



VETERINÁRNÍ A FARMACEUTICKÁ UNIVERZITA BRNO

# **DOPLŇKOVÝ STUDIJNÍ MATERIÁL**

# **CHEMICKÉ VÝPOČTY**

Zuzana Špalková

Věra Vyskočilová

BRNO 2014

Doplňkový studijní materiál zaměřený na Chemické výpočty byl vytvořen v rámci projektu Interní vzdělávací agentury (IVA) Veterinární a farmaceutické univerzity Brno v roce 2014. Tento text je určen hlavně pro studenty prvních ročníků Fakulty veterinárního lékařství a Fakulty veterinární hygieny a ekologie v rámci předmětu Chemie (V1CH a H1VC), který je vyučován na Ústavu biochemie a biofyziky.

Cílem vytvoření tohoto doplňkového studijního materiálu je zopakování, upevnění a doplnění znalostí týkajících se základních chemických výpočtů potřebných nejen v průběhu studia, ale i následné praxe. Jednotlivé kapitoly obsahují vždy stručný teoretický úvod, následně několik řešených příkladů a nakonec neřešené příklady určené k procvičení dané problematiky. Při vzorovém řešení jsou uvedeny obvyklé postupy, ale mnohé příklady mohou být řešeny i jinými způsoby.

Řešitelkou projektu, v rámci kterého byl tento materiál vytvořen, byla studentka 4. ročníku Fakulty veterinárního lékařství, Zuzana Špalková. Spoluřešitelkou pak odborná asistentka na Ústavu biochemie a biofyziky, Ing. Věra Vyskočilová, Ph.D.

Autorky

## OBSAH

1. Přehled veličin .....	4
2. Ředění.....	5
3. Přepočet koncentrací (mol/l, g/l, %,.....)	6
4. Příprava roztoků z pevných látek .....	7
5. Příprava roztoků z kapalin, směšování roztoků.....	11
6. Výpočty z rovnic, titrace .....	15
7. Výpočty pH .....	21
7.1 Výpočet pH silných kyselin a zásad .....	22
7.2 Výpočet pH slabých kyselin a zásad .....	25
7.3 Výpočet pH pufrů .....	30

## 1. Přehled veličin

Důležité veličiny používané pro charakterizaci pevných látek a roztoků:

Látkové množství  $n$  [mol]:  $n = \frac{N}{N_A}$   $N$  = počet částic;  $N_A$  – Avogadrova konstanta

1 mol je takové látkové množství, které obsahuje stejný počet částic jako je v jednom uhlíkovém atomu  $0,012$  kg nuklidu  $^{12}_6\text{C}$ . Tento počet částic přibližně vyjadřuje Avogadrova konstanta  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Molární hmotnost  $M$ :  $M = \frac{m}{n}$   $m$  – hmotnost dané látky;  $n$  – látkové množství látky.

$M$  je hmotnost takového množství látky, která obsahuje 1 mol určitých částic. Nejčastější jednotou je  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  (výjimečně  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ).

Hmotnostní zlomek  $w$ :  $w_a = \frac{m_a}{m} \cdot 100$  [%]  $m_a$  – hmotnostní díl látky  $a$ ;  $m$  – hmotnost celé soustavy.

Hmotnostní zlomek vyjadřuje, jaký je podíl hmotnosti látky  $a$  z hmotnosti celé soustavy. Číslo  $w$  je bezrozměrné, ale při vynásobení 100 vyjadřuje procentuální podíl, tzv. hmotnostní procenta [%]. Součet hmotnostních zlomků všech složek v soustavě je roven 1.

Látková koncentrace  $c$ :  $c_A = \frac{n_A}{V}$   $n_A$  – látkové množství látky  $A$ ;  $V$  – objem celého roztoku.

Látková koncentrace vyjadřuje množství rozpuštěné látky  $A$  v  $1 \text{ dm}^3$  roztoku. Ekvivalentním názvem je molární koncentrace. Nejčastější jednotkou je  $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  (možný je i zápis  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ). Pokud 1 litr roztoku obsahuje 1 mol rozpuštěné látky,  $c = 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ , roztok označíme jako tzv. jednomolární roztok (1M).

Hustota  $\rho$ :  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m}$   $m$  – hmotnost látky;  $V$  – objem látky;  $M$  – molární hmotnost látky;  $V_m$  – molární objem látky.

Hustota homogenní soustavy je rovna podílu hmotnosti a objemu dané soustavy nebo podílu molární hmotnosti a molárního objemu čisté látky. Nejčastěji užívané jednotky hustoty jsou  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  (platí rovnost  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = \text{kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

Molární objem  $V_m$  vyjadřuje, jaký objem má 1 mol látky.  $V_m = \frac{V}{n} = \frac{M}{\rho}$  [nejčastěji  $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ].

## 2. Ředění

Nejčastěji používané ředění roztoků je 10x, 100x či 1000x. V tomto případě je nejvhodnější pro přípravu roztoku použít odměrnou nádobu na 10, 100 nebo 1000 ml. Pro přípravu ředění 10x do odměrné 10 ml baňky napipetujeme 1 ml dané látky, kterou chceme zředit a doplníme po rysku destilovanou vodou, tzn. 9 ml. Tento poměr lze zjistit jednoduchým postupem. Vydělíme výsledný objem hodnotou ředění, přičemž nám vyjde, kolik ml roztoku musíme napipetovat.

$$10 \text{ ml} / 10x = 1 \rightarrow \text{napipetujeme 1 ml roztoku + 9 ml vody.}$$

Stejně lze postupovat při ředění 100x a 1000x.

$$100 \text{ ml} / 100x = 1 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ ml roztoku + 99 ml vody.}$$

$$1000 \text{ ml} / 1000x = 1 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ ml roztoku + 999 ml vody.}$$

V případě netypického ředění, na které nepoužijeme odměrnou baňku, je postup stále stejný – výsledný objem dělíme ředěním. Např.:

$$50 \text{ ml} / 2x = 25 \text{ ml} \rightarrow 25 \text{ ml roztoku + 25 ml vody}$$

$$100 \text{ ml} / 20x = 5 \text{ ml} \rightarrow 5 \text{ ml roztoku + 95 ml vody}$$

$$150 \text{ ml} / 25x = 6 \text{ ml} \rightarrow 6 \text{ ml roztoku + 144 ml vody}$$

$$150 \text{ ml} / 50x = 3 \text{ ml} \rightarrow 3 \text{ ml roztoku + 197 ml vody}$$

$$400 \text{ ml} / 200x = 2 \text{ ml} \rightarrow 2 \text{ ml roztoku + 498 ml vody}$$

