměrným činidlem, se vhodnou reakcí převede na produkt, který již reakci s činidlem poskytuje

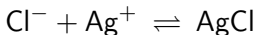


Druhy titrací II

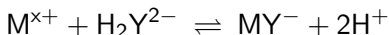
Acidobazické (stanovení kyselin / zásad) - alkalimetrie (titračním činidlem je zásada), acidimetrie (titračním činidlem je kyselina)



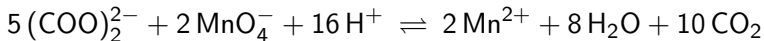
Srážecí - argentometrie



Komplexometrické - chelatometrické




Redoxní



Indikace konce titrace:

- Instrumentálně - registrací a vyhodnocením signálů zvolené přístrojové metody (potenciometrie, spektrofotometrie, ...)
- Vizuálně - sledováním vzhledu roztoku (vznik sraženiny, změna zabarvení, reakce analytu a titračního činidla , přidáním indikátoru)

Acidobazické indikátory



indikátor		meze přechodu pH	
thymolová modř	červené	1,2 - 2,8	žluté
dimethylová žlut'	červené	2,9 - 4,0	žluté
bromfenolová modř	žluté	3,0 - 4,6	modré
methylová oranž	červené	3,1 - 4,4	žluté
bromkresolová zeleň	žluté	3,8 - 5,4	modré
methylová červeně	červené	4,2 - 6,3	žluté
bromkresolový purpur	žluté	5,2 - 6,8	purpurové
bromthymolová modř	žluté	6,0 - 7,6	modré
neutrální červeně	červené	6,8 - 8,0	žluté
fenolová červeně	žluté	6,8 - 8,4	červené
thymolová modř	žluté	8,0 - 9,6	modré
fenolftalein	bezbarvé	8,3 - 10,0	červené
thymolftalein	bezbarvé	9,3 - 10,5	modré

Příklad 1

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtete pH v bodě ekvivalence.

$$pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$$

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

$$V_1 = 50 \text{ ml } \text{H}_2\text{SO}_4; c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{nadbytek } V_2 = 13,5 \text{ ml } \text{NaOH}; c_{\text{NaOH}} = 0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Odhad jaké bude pH?

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

$$V_1 = 50 \text{ ml } \text{H}_2\text{SO}_4; c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{nadbytek } V_2 = 13,5 \text{ ml } \text{NaOH}; c_{\text{NaOH}} = 0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Odhad jaké bude pH? } \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$$

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

$$V_1 = 50 \text{ ml } \text{H}_2\text{SO}_4; c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{nadbytek } V_2 = 13,5 \text{ ml } \text{NaOH}; c_{\text{NaOH}} = 0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Odhad jaké bude pH? $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ pH kysel

proběhnou dvě reakce:

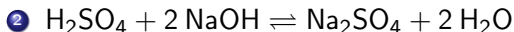
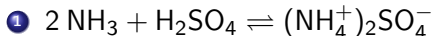
Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

$$V_1 = 50 \text{ ml } \text{H}_2\text{SO}_4; c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{nadbytek } V_2 = 13,5 \text{ ml } \text{NaOH}; c_{\text{NaOH}} = 0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Odhad jaké bude pH? $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ pH kysel

proběhnou dvě reakce:



Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $\text{pK}_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_2$$

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_2 = 0,015 \cdot 0,0135 = 2,025 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ze stechiometrie, kolik bylo přebytečné

$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_2 = 0,015 \cdot 0,0135 = 2,025 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ze stechiometrie, kolik bylo přebytečné

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \implies \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{\text{NaOH}}} = \frac{1}{2} \cdot \dots \cdot n_{\text{nadbytku kys.}} = 1,013 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

? Kolik molů H_2SO_4 bylo na počátku

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_2 = 0,015 \cdot 0,0135 = 2,025 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ze stechiometrie, kolik bylo přebytečné

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \implies \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{\text{NaOH}}} = \frac{1}{2} \dots n_{\text{nadbytku kys.}} = 1,013 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

? Kolik molů H_2SO_4 bylo na počátku

$$n_{\text{pocatku}} = c_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V = 0,01 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

? kolik molů vzniklého NH_4^+

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci $0,01 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci $0,015 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