Tento postu platí i v obráceném sledu. Vydělením výsledného objem množstvím roztoku, který jsme pipetovali, dostaneme hodnotu ředění.

$$50 \text{ ml} / 10 \text{ ml} = 5 \rightarrow 5x \text{ ředění}$$

$$100 \text{ ml} / 25 \text{ ml} = 4 \rightarrow 4x \text{ ředění}$$

$$150 \text{ ml} / 10 \text{ ml} = 15 \rightarrow 15x \text{ ředění}$$

$$250 \text{ ml} / 40 \text{ ml} = 6,25 \rightarrow 6,25x \text{ ředění}$$

$$325 \text{ ml} / 25 \text{ ml} = 13 \rightarrow 13x \text{ ředění}$$

### 3. Přečet koncentrací (mol/l, g/l, %,...)

Pro vyjádření koncentrace roztoků či pevných látek můžeme využít několika veličin. Nejčastěji se využívají hmotnostní zlomek a molární (látková) koncentrace.

Hmotnostní zlomek  $w$  je bezrozměrné číslo, po vynásobení 100 získáme % koncentraci. Hlavní jednotkou molární koncentrace je mol/dm<sup>3</sup>(mol/l). Po dosazení můžeme odvodit vztah mezi oběma typy koncentrací.

$$w = \frac{m}{m_c}$$

$$c = \frac{n}{V}$$

$$w = \frac{m}{m_c} = \frac{n \cdot M}{\rho \cdot V} = \frac{c \cdot V \cdot M}{\rho \cdot V} = \frac{c \cdot M}{\rho}$$

Pokud do vztahu zahrneme i jednotky, výsledkem je stále bezrozměrné číslo. Hustota však musí být v g/dm<sup>3</sup>:

$$w = \left[ \frac{\frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{\frac{\text{g}}{\text{dm}^3}} \right] = \left[ \frac{\frac{\text{g}}{\text{l}}}{\frac{\text{g}}{\text{l}}} \right]$$

Hmotnostní koncentrace vyjádřenou v g/l, nemá ustálené značení, lze ji však získat jednoduchým vzorečkem, kdy molární koncentraci vynásobíme molární hmotností dané látky.

$$c_M = c \cdot M = \left[ \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] = \left[ \frac{\text{g}}{\text{l}} \right]$$

Procentuální koncentrace vyjadřuje obsah látky ve 100 g/ml soustavy. Známe-li tedy např. koncentraci dané látky v g/l, jednoduchým výpočtem můžeme získat její obsah v g na 100 ml:

Např.

$$\begin{array}{l} 25 \text{ g} \dots \dots \dots 1000 \text{ ml} \\ \underline{x \text{ g} \dots \dots \dots 100 \text{ ml}} \\ x = \frac{100 \cdot 25}{1000} = 2,5 \rightarrow 2,5 \% \end{array}$$

## 4. Příprava roztoků z pevných látek

Důležité veličiny používané pro charakterizaci pevných látek a roztoků byly uvedeny v předchozí kapitole.

### Příklad 1:

Určete molární koncentraci NaOH v roztoku, jestliže jeho vodný roztok vznikl smísením 4,0 g hydroxidu s vodou na objem 300 cm<sup>3</sup> roztoku. M NaOH je 40 g.mol<sup>-1</sup>.

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V = 300 \text{ cm}^3 = 0,3 \text{ dm}^3$ ;  $m = 5 \text{ g}$ ;  $M = 40 \text{ g.mol}^{-1}$
- Musíme vypočítat látkové množství hydroxidu sodného:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{5}{40} = 0,125 \text{ mol}$$

- Nyní všechny známé hodnoty dosadíme do vztahu pro  $c$ :

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,125}{0,3} = 0,42 \text{ mol.dm}^{-3}$$

→ Molární koncentrace hydroxidu sodného je 0,42 mol.dm<sup>-3</sup>.

### Příklad 2:

Jaká je molární koncentrace roztoku kyseliny sírové, jestliže na přípravu tohoto roztoku bylo použito 2,5 g kyseliny sírové o koncentraci 96 % a voda do celkového objemu 150 ml. Molární hmotnost kyseliny je 98,1 g.mol<sup>-1</sup>.

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $m = 2,5 \text{ g}$ ;  $w = 0,96$ ;  $V = 150 \text{ ml} = 0,15 \text{ l}$ ;  $M = 98,1 \text{ g.mol}^{-1}$
- Výpočet látkového množství kyseliny doplníme o hmotnostní zlomek kyseliny:

$$n = \frac{m \cdot w}{M} = \frac{2,5 \cdot 0,96}{98,1} = 0,024 \text{ mol}$$

- Znamé hodnoty dosadíme do vztahu pro výpočet molární koncentrace:

$$c = \frac{n}{V} = \frac{0,024}{0,15} = 0,16 \text{ mol.l}^{-1}$$

→ Molární koncentrace kyseliny sírové je 0,16 mol.l<sup>-1</sup>.

### Příklad 3:

Nasycený roztok chloridu sodného obsahuje 21 g NaCl a 150 g vody. Vypočítejte koncentraci tohoto roztoku v procentech.

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $m = 21 \text{ g}$ ;  $m_c = 150 + 21 = 171 \text{ g}$
- Hodnoty dosadíme do vztahu pro hmotnostní zlomek:

$$w = \frac{m}{m_c} = \frac{21}{171} = 0,122 \cdot 100 = 12,2 \%$$

→ **Koncentrace roztoku NaCl je 12,2 %.**

#### Příklad 4:

Připravte 100 ml roztoku NaCl o  $c = 0,2 \text{ mol/l}$ . Molární hmotnost NaCl je  $58,44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

*Řešení:*

- Znamé hodnoty:  $V = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ l}$ ;  $c = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ;  $M = 58,44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Výpočet hmotnosti NaCl:

$$c = \frac{n}{V} \quad n = c \cdot V = 0,2 \cdot 0,1 = 0,002 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad m = n \cdot M = 0,002 \cdot 58,44 = 0,117 \text{ g}$$

→ **Na přípravu roztoku je potřeba 0,117 g NaCl.**

#### Příklad 5:

Připravte 100 ml roztoku NaCl o koncentraci 5 %. Molární hmotnost NaCl je  $58,44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  a hustota roztoku je  $1,34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

*Řešení:*

- Znamé hodnoty:  $V = 100 \text{ ml}$ ;  $w = 0,05$ ;  $M = 58,44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $\rho = 1,34 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
- Výpočet hmotnosti celého vzorku:  $m_c = \rho \cdot V = 1,34 \cdot 100 = 134 \text{ g}$
- Hmotnost NaCl:

$$w = \frac{m}{m_c} \quad m = w \cdot m_c = 0,05 \cdot 134 = 6,7 \text{ g}$$

→ **Na přípravu roztoku je potřeba 6,7 g NaCl.**

#### Příklad 6:

Připravte 100 ml 5 % roztoku  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Molární hmotnost  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  je  $249,69 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

*Řešení:*

- Znamé hodnoty:  $V = 100 \text{ ml}$ ;  $w = 0,05$ ;  $M = 249,69 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- U takto zředěných roztoků se předpokládá, že má roztok stejnou hustotu jako voda  $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ , takže hustotu v podstatě zanedbáváme, dále počítáme jako v předešlém příkladě:

$$m_c = \rho \cdot V = 1 \cdot 100 = 100 \text{ g}$$

$$w = \frac{m}{m_c} \rightarrow m = w \cdot m_c = 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ g}$$

→ **Na přípravu roztoku bude potřeba 5 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .**



### Příklad 7:

Kolik gramů  $\text{NaNO}_3$  je potřeba k přípravě vodného roztoku o  $V = 600 \text{ ml}$  a koncentraci 25 %? Hustota roztoku je  $1,42 \text{ g/cm}^3$  a molární hmotnost  $85 \text{ g/mol}$ .

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V = 600 \text{ ml} = 0,6 \text{ l}$ ;  $w = 0,25$ ;  $\rho = 1,42 \text{ g/cm}^3$ ;  $M = 85 \text{ g/mol}$
  - Hmotnost celého roztoku:  $m_c = \rho \cdot V = 1,42 \cdot 600 = 852 \text{ g}$
  - Hmotnost  $\text{NaNO}_3$ :  $w = \frac{m}{m_c} \rightarrow m = w \cdot m_c = 0,25 \cdot 852 = 213 \text{ g}$
- Na přípravu roztoku potřebujeme 213 g  $\text{NaNO}_3$ .

### Příklad 8:

15 g  $\text{KOH}$  bylo naváženo do odměrné baňky na 500 ml a ta byla doplněna vodou po rysku. Vypočítejte koncentraci roztoku, vyjádřete ji v hmotnostních procentech a v  $\text{mol.l}^{-1}$ . Hustota roztoku je  $1,058 \text{ g.cm}^{-3}$ . Molární hmotnost  $\text{KOH}$  je  $57 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $m = 15 \text{ g}$ ;  $V = 500 \text{ ml} = 0,5 \text{ l}$ ;  $\rho = 1,058 \text{ g.cm}^{-3}$ ;  $M = 57 \text{ g.mol}^{-1}$
  - Výpočet hmotnostních procent:  
 $m_c = \rho \cdot V = 1,058 \cdot 500 = 529 \text{ g}$   
 $w = \frac{m}{m_c} = \frac{15}{529} = 0,028 \rightarrow 0,028 \cdot 100 = 2,8 \%$
  - Výpočet molární koncentrace  $c$ :  
 $n = \frac{m}{M} = \frac{15}{57} = 0,26 \text{ mol}$   
 $c = \frac{n}{V} = \frac{0,26}{0,5} = 0,52 \text{ mol.l}^{-1}$
- Koncentrace roztoku  $\text{KOH}$  je 2,8 % a  $0,52 \text{ mol.l}^{-1}$ .

### Příklad 9:

Do 250 ml odměrné baňky bylo naváženo 60 g  $\text{NaCl}$  a baňka byla doplněna vodou po rysku. Vznikl roztok o hustotě  $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$ . Vyjádřete koncentraci roztoku v hmotnostních procentech a  $\text{mol.l}^{-1}$ . Molární hmotnost  $\text{NaCl}$  je  $58,44 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $m = 60 \text{ g}$ ;  $V = 250 \text{ ml}$ ;  $\rho = 1,28 \text{ g.cm}^{-3}$ ;  $M = 58,44 \text{ g.mol}^{-1}$
- Výpočet molární koncentrace:  
 $n = \frac{m}{M} = \frac{60}{58,44} = 1,027 \text{ mol}$   
 $c = \frac{n}{V} = \frac{1,027}{0,25} = 4,108 \text{ mol.dm}^{-3}$
- Výpočet hmotnostních procent:

$$m_c = \rho \cdot V = 1,28 \cdot 250 = 320 \text{ g}$$

$$w = \frac{m}{m_c} = \frac{60}{320} = 0,188 \rightarrow 0,188 \cdot 100 = 18,8 \%$$