? Kolik molů NaOH je potřeba na zbylou H_2SO_4

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} \cdot V_2 = 0,015 \cdot 0,0135 = 2,025 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ze stechiometrie, kolik bylo přebytečné

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} \implies \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{\text{NaOH}}} = \frac{1}{2} \dots n_{\text{nadbytku kys.}} = 1,013 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

? Kolik molů H_2SO_4 bylo na počátku

$$n_{\text{pocatku}} = c_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V = 0,01 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

? kolik molů vzniklého NH_4^+

$$n_{\text{NH}_4^+} = n_{\text{pocatku}} - n_{\text{nadbytku H}_2\text{SO}_4} = 3,987 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

ještě vynásobit stechiometrickým koeficientem 2

$$\dots\dots n_{\text{NH}_4^+} = 2 \cdot 3,987 \cdot 10^{-4} = 7,974 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \left(pK_a - \log c_{\text{NH}_4^+} \right)$$

Plynný amoniak uvolněný z amonné soli byl jímán do předlohy s 50,0 ml H_2SO_4 o koncentraci 0,01 mol/l. Nadbytečná H_2SO_4 byla ztitrována 13,5 ml NaOH o koncentraci 0,015 mol/l. Vypočtěte pH v bodě ekvivalence. $pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,245$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \left(pK_a - \log c_{\text{NH}_4^+} \right)$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \left(9,245 - \log \frac{n_{\text{NH}_4^+}}{V_{\text{celk}}} \right) = \frac{1}{2} \left(9,245 - \log \frac{7,974 \cdot 10^{-4}}{(50 + 13,5) \cdot 10^{-3}} \right)$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \left(9,245 - \log 6,2795 \cdot 10^{-3} \right) = 5,57$$

Příklad 2

Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KMnO}_4$ při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Příklad 2

Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KMnO_4 při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

oxidační čísla atomu uhlíku v organických sloučeninách např. zde:

<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2279>

www.poradte.cz/skola/20662-oxidacne-cislo-uhlika.html

<https://courses.lumenlearning.com/suny-potsdam-organicchemistry2/chapter/19-1-definition-of-oxidation-state-for-carbon/>

podstatou je redox reakce šťavelanových iontů s ionty manganistanovými v kyselém prostředí

Příklad 2

Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KMnO}_4$ při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

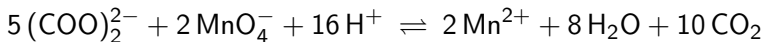
oxidační čísla atomu uhlíku v organických sloučeninách např. zde:

<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2279>

www.poradte.cz/skola/20662-oxidacne-cislo-uhlika.html

<https://courses.lumenlearning.com/suny-potsdam-organicchemistry2/chapter/19-1-definition-of-oxidation-state-for-carbon/>

podstatou je redox reakce šťavelanových iontů s ionty manganistanovými v kyselém prostředí

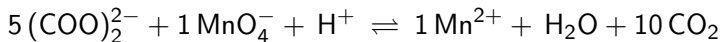


odvození rovnice

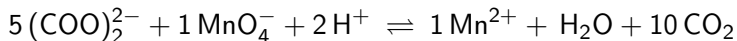
co se redukuje: $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ použije se $7 - 2 = 5$ elektronů

co se oxiduje: $(\text{COO})_2^{2-} \rightarrow \text{CO}_2$ použije se $3 - 4 = 1$ elektron

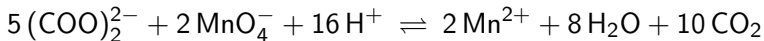
první krok - křížové pravidlo:



druhý krok konzistenti počtu atomů



třetí krok - podmínka zachování náboje - konečná vyčíslená rovnice



Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KMnO}_4$ při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

v bodě ekvivalence zreaguje 5 molů šťavelanových iontů s 2 moly manganistanových iontů

Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KMnO}_4$ při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

v bodě ekvivalence zreaguje 5 molů šťavelanových iontů s 2 moly manganistanových iontů $\frac{n((\text{COOH})_2)}{n(\text{MnO}_4^-)} = \frac{5}{2}$

$$n((\text{COOH})_2) = \frac{5}{2}n(\text{MnO}_4^-) = \frac{5}{2}c(\text{MnO}_4^-) \cdot V(\text{MnO}_4^-) = \frac{5}{2} \cdot 0,02 \cdot 0,025 = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

nezapomínejte dosazovat správné rozměry jednotek, např. pokud násobím koncentraci vyjádřenou v jednotkách $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ objemem, pak musím tento objem převést na litry

jelikož $n((\text{COO})_2^{2-}) = n((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$

je potřebná navážka $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Jaké množství kyseliny šťavelové $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ musíme navážit, aby spotřeba $0,02 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KMnO}_4$ při titraci v kyselém prostředí činila 25 ml?

$$M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

v bodě ekvivalence zreaguje 5 molů šťavelanových iontů s 2 moly manganistanových iontů $\frac{n((\text{COOH})_2)}{n(\text{MnO}_4^-)} = \frac{5}{2}$

$$n((\text{COOH})_2) = \frac{5}{2}n(\text{MnO}_4^-) = \frac{5}{2}c(\text{MnO}_4^-) \cdot V(\text{MnO}_4^-) = \frac{5}{2} \cdot 0,02 \cdot 0,025 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

nezapomínejte dosazovat správné rozměry jednotek, např. pokud násobím koncentraci vyjádřenou v jednotkách $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ objemem, pak musím tento objem převést na litry

$$\text{jelikož } n((\text{COO})_2^{2-}) = n((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$$

je potřebná navážka $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$$m((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = n((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot M((\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) =$$

$$= 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 126,04 = 0,1575 \text{ g}$$

Příklad 3

Kapalný vzorek obsahující Bi^{3+} a Pb^{2+} ionty byl převeden do odměrné baňky 250 ml a po okyselení kyselinou dusičnou byl doplněn vodou po značku. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3 na indikátor xylenolová oranž. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH titrovaného roztoku upraveno hexamethylentetraminem na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba odměrného roztoku byla 21,70 ml. Vypočtěte hmotnosti Bi a Pb obsažené v původním kapalném vzorku.

$$M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Příklad 3

Kapalný vzorek obsahující Bi^{3+} a Pb^{2+} ionty byl převeden do odměrné baňky 250 ml a po okyselení kyselinou dusičnou byl doplněn vodou po značku. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3 na indikátor xylenolová oranž. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH titrovaného roztoku upraveno hexamethylentetraminem na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba odměrného roztoku byla 21,70 ml. Vypočtěte hmotnosti Bi a Pb obsažené v původním kapalném vzorku.

$$M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Stechiometrie komplexotvorných titací je

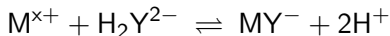
Příklad 3

Kapalný vzorek obsahující Bi^{3+} a Pb^{2+} ionty byl převeden do odměrné baňky 250 ml a po okyselení kyselinou dusičnou byl doplněn vodou po značku. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3 na indikátor xylenolová oranž. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH titrovaného roztoku upraveno hexamethylentetraminem na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba odměrného roztoku byla 21,70 ml. Vypočtěte hmotnosti Bi a Pb obsažené v původním kapalném vzorku.

$$M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Stechiometrie komplexotvorných titací je 1: 1



stabilní komplex olova vzniká při pH okolo

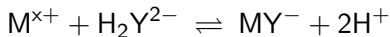
Příklad 3

Kapalný vzorek obsahující Bi^{3+} a Pb^{2+} ionty byl převeden do odměrné baňky 250 ml a po okyselení kyselinou dusičnou byl doplněn vodou po značku. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3 na indikátor xylenolová oranž. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH titrovaného roztoku upraveno hexamethylentetraminem na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba odměrného roztoku byla 21,70 ml. Vypočtěte hmotnosti Bi a Pb obsažené v původním kapalném vzorku.

$$M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Stechiometrie komplexotvorných titací je 1: 1



stabilní komplex olova vzniká při pH okolo 5

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

1 mol iontů Bi^{3+} s 1 molem chelatonu 3

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

1 mol iontů Bi^{3+} s 1 molem chelatonu 3

$m(\text{Bi}) =$

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

1 mol iontů Bi^{3+} s 1 molem chelatonu 3

$$m(\text{Bi}) = n(\text{Bi}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{V_{\text{celk.}}}{V_{\text{alik.}}} = c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot V_1(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{250}{25} =$$