→ **Koncentrace roztoku NaCl je 18,8 % a 4,108 mol.l<sup>-1</sup>.**

#### *Další příklady k výpočtu:*

1. Jaká je procentuální koncentrace roztoku NaOH, jestliže na přípravu roztoku bylo použito 7 g NaOH a 200 g vody? (3,4 %)
2. Určete koncentraci v procentech roztoku AgNO<sub>3</sub>, jestliže na přípravu roztoku o objemu 750 ml bylo použito 0,225 kg AgNO<sub>3</sub>. Hustota roztoku je 2,15 g.cm<sup>-3</sup>. (14 %)
3. Vypočítejte molární koncentraci roztoku amoniaku, jestliže bylo na přípravu roztoku naváženo 3,5 g amoniaku do odměrné baňky na 250 ml a poté doplněno vodou po rysku. Molární hmotnost amoniaku je 17 g.mol<sup>-1</sup>. (c = 0,84 mol.l<sup>-1</sup>)
4. Připravte 100 ml roztoku KCl o koncentraci 1 mol/l. Molární hmotnost KCl je 74,55 g/mol. (m<sub>KCl</sub> = 18,64 g)
5. Připravte 40 ml roztoku NaOH o koncentraci 4 mol/l. Molární hmotnost NaOH je 40 g/mol. (m<sub>NaOH</sub> = 6,4 g)
6. Připravte 150 ml 10 % roztoku NaCl. Molární hmotnost NaCl je 58,44 g.mol<sup>-1</sup>. Hustota roztoku je 1,34 g.cm<sup>-3</sup>. ( m<sub>NaCl</sub> = 20,1 g)
7. Připravte 125 ml 3 % roztoku KI. Molární hmotnost KI je 166,01 g.mol<sup>-1</sup>. (m<sub>KI</sub> = 3,75 g)
8. Do 250 ml baňky bylo naváženo 17 g NaNO<sub>3</sub> a ta poté doplněna vodou po rysku. Jaká je koncentrace roztoku v hmotnostních procentech a mol.l<sup>-1</sup>? Molární hmotnost NaNO<sub>3</sub> je 85 g.mol<sup>-1</sup> a hustota roztoku je 0,97 g.cm<sup>-3</sup>. (6,9 %; c = 0,8 mol.l<sup>-1</sup>)

## 5. Příprava roztoků z kapalin, směšování roztoků

Při mísení dvou roztoků jedné látky o různém složení vycházíme ze základních směšovacích rovnic:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

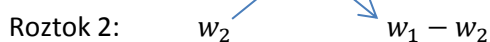
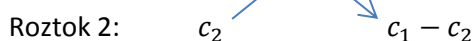
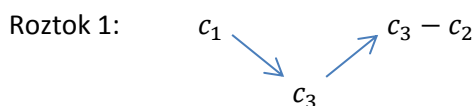
$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = m_3 \cdot w_3$$

nebo:

$$n_1 + n_2 = n_3$$

$$V_1 \cdot c_1 + V_2 \cdot c_2 = V_3 \cdot c_3$$

Pro výpočty lze použít i tzv. křížové pravidlo:



Poté platí, že:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{c_3 - c_2}{c_1 - c_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{w_3 - w_2}{w_1 - w_2}$$

Přidáváme-li do roztoku nebo z něj odebíráme čisté rozpouštědlo, pak se předpokládá, že toto rozpouštědlo má hmotnostní zlomek  $w$  nebo molární koncentraci  $c$  rovno nule. Směšovací rovnice poté zjednodušíme:

1) Přidání rozpouštědla (index 0):

$$V_1 \cdot c_1 = (V_1 + V_0) \cdot c_3 \quad \rightarrow V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2$$

$$m_1 \cdot w_1 = (m_1 + m_0) \cdot w_3 \quad \rightarrow m_1 \cdot w_1 = m_2 \cdot w_2$$

2) Odebrání rozpouštědla:

$$V_1 \cdot c_1 = (V_1 - V_0) \cdot c_3 \quad \rightarrow V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2$$

$$m_1 \cdot w_1 = (m_1 - m_0) \cdot w_3 \quad \rightarrow m_1 \cdot w_1 = m_2 \cdot w_2$$

### Příklad 1:

Jaká je koncentrace výsledného roztoku, který vznikne smísením 2,5 l roztoku NaCl o koncentraci 3,0 mol.l<sup>-1</sup> a 1,5 l roztoku NaCl o koncentraci 4,0 mol.l<sup>-1</sup>?

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V_1 = 2,5 \text{ l}; c_1 = 3,0 \text{ mol.l}^{-1}; V_2 = 1,5 \text{ l}; c_2 = 4,0 \text{ mol.l}^{-1}; V_3 = 4 \text{ l}$
- Dosadíme známé hodnoty do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 + V_2 \cdot c_2 = V_3 \cdot c_3 \quad \rightarrow \quad 2,5 \cdot 3,0 + 1,5 \cdot 4,0 = 4,0 \cdot c_3$$

$$c_3 = \frac{2,5 \cdot 3,0 + 1,5 \cdot 4,0}{4,0} = 3,375 \text{ mol.l}^{-1}$$

➔ **Molární koncentrace výsledného roztoku NaCl je  $c = 3,375 \text{ mol.l}^{-1}$ .**

### Příklad 2:

Kolik rozpouštědla je nutné odpařit z roztoku o objemu 3,75 l a koncentraci 0,6 mol.l<sup>-1</sup>, aby vznikl roztok o koncentraci  $c = 1,5 \text{ mol.l}^{-1}$ ?

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V_1 = 3,75 \text{ l}; c_1 = 0,6 \text{ mol.l}^{-1}; c_2 = 1,5 \text{ mol.l}^{-1}$
- Dosadíme známé hodnoty do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad 3,75 \cdot 0,6 = V_2 \cdot 1,5 \quad \rightarrow \quad V_2 = \frac{3,75 \cdot 0,6}{1,5} = 1,5 \text{ l}$$

- Objem odpařeného rozpouštědla  $V_0$  vypočítáme jako objem počátečního roztoku  $V_1$  zmenšený o objem roztoku konečného  $V_2$ :

$$V_0 = V_1 - V_2 = 3,75 - 1,5 = 2,25 \text{ l}$$

➔ **Musíme odpařit 2,25 l rozpouštědla.**

### Příklad 3:

Jaký objem kyseliny dusičné HNO<sub>3</sub> o koncentraci 65% a hustotě 1,39 g/cm<sup>3</sup> musíme použít, aby vznikl roztok o objemu 300 ml a koncentraci 2,4 mol.l<sup>-1</sup>? Molární hmotnost HNO<sub>3</sub> je 63 g.mol<sup>-1</sup>.

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V_2 = 300 \text{ ml}; c_2 = 2,4 \text{ mol.l}^{-1}; w = 0,65; \rho = 1,39 \text{ g.cm}^3 = 1390 \text{ g.dm}^{-3}; M = 63 \text{ g.mol}^{-1}$
- Výpočet molární koncentrace výchozího roztoku  $c_1$ :

$$w = \frac{m}{m_c} = \frac{n \cdot M}{\rho \cdot V} = \frac{c \cdot V \cdot M}{\rho \cdot V} = \frac{c \cdot M}{\rho} \quad \rightarrow \quad c = \frac{w \cdot \rho}{M}$$
$$c_1 = \frac{0,65 \cdot 1390}{63} = 14,34 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Dosadíme známé hodnoty do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad V_1 \cdot 14,34 = 300 \cdot 2,4 \quad \rightarrow \quad V_1 = \frac{300 \cdot 2,4}{14,34} = 50,2 \text{ ml}$$

➔ **Je třeba použít 50,2 ml kyseliny dusičné.**

#### Příklad 4.

Kolik ml 15% kyseliny dusičné  $\text{HNO}_3$  o hustotě  $\rho = 1,159 \text{ g.cm}^{-3}$  bude potřeba na přípravu roztoku o objemu 750 ml a koncentraci  $1,3 \text{ mol.l}^{-1}$ ? Molární hmotnost  $\text{HNO}_3$  je  $63 \text{ g.mol}^{-1}$

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V_2 = 750 \text{ ml}$ ;  $c_2 = 1,3 \text{ mol.l}^{-1}$ ;  $w = 0,15$ ;  $\rho = 1,159 \text{ g.cm}^{-3}$ ;  $M = 63 \text{ g.mol}^{-1}$
- Molární koncentrace počátečního roztoku  $c_1$ :

$$c_1 = \frac{w \cdot \rho}{M} = \frac{0,15 \cdot 1,159}{63} = 2,76 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Dosadíme známé hodnoty do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad V_1 = \frac{V_2 \cdot c_2}{c_1} = \frac{750 \cdot 1,3}{2,76} = 353,26 \text{ ml}$$

→ Je třeba použít 353,26 ml kyseliny dusičné.

#### Příklad 5:

29% roztok amoniaku o hustotě  $0,958 \text{ g.cm}^{-3}$  je třeba naředit na 15 % roztok o hustotě  $0,968 \text{ g.cm}^{-3}$  a objemu 500 ml. Kolik ml 29% roztoku bude potřeba? Molární hmotnost amoniaku je  $17,01 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $w_1 = 0,29$ ;  $\rho_1 = 0,958 \text{ g.cm}^{-3}$ ;  $V_2 = 500 \text{ ml}$ ;  $w_2 = 0,15$ ;  $\rho_2 = 0,968 \text{ g.cm}^{-3}$ ;  $M = 17,01 \text{ g.mol}^{-1}$
- Vypočítáme molární koncentraci obou roztoků:

$$c_1 = \frac{w_1 \rho_1}{M} = \frac{0,29 \cdot 0,958}{17,01} = 16,33 \text{ mol.l}^{-1}$$

$$c_2 = \frac{w_2 \rho_2}{M} = \frac{0,15 \cdot 0,968}{17,01} = 8,54 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Znamé hodnoty dosadíme do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad V_1 = \frac{V_2 \cdot c_2}{c_1} = \frac{500 \cdot 8,54}{16,33} = 261,5 \text{ ml}$$

→ Bude potřeba 261,5 ml 29% roztoku amoniaku.

#### Příklad 6:

Napipetovali jsme 12,5 ml roztoku kyseliny sírové  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o koncentraci  $0,3 \text{ mol.l}^{-1}$  do 50 ml odměrné baňky, ta byla poté doplněna vodou po rysku. Jaká je koncentrace vzniklého roztoku v %? Hustotu zanedbejte. Molární hmotnost kyseliny je  $98 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

- Znamé hodnoty:  $V_1 = 12,5 \text{ ml}$ ;  $c_1 = 0,3 \text{ mol.l}^{-1}$ ;  $V_2 = 50 \text{ ml}$ ;  $M = 98 \text{ g.mol}^{-1}$
- Dosadíme známé hodnoty do směšovací rovnice:

$$V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow c_2 = \frac{V_1 \cdot c_1}{V_2} = \frac{0,0125 \cdot 0,3}{0,05} = 0,075 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Dále převedeme molární hmotnost na procentuální koncentraci:

$$w = \frac{c \cdot M}{\rho} = \frac{0,075 \cdot 98}{1000} = 0,00735 \rightarrow 0,735 \%$$

➔ **Koncentrace výsledného roztoku je 0,735 %.**

### *Další příklady na procvičení:*

- 1) Smísíme-li 100 ml roztoku HCl o koncentraci 0,4 mol.l<sup>-1</sup> s 50 ml vody, jakou koncentraci bude mít vzniklý roztok? ( $c_2 = 0,27 \text{ mol.l}^{-1}$ )
- 2) Kolik vody musíme přidat k roztoku NaCl o koncentraci 0,5 mol.l<sup>-1</sup> a objemu 200 ml, abychom získali roztok o koncentraci 0,35 mol.l<sup>-1</sup>? Molární hmotnost NaCl je 58,44 g.mol<sup>-1</sup>. ( $V = 86 \text{ ml}$ )
- 3) Kolik vody musíme přidat ke 250 ml roztoku NaCl o koncentraci 0,9 mol.l<sup>-1</sup>, abychom získali roztok o koncentraci 0,5 mol.l<sup>-1</sup>? Molární hmotnost NaCl je 58,44 g.mol<sup>-1</sup>. ( $V = 200 \text{ ml}$ )
- 4) Kolik ml 20 % roztoku NaOH o hustotě 1,380 g.cm<sup>-3</sup> je nutné zředit, abychom získali roztok o koncentraci 0,12 mol.l<sup>-1</sup> a objemu 150 ml? Molární hmotnost NaOH je 40 g.mol<sup>-1</sup>. ( $V_1 = 2,6 \text{ ml}$ )
- 5) Připravte roztok kyseliny sírové H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o koncentraci 5,9 mol.l<sup>-1</sup> a objemu 250 ml, máte-li k dispozici 96 % kyselinu sírovou o hustotě 1,830 g.cm<sup>-3</sup>. Molární koncentrace kyseliny je 98,08 g.mol<sup>-1</sup>. (176 ml vody, 74 ml 96 % kyseliny sírové)
- 6) Napipetovali jsme 15 ml HNO<sub>3</sub> o koncentraci 0,01 mol.l<sup>-1</sup> do 50 ml odměrné baňky, která byla poté doplněna vodou po rysku. Jaká je koncentrace výsledného roztoku v %? Hustotu zanedbejte. Molární hmotnost HNO<sub>3</sub> je 63 g.mol<sup>-1</sup>. (18,9 %)

## 6. Výpočty z rovnic, titrace

Při těchto výpočtech vycházíme z rovnice reakce, přičemž rovnice musí být vyčísleny.