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

1 mol iontů Bi^{3+} s 1 molem chelatonu 3

$$m(\text{Bi}) = n(\text{Bi}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{V_{\text{celk.}}}{V_{\text{alík.}}} = c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot V_1(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{250}{25} =$$

$$= 0,02068 \cdot 0,01365 \cdot 208,98 \cdot \frac{250}{25} = 0,589 \text{ g}$$

nezapomínejte při výpočtech dílčí výsledek násobit příslušným faktorem rovnající se celkovému objemu vzorku, např. 250 ml odměrné baňce a objemu alikvotního objemu, např. 25 ml.

Baňka 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3.

Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo.

Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. krok pouze Bi^{3+} 2. krok po úpravě pH pouze Pb^{2+}

1 mol iontů Bi^{3+} s 1 molem chelatonu 3

$$m(\text{Bi}) = n(\text{Bi}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{V_{\text{celk.}}}{V_{\text{alík.}}} = c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot V_1(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot M(\text{Bi}) \cdot \frac{250}{25} =$$

$$= 0,02068 \cdot 0,01365 \cdot 208,98 \cdot \frac{250}{25} = 0,589 \text{ g}$$

nezapomínejte při výpočtech dílčí výsledek násobit příslušným faktorem rovnající se celkovému objemu vzorku, např. 250 ml odměrné baňce a objemu alikvotního objemu, např. 25 ml.

baňky 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

spotřeba na vytitrování Pb^{2+} je rovna rozdílu celkové spotřeby a spotřeby na vytitrování Bi^{3+}

$$m(\text{Pb}) =$$

baňky 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtěte hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

spotřeba na vytitrování Pb^{2+} je rovna rozdílu celkové spotřeby a spotřeby na vytitrování Bi^{3+}

$$m(\text{Pb}) = n(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}) \cdot \frac{V_{\text{celk.}}}{V_{\text{alík.}}} =$$

$$= c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot [V_{\text{celk. spotr.}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) - V_{\text{Bi}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-})] \cdot M(\text{Pb}) \cdot \frac{250}{25} =$$

baňky 250 ml. Alikvotní podíl 25,00 ml tohoto roztoku byl titrován $0,02068 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztokem chelatonu 3. Spotřeba činila 13,65 ml. Poté bylo pH upraveno na hodnotu $\text{pH} = 5$ a v titraci se pokračovalo. Celková spotřeba 21,70 ml. Vypočtete hmotnosti Bi a Pb. $M(\text{Bi}) = 208,98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\text{Pb}) = 207,20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

spotřeba na vytitrování Pb^{2+} je rovna rozdílu celkové spotřeby a spotřeby na vytitrování Bi^{3+}

$$\begin{aligned} m(\text{Pb}) &= n(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}) \cdot \frac{V_{\text{celk.}}}{V_{\text{alík.}}} = \\ &= c(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot [V_{\text{celk spotr.}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) - V_{\text{Bi}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-})] \cdot M(\text{Pb}) \cdot \frac{250}{25} = \\ &= 0,02068 \cdot 0,00805 \cdot 207,20 \cdot \frac{250}{25} = 0,344 \text{ g} \end{aligned}$$

V titrovaném vzorku je přítomno 0,344 g Pb a 0,589 g Bi.

Příklad 4

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml $0,04885 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Vypočtete procentový obsah Cu v rudě.
 $A_r(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Příklad 4

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml 0,04885 mol · l⁻¹ Na₂S₂O₃. Vypočtete procentový obsah Cu v rudě.

$$Ar(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

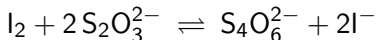
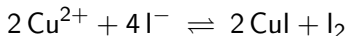
Cu ruda → CuS → rozpuštění v kyselině → Cu²⁺ + přídavek KI → CuI + I₂ → titrace I₂ pomocí thiosíranu na tetrathionan
v roztoku probíhají tyto dvě podstatné chemické reakce:

Příklad 4

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml 0,04885 mol · l⁻¹ Na₂S₂O₃. Vypočtete procentový obsah Cu v rudě.