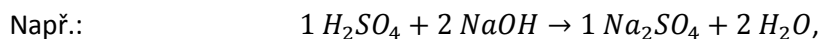
kde 1 mol NaOH zneutralizuje 1 mol HCl. Z tohoto poměru poté můžeme sestavit následující postup výpočtů:

$$n_1 : n_2 = 1 : 1$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{1}$$

$$n_1 = n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$



kde 1 mol kyseliny sírové neutralizují 2 moly hydroxidu sodného. U dvojsytných sloučenin platí:

$$n_1 : n_2 = 1 : 2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2}$$

$$n_1 = \frac{1}{2} \cdot n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot V_2$$

V těchto vztazích je:

$c_1$ ... koncentrace odměrného roztoku ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ )

$V_1$ ... objem odměrného roztoku, který byl spotřebován během titrace

$c_2$ ... koncentrace neznámého vzorku

$V_2$ ... objem neznámého vzorku

V literatuře se můžeme setkat s pojmem faktor  $f$ , který zpřesňuje koncentraci odměrného roztoku  $c_1$ . Zpřesnění faktorem lze znázornit:

$$(f \cdot c_1) \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

### Příklad 1:

Na titrační stanovení 15 ml neznámého vzorku  $H_2SO_4$  bylo spotřebováno 9,8 ml odměrného roztoku NaOH o koncentraci  $0,32 \text{ mol.l}^{-1}$ . Jaká je koncentrace kyseliny sírové (mol/l, g/l)? Molární hmotnost  $H_2SO_4$  je  $98,08 \text{ g.mol}^{-1}$  a NaOH je  $40 \text{ g.mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $1 H_2SO_4 + 2 NaOH \rightarrow 1 Na_2SO_4 + 2 H_2O$
- Znamé hodnoty:  
 $V_1 = 9,8 \text{ ml}; c_1 = 0,32 \text{ mol.l}^{-1}; V_2 = 15 \text{ ml}; M_2 = 98,08 \text{ g.mol}^{-1}; c_2 = ?$
- Z ekvivalentního poměru vychází:

$$\frac{n_{SO_4}}{n_{Na}} = 1/2$$
$$n_{SO_4} = \frac{n_{Na}}{2} = \frac{c \cdot V}{2} = \frac{0,32 \cdot 9,8}{2} = 1,568 \text{ mol}$$

- Pak můžeme vypočítat molární koncentraci kyseliny:

$$c_{SO_4} = \frac{n}{V} = \frac{1,568}{15} = 0,105 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Pro přepočítání molární koncentrace na koncentraci v g/l použijeme jednoduchý vztah:

$$c_M = c \cdot M = 0,105 \cdot 98,08 = 10,29 \text{ g.l}^{-1}$$

➔ **Koncentrace roztoku  $H_2SO_4$  je  $0,105 \text{ mol/l}$  a  $10,29 \text{ g/l}$ .**

### Příklad 2:

Titrovali jsme 10 ml neznámého vzorku  $HClO_4$  odměrným roztokem NaOH o koncentraci  $0,25 \text{ mol/l}$  a spotřebě 13 ml. Molární hmotnost  $HClO_4$  je  $100,4 \text{ g/mol}$ . Jaká je koncentrace neznámého roztoku  $HClO_4$  v %?

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $1 HClO_4 + 1 NaOH \rightarrow NaClO_4 + 1 H_2O$
- Znamé hodnoty:  $V_1 = 13 \text{ ml}; c_1 = 0,25 \text{ mol.l}^{-1}; V_2 = 10 \text{ ml}; M_2 = 100,4 \text{ g.l}^{-1}$
- Dále můžeme postupovat jako v předešlém příkladu, přes výpočet látkového množství, nebo můžeme známé hodnoty dosadit do základního vztahu:

$$c_1 \cdot V_1 = V_2 \cdot c_2 \rightarrow c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,25 \cdot 13}{10} = 0,325 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Přepočítání na koncentraci v g/l:

$$c_M = c \cdot M = 0,325 \cdot 100,4 = 32,63 \text{ g.l}^{-1}$$

- Při přepočtu na procenta, si musíme uvědomit, že 1 % vlastně znamená obsah určité látky na 100 ml roztoku (soustavy):

$$\begin{array}{l} 32,63 \text{ g} \dots \dots \dots 1000 \text{ ml} \\ \underline{x \text{ g} \dots \dots \dots 100 \text{ ml}} \\ x = \frac{32,63 \cdot 100}{1000} = 3,263 \text{ g} \rightarrow 3,2 \text{ \%} \end{array}$$

➔ **Koncentrace neznámého vzorku  $HClO_4$  je  $3,2 \text{ \%}$ .**



### Příklad 3:

Titrovali jsme 15 ml neznámého vzorku  $\text{Ca(OH)}_2$ , přičemž jsme použili odměrný roztok  $\text{HCl}$  o koncentraci 0,4 mol/l, faktoru 0,9300 a spotřebě 11,2 ml. Jaká je koncentrace  $\text{Ca(OH)}_2$ ? Molární koncentrace  $\text{Ca(OH)}_2$  je 74 g/mol.

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $1 \text{Ca(OH)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow 1 \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Znamé hodnoty:  $V_1 = 11,2 \text{ ml}$ ;  $c_1 = 0,4 \text{ mol.l}^{-1}$ ;  $f = 0,9300$ ;  $V_2 = 15 \text{ ml}$ ;  $M_2 = 74 \text{ g.mol}^{-1}$

- Vycházíme z vyčíslení rovnice:

$$n_1 : n_2 = 1 : 2 \quad \rightarrow \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2} \quad \rightarrow \quad n_2 = \frac{n_1}{2} \quad \rightarrow \quad c_2 \cdot V_2 = \frac{V_1 \cdot c_1}{2}$$

- Dosadíme hodnoty do tohoto vztahu:

$$c_2 = \frac{(c_1 \cdot f) \cdot V_1}{V_2 \cdot 2} = \frac{(0,4 \cdot 0,9300) \cdot 11,2}{15 \cdot 2} = 0,138 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Přepočítání koncentrace (mol/l  $\rightarrow$  g/l):

$$c_M = c \cdot M = 0,138 \cdot 74 = 10,27 \text{ g.l}^{-1}$$

**$\rightarrow$  Koncentrace neznámého vzorku  $\text{Ca(OH)}_2$  je 0,138 mol/l a 10,27 g/l.**

### Příklad 4:

Neznámá tekutina byla odeslána na stanovení  $\text{KI}$ . 15 ml tekutiny bylo napipetováno do odměrné baňky o objemu 150 ml, ta poté doplněna vodou po rysku. Z tohoto roztoku jsme na titraci použili 10 ml vzorku. Titrovali jsme odměrným roztokem  $\text{AgNO}_3$  o koncentraci 0,02 mol.l<sup>-1</sup>. Spotřeba odměrného roztoku byla 9,6 ml. Jaká je koncentrace  $\text{KI}$  v neznámé tekutině v %? Molární hmotnost  $\text{KI}$  je 166,01 g/mol.

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $\text{KI} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{AgI}$
- Znamé hodnoty:  $V_2 = 9,6 \text{ ml}$ ;  $c_1 = 0,02 \text{ mol.l}^{-1}$ ;  $V_1 = 10 \text{ ml}$ ;  $M = 166,01 \text{ g.mol}^{-1}$
- Dosadíme hodnoty do základního vztahu:

$$c_1 \cdot V_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,02 \cdot 9,6}{10} = 0,0192 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Jelikož byl neznámý roztok na začátku naředěn, musíme nyní vypočítanou koncentraci  $\text{KI}$  vynásobit hodnotou ředění. Tuto hodnotu získáme jako poměr výsledného objemu naředěného roztoku a objemu neznámého vzorku, který jsme na toto ředění použili. V tomto případě tedy:

$$\frac{150}{15} = 10 \rightarrow 10 \times \text{ředění} \quad \rightarrow \quad c = 0,0192 \cdot 10 = 0,192 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Přepočítání molární koncentrace na g/l:

$$c_M = c \cdot M = 0,192 \cdot 166,01 \text{ g.mol}^{-1} = 31,87 \text{ g/l}$$

- Přepočítání na hmotnostní procenta:

$$31,87 \text{ g} \dots \dots \dots 1000 \text{ ml}$$

$$x = \frac{31,87 \cdot 100}{1000} = 3,187 \text{ g} \rightarrow 3,2 \%$$

→ **Koncentrace KI v neznámé tekutině je 3,2 %.**

#### Příklad 5:

Krmivo bylo zasláno na vyšetření obsahu NaCl. Navázilo se přesně 5 g krmiva, z kterého byl proveden výluh do 100 ml vody. Z tohoto výluhu se na titraci použilo 15 ml. Titrovalo se odměrným roztokem AgNO<sub>3</sub> o koncentraci 0,002 mol/l, faktoru 1,0560 a spotřebě 10,11 ml. Jaký je obsah NaCl v jednom kg krmiva? Molární hmotnost NaCl je 58,44 g/mol.

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $1 \text{ NaCl} + 1 \text{ AgNO}_3 \rightarrow 1 \text{ NaNO}_3 + 1 \text{ AgCl}$
- Znamé hodnoty:  $V_1 = 10,11 \text{ ml}; c_1 = 0,002 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}; V_2 = 15 \text{ ml}; M = 58,44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Dosadíme hodnoty do základního vztahu:

$$(c_1 \cdot f) \cdot V_1 = V_2 \cdot c_2 \quad \rightarrow \quad c_2 = \frac{(c_1 \cdot f) \cdot V_1}{V_2} = \frac{(0,002 \cdot 1,0560) \cdot 10,11}{15} = 0,00142 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

- Přepočítání na hmotnostní koncentraci:

$$c_M = c \cdot M = 0,00142 \cdot 58,44 = 0,083 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$$

- Vypočtená koncentrace v g/l udává obsah dané látky v g na 1000 ml, musíme proto přepočítat obsah této látky v g v objemu, do kterého jsme provedli výluh krmiva. Tzn:

$$x = \frac{0,083 \cdot 100}{1000} = 0,0083 \text{ g}$$

- Vypočítali jsme, že v 100 ml výluhu bylo 0,0083 g NaCl. V tomto objemu bylo vyluhováno přesně 5 g krmiva, z toho plyne, že v 5 g krmiva je 0,0083 g NaCl. Chceme-li vědět, kolik NaCl je v jednom kg krmiva, musíme objem přepočítat:

$$x = \frac{0,0083 \cdot 1000}{5} = 1,66 \text{ g/kg}$$

→ **V jednom kilogramu krmiva je 1,66 g NaCl.**

#### Příklad 6:

Vzorek krmiva byl odeslán na zjištění obsahu KCl. Navázili jsme přesně 10 g krmiva a udělali výluh do 250 ml destilované vody. Z tohoto výluhu jsme odebrali vzorky po 10 ml, ke kterým bylo vždy přidáno 15 ml AgNO<sub>3</sub> o koncentraci 0,1 mol/l. Provedli jsme zpětnou titraci pomocí KSCN o koncentraci 0,02 mol/l, přičemž průměrná spotřeba KSCN byla 5,4 ml. Kolik gramů KCl je obsaženo v kilogramu krmiva? Molární hmotnost KCl je 74,55 g/mol, AgNO<sub>3</sub> je 169,88 g/mol, KSCN je 97,18 g/mol.

#### Řešení:

- Reakční rovnice:  $1 KCl + 1 AgNO_3 \rightarrow 1 KNO_3 + 1 AgCl$
- Při zpětné titraci (Volhardova metoda) se spotřeba druhého odměrného roztoku rovná části objemu zreagovaného prvního odměrného roztoku. V našem případě tedy vypočítáme objem  $V_1$  odměrného roztoku  $AgNO_3$  zmenšením původního objemu (15 ml) o spotřebu  $KSCN$ :

$$V_{AgNO_3} = 15 \text{ ml} - V_{KSCN} = 15 - 5,4 = 9,6 \text{ ml}$$

- Znamé hodnoty:  $V_1 = 9,6 \text{ ml}; c_1 = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}; V_2 = 10 \text{ ml}; M_{KCl} = 74,55 \text{ g.mol}^{-1}$
- Dále postupujeme obdobně jako u předešlých příkladů, dosadíme hodnoty do základního vztahu:

$$c_1 \cdot V_1 = V_2 \cdot c_2 \rightarrow c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,1 \cdot 9,6}{10} = 0,096 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Přepočet na koncentraci v g/l:

$$c_M = c \cdot M = 0,096 \cdot 74,55 = 7,16 \text{ g.l}^{-1}$$

- Obsah  $KCl$  v g v 250 ml výluhu krmiva:

$$\begin{array}{l} 7,16 \text{ g} \dots \dots \dots 1000 \text{ ml} \\ \underline{x \text{ g} \dots \dots \dots 250 \text{ ml}} \\ x = \frac{7,16 \cdot 250}{1000} = 1,7892 \text{ g} \end{array}$$