$$Ar(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Cu ruda → CuS → rozpuštění v kyselině → Cu²⁺ + přídavek KI → CuI + I₂ → titrace I₂ pomocí thiosíranu na tetrathionan
v roztoku probíhají tyto dvě podstatné chemické reakce:



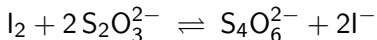
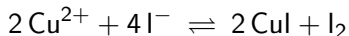
provedeme-li látkovou bilanci, platí: poměr látkových množství $\frac{n(\text{Cu}^{2+})}{n(\text{I}_2)} = \frac{2}{1}$

Příklad 4

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml 0,04885 mol · l⁻¹ Na₂S₂O₃. Vypočtete procentový obsah Cu v rudě.

$$Ar(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Cu ruda → CuS → rozpuštění v kyselině → Cu²⁺ + přídavek KI → CuI + I₂ → titrace I₂ pomocí thiosíranu na tetrathionan
v roztoku probíhají tyto dvě podstatné chemické reakce:



provedeme-li látkovou bilanci, platí: poměr látkových množství $\frac{n(\text{Cu}^{2+})}{n(\text{I}_2)} = \frac{2}{1}$

$$n(\text{Cu}^{2+}) = 2n(\text{I}_2) \text{ a zároveň } 2n(\text{I}_2) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml $0,04885 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Vypočtete procentový obsah Cu v rudě. $A_r(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$



Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml 0,04885 mol · l⁻¹ Na₂S₂O₃. Vypočítejte procentový obsah Cu v rudě. $A_r(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$



$$n(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,04885 \cdot 0,0226 = 1,104 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

procentový obsah Cu ve vzorku %

Z navážky 0,9975 g měděné rudy byla izolována měď ve formě sulfidu. Po jeho rozpuštění v kyselině a úpravě pH získaného roztoku byl přidán přebytek KI. Na jod uvolněný měďnatou solí bylo spotřebováno 22,60 ml 0,04885 mol · l⁻¹ Na₂S₂O₃. Vypočítejte procentový obsah Cu v rudě. Ar(Cu) = 63,55 g · mol⁻¹

$$n(\text{Cu}^{2+}) = 2n(\text{I}_2) \text{ a zároveň } 2n(\text{I}_2) = n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$n(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,04885 \cdot 0,0226 = 1,104 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

procentový obsah Cu ve vzorku %

$$\begin{aligned} \text{Cu} = w(\text{Cu}) \cdot 100 &= \left[\frac{m(\text{Cu})}{m_{\text{vzorku}}} \right] \cdot 100 = \left[\frac{n(\text{Cu}) \cdot \text{Ar}(\text{Cu})}{m_{\text{vzorku}}} \right] \cdot 100 = \\ &= \left[\frac{1,104 \cdot 10^{-3} \cdot 63,55}{0,9975} \right] \cdot 100 = 7,03 \% \end{aligned}$$

Příklad 5

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml $0,01935 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KMnO_4 . Vypočtěte procentový obsah Na_2O_2 ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Příklad 5

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml $0,01935 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KMnO_4 . Vypočtěte procentový obsah Na_2O_2 ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{nadbytek } \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{převedení na objem 250 ml} \rightarrow \text{titrace s alikvotním podílem 50 ml}$

Příklad 5

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml $0,01935 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KMnO_4 . Vypočtěte procentový obsah Na_2O_2 ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{nadbytek } \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{převedení na objem 250 ml} \rightarrow \text{titrace}$
s alikvotním podílem 50 ml

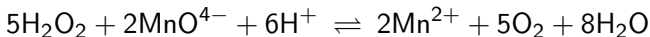
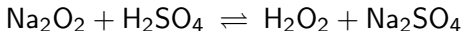
v roztoku probíhají tyto dvě podstatné chemické reakce:

Příklad 5

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml 0,01935 mol · l⁻¹ KMnO₄. Vypočtete procentový obsah Na₂O₂ ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Na₂O₂ + nadbytek H₂SO₄ → H₂O₂ → převedení na objem 250 ml → titrace s alikvotním podílem 50 ml

v roztoku probíhají tyto dvě podstatné chemické reakce:



Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml 0,01935 mol · l⁻¹ KMnO₄. Vypočtete procentový obsah Na₂O₂ ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
provedeme-li látkovou bilanci, platí:

$$n(\text{Na}_2\text{O}_2) = n(\text{H}_2\text{O}_2)$$

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5}{2}n(\text{MnO}_4^{4-})$$

spojením

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml 0,01935 mol · l⁻¹ KMnO₄. Vypočtete procentový obsah Na₂O₂ ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ provedeme-li látkovou bilanci, platí:

$$n(\text{Na}_2\text{O}_2) = n(\text{H}_2\text{O}_2)$$

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5}{2}n(\text{MnO}_4^{4-})$$

spojením

$$\begin{aligned}n_{\text{alik}}(\text{Na}_2\text{O}_2) &= \frac{5}{2}n(\text{MnO}_4^{4-}) = \frac{5}{2}c(\text{MnO}_4^{4-}) \cdot V(\text{MnO}_4^{4-}) = \\ &= \frac{5}{2} \cdot 0,01935 \cdot 0,02905 = 1,405 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\end{aligned}$$

$$n_{\text{celk}}(\text{Na}_2\text{O}_2) = n_{\text{alik}}(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot \frac{250}{50} = 7,026 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml $0,01935 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ KMnO_4 . Vypočtete procentový obsah Na_2O_2 ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

procentový obsah Na_2O_2 ve vzorku %

Při stanovení čistoty peroxidu sodíku bylo do zředěného roztoku kyseliny sírové odváženo 0,5795 g vzorku. Po rozpuštění a doplnění roztoku na objem 250,00 ml bylo při titraci alikvotního podílu 50,00 ml spotřebováno 29,05 ml 0,01935 mol · l⁻¹ KMnO₄. Vypočtete procentový obsah Na₂O₂ ve vzorku. $M(\text{Na}_2\text{O}_2) = 77,978 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

procentový obsah Na₂O₂ ve vzorku %

$$\text{Na}_2\text{O}_2 = w(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot 100 = \left[\frac{m(\text{Na}_2\text{O}_2)}{m_{\text{vzorku}}} \right] \cdot 100 =$$

$$= \left[\frac{n_{\text{celk}}(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot M(\text{Na}_2\text{O}_2)}{m_{\text{vzorku}}} \right] \cdot 100 = \left[\frac{7,026 \cdot 10^{-3} \cdot 77,978}{0,5795} \right] \cdot 100 = 94,55 \%$$

Příklad 6

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH.

$$pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Příklad 6

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH.

$$pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Řešení: acidobazická titrace

Příklad 6

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH.

$$pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Řešení: acidobazická titrace

Na počátku titrace je přítomna pouze kyselina octová. Můžeme tedy použít vztah pro výpočet slabé kyseliny.

co známe:

Příklad 6

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH.

$$pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Řešení: acidobazická titrace

Na počátku titrace je přítomna pouze kyselina octová. Můžeme tedy použít vztah pro výpočet slabé kyseliny.

co známe:

$$m = 5,000 \text{ g}$$

$$w = 10\% (m/m)$$

$$V = 500 \text{ ml H}_2\text{O} \rightarrow \text{z tohoto vezmeme alikvotní podíl } V_1 = 100,0 \text{ ml}$$

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

NaOH. $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n = \frac{w \cdot m}{M} = \frac{0,1 \cdot 5,0}{60,05} = 8,326 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V_{\text{puvodni}}} = \frac{8,326 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 1,665 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

NaOH . $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n = \frac{w \cdot m}{M} = \frac{0,1 \cdot 5,0}{60,05} = 8,326 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V_{\text{puvodni}}} = \frac{8,326 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 1,665 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$pH = \frac{1}{2} (pK_A - \log c)$$

$$pH = \frac{1}{2} (4,75 + 1,7785) = 3,264$$

$pT = ?$

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

NaOH. $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n = \frac{w \cdot m}{M} = \frac{0,1 \cdot 5,0}{60,05} = 8,326 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V_{\text{puvodni}}} = \frac{8,326 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 1,665 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$pH = \frac{1}{2} (pK_A - \log c)$$

$$pH = \frac{1}{2} (4,75 + 1,7785) = 3,264$$

$pT = ?$

n na počátku v alikvotním podílu

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$

NaOH . $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n = \frac{w \cdot m}{M} = \frac{0,1 \cdot 5,0}{60,05} = 8,326 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n}{V_{\text{puvodni}}} = \frac{8,326 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 1,665 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$pH = \frac{1}{2} (pK_A - \log c)$$

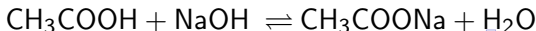
$$pH = \frac{1}{2} (4,75 + 1,7785) = 3,264$$

$pT = ?$

n na počátku v alikvotním podílu = $\frac{1}{5}n$ v zásobním roztoku

$$c_{\text{NaOH}} = 0,056 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \frac{8,326 \cdot 10^{-3}}{5} = 1,665 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

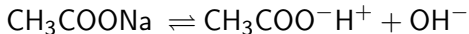


Vypočtěte pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH. $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

stechoimetrické koeficienty 1:1... $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$
sůl slabé kyseliny se chová jako

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH. $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

stechometrické koeficienty 1:1... $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$
sůl slabé kyseliny se chová jako slabá zásada

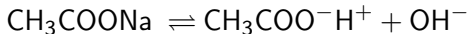


$$pH = \frac{1}{2} (pK_a + pK_V + \log c(A^-))$$

? Jaká je $c(A^-)$ v objemu po ukončené titraci

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje $0,0560 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ NaOH . $pK_A(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,75$ $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

stechometrické koeficienty 1:1... $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} = n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$
sůl slabé kyseliny se chová jako slabá zásada



$$pH = \frac{1}{2} (pK_a + pK_V + \log c(A^-))$$

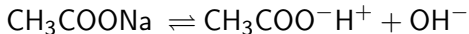
? Jaká je $c(A^-)$ v objemu po ukončené titraci

objem přidaného činidla $V_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{c_{\text{NaOH}}} = \frac{1,665 \cdot 10^{-3}}{0,056} = 2,9737 \cdot 10^{-2} \text{ l}$

$$c_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}{V_{\text{alk}} + V_{\text{NaOH}}} = \frac{1,665 \cdot 10^{-3}}{0,1 + 2,9737 \cdot 10^{-2}} = 1,2835 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

Vypočtete pH na počátku titrace a pT při následující titraci: 5,000 g 10% (m/m) kyseliny octové se rozpustí v 500 ml vody a 100,00 ml alikvotního podílu se titruje 0,0560 mol · l⁻¹ NaOH. pK_A(CH₃COOH) = 4,75 M(CH₃COOH) = 60,05 g · mol⁻¹

stechometrické koeficienty 1:1... n_{CH₃COOH} = n_{NaOH} = n_{CH₃COO⁻}
sůl slabé kyseliny se chová jako slabá zásada



$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{pK}_a + \text{pK}_V + \log c(\text{A}^-))$$

? Jaká je c(A⁻) v objemu po ukončené titraci

$$\text{objem přidávaného činidla } V_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{c_{\text{NaOH}}} = \frac{1,665 \cdot 10^{-3}}{0,056} = 2,9737 \cdot 10^{-2} \text{ l}$$

$$c_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{COO}^-}}{V_{\text{alk}} + V_{\text{NaOH}}} = \frac{1,665 \cdot 10^{-3}}{0,1 + 2,9737 \cdot 10^{-2}} = 1,2835 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (4,75 + 14 + \log 1,2835 \cdot 10^{-2}) = 8,429$$

Příklad 7

Navážka 0,2005 g technického ZnO byla rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny bylo spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. Vypočtete procentové obsahy

a) ZnO

b) ZnCO₃

c) nečistot ve vzorku (nečistoty nereagují s kyselinou ani se zásadou).

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Příklad 7

Navážka 0,2005 g technického ZnO byla rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny bylo spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. Vypočtete procentové obsahy

a) ZnO

b) ZnCO₃

c) nečistot ve vzorku (nečistoty nereagují s kyselinou ani se zásadou).

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1};$$

$$M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Řešení: titrace zpětná, acidobazická

Příklad 7

Navážka 0,2005 g technického ZnO byla rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny bylo spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. Vypočtete procentové obsahy

a) ZnO

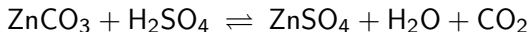
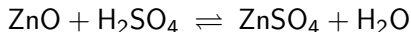
b) ZnCO₃

c) nečistot ve vzorku (nečistoty nereagují s kyselinou ani se zásadou).

$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

$M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Řešení: titrace zpětná, acidobazická, reakce:



celkové množství H₂SO₄ = H₂SO₄ na rozklad ZnCO₃ + H₂SO₄ na ZnO + titrace

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

H₂SO₄ na rozklad ZnCO₃

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

H₂SO₄ na rozklad ZnCO₃

známe z údaje o obsahu CO₂ ve formě ZnCO₃ ... 2,12 % (m/m) CO₂

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

H₂SO₄ na rozklad ZnCO₃

známe z údaje o obsahu CO₂ ve formě ZnCO₃ ... 2,12 % (m/m) CO₂

$$0,0212 = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{vzorku}}} \rightarrow m_{\text{CO}_2} = 0,0212 \cdot 0,2005 = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{4,25 \cdot 10^{-3}}{44,00} = 9,66 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{ZnCO}_3}$$

procentový obsah ZnCO₃ ve vzorku

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

H₂SO₄ na rozklad ZnCO₃

známe z údaje o obsahu CO₂ ve formě ZnCO₃ ... 2,12 % (m/m) CO₂

$$0,0212 = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{vzorku}}} \rightarrow m_{\text{CO}_2} = 0,0212 \cdot 0,2005 = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{4,25 \cdot 10^{-3}}{44,00} = 9,66 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = n_{\text{ZnCO}_3}$$

procentový obsah ZnCO₃ ve vzorku

$$\% \text{ ZnCO}_3 = w_{\text{ZnCO}_3} \cdot 100 = \frac{m_{\text{ZnCO}_3}}{m_{\text{vzorku}}} \cdot 100 = \frac{n_{\text{ZnCO}_3} M_{\text{ZnCO}_3}}{m_{\text{vzorku}}} \cdot 100 = 6,04 \%$$

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

H₂SO₄ z titrace...

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ z titrace...} n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH})$$

$$\rightarrow n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,5 \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,5 \cdot 0,0624 \cdot 0,00856 = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

H₂SO₄ celková

...

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ z titrace...} n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH})$$

$$\rightarrow n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,5 \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,5 \cdot 0,0624 \cdot 0,00856 = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

H₂SO₄ celková

$$\dots n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0512 \cdot 0,050 = 0,00256 \text{ mol}$$

b) procentový obsah ZnO ve vzorku

Navážka 0,2005 g ZnO rozpuštěna v 50,00 ml 0,0512 mol · l⁻¹ H₂SO₄. Na titraci přebytečné kyseliny spotřebováno 8,56 ml 0,0624 mol · l⁻¹ NaOH. Vzorek obsahoval 2,12 % (m/m) CO₂ ve formě ZnCO₃. a) ZnOb) ZnCO₃ c) nečistot ve vzorku.

$$M(\text{ZnO}) = 81,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{ZnCO}_3) = 125,38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ z titrace...} n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH})$$

$$\rightarrow n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,5 \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,5 \cdot 0,0624 \cdot 0,00856 = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

H₂SO₄ celková

$$\dots n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0512 \cdot 0,050 = 0,00256 \text{ mol}$$

b) procentový obsah ZnO ve vzorku

$$n(\text{ZnO}) = n_{\text{puvodni}}(\text{H}_2\text{SO}_4) - n_{\text{spotrebovane na rozklad ZnCO}_3}(\text{H}_2\text{SO}_4) -$$

$$n_{\text{zbyle}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,196 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\% \text{ ZnO} = w_{\text{ZnO}} \cdot 100 = \frac{m_{\text{ZnO}}}{m_{\text{vzorku}}} \cdot 100 =$$

$$= [n_{\text{ZnO}} \cdot \frac{M(\text{ZnO})}{m_{\text{vzorku}}}] \cdot 100 = [2,196 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{81,38}{0,2005}] \cdot 100 = 89,15 \%$$

c) procentový obsah nečistot

$$\% \text{ nečistot} = 100 - \text{ZnO} - \text{ZnCO}_3 = 100 - 89,15 - 6,04 = 4,81 \%$$