- Obsah  $KCl$  v g v celém kilogramu krmiva:

$$\begin{array}{l} 1,7892 \text{ g KCl} \dots \dots \dots 10 \text{ g krmiva} \\ \underline{x \text{ g KCl} \dots \dots \dots 1000 \text{ g krmiva}} \\ x = \frac{1,7892 \cdot 1000}{10} = 178,92 \text{ g} \end{array}$$

➔ V jednom kilogramu krmiva je 178,92 g  $KCl$ .

### Příklad 7:

Vzorek moči byl odeslán na stanovení obsahu chloridů  $Cl^-$ . Vzorek moči byl nejdříve naředěn: bylo napipetováno 5 ml do odměrné baňky na 250 ml, ta doplněna destilovanou vodou po rysku. Na srážecí titraci dle Mohra bylo odebráno 15 ml naředěného vzorku, a přidáno do asi 30 ml destilované vody. Titrovalo se odměrným roztokem  $AgNO_3$  o koncentraci 0,01 mol/l a spotřebě 21 ml. Jaký je obsah  $Cl^-$  v moči v mol/l? Molární hmotnost chloridových iontů je 35,5 g/mol.

### Řešení:

- Reakční rovnice:  $AgNO_3 + Cl^- \rightarrow AgCl + NO_3^-$
- Znamé hodnoty:  $V_1 = 21 \text{ ml}; c_1 = 0,01 \text{ mol.l}^{-1}; V_2 = 15 \text{ ml}; M_{Cl^-} = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$
- V případě, že se vzorek přidá do vody, nejedná se již o ředění. Proto do vztahu dosazujeme původní objem vzorku 15 ml (ne 30 ml s přidanou vodou!).
- Hodnoty dosadíme do základního vztahu:

$$c_1 \cdot V_1 \cdot n = V_2 \cdot c_2 \rightarrow c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1 \cdot n}{V_2} = \frac{0,01 \cdot 21 \cdot 1}{15} = 0,014 \text{ mol.l}^{-1}$$

- Vypočítanou koncentraci vynásobíme původním ředěním:

$$250/5 = 50 \rightarrow \text{ředění } 50 \times \rightarrow c = 0,014 \cdot 50 = 0,7 \text{ mol.l}^{-1}$$

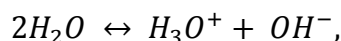
➔ V moči je obsaženo 0,7 mol/l chloridových iontů  $Cl^-$ .

### *Další příklady na procvičení:*

1. Titrujeme neznámý vzorek HCl o objemu 10 ml odměrným roztokem NaOH o koncentraci 0,2 mol.l<sup>-1</sup> se spotřebou 10,2 ml NaOH. Molární hmotnost HCl je 36,46 g.mol<sup>-1</sup>. Jaká je koncentrace HCl v mol/l? (c = 0,204 mol.l<sup>-1</sup>)
2. Na titraci neznámého vzorku Ca(OH)<sub>2</sub> o objemu 10 ml byl použit odměrný roztok HCl o koncentraci 0,1 mol/l, faktoru 0,9412 a spotřebě 7,5 ml. Jaká je koncentrace Ca(OH)<sub>2</sub> v %? Molární koncentrace Ca(OH)<sub>2</sub> je 74 g/l. (c = 2,59 g/l, 0,26 %)
3. 15 ml neznámého roztoku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bylo naředěno na objem 250 ml destilovanou vodou. Z naředěného roztoku bylo na titraci odebráno 10 ml. Titrovalo se odměrným roztokem NaOH o koncentraci 0,2 mol/l a spotřebě 11,3 ml. Jaká je koncentrace neznámého vzorku kyseliny sírové? Molární koncentrace H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> je 98,08 g/l, NaOH je 40 g/l. (c = 1,875 mol/l, c<sub>M</sub>=183,9 g/l)
4. Krmivo bylo odesláno na stanovení obsahu NaCl. Na výluh bylo naváženo 5 g krmiva, v odměrné baňce a 250 ml byl vzorek doplněn destilovanou vodou po rysku. Vždy k 15 ml výluhu bylo přidáno 25 ml odměrného roztoku AgNO<sub>3</sub> o koncentraci 0,02 mol/l. Zpětná titrace byla provedena roztokem KSCN o koncentraci 0,001 mol/l a průměrné spotřebě 15,9 ml. Jaký je obsah NaCl v jednom kg krmiva? Molární hmotnosti NaCl je 58,44 g/mol, AgNO<sub>3</sub> je 169,88 g/mol, KSCN je 97,18 g/mol. (35,05 g/kg)

## 7. Výpočty pH

Při výpočtu pH silných kyselin a zásad vycházíme z předpokladu, že se tyto látky ve zředěných vodných roztocích plně disociují, jako v případě samotné vody, kdy nastává tzv. autoprotolytická reakce vody:



což lze vyjádřit rovnovážnou konstantou:

$$K = \frac{[H_3O^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]^2}$$
$$K \cdot [H_2O]^2 = [H_3O^+] \cdot [OH^-]$$

Koncentrace disociovaných iontů jsou oproti celkové koncentraci nedisociovaných molekul vody zanedbatelné, koncentrace nedisociovaných molekul vody se prakticky nemění, můžeme proto rovnovážnou koncentraci zahrnout do rovnovážné konstanty:

$$K_v = K \cdot [H_2O]^2$$
$$K_v = [H_3O^+] \cdot [OH^-]$$

Dosazením experimentálně zjištěných hodnot do vztahu získáme hodnotu  $K_v$ :

$$K_v = [1 \cdot 10^{-7}] \cdot [1 \cdot 10^{-7}] = 1 \cdot 10^{-14}$$

**Konstanta  $K_v$ , vyjadřující iontový součin vody, má pro teplotu 25°C hodnotu  $1 \cdot 10^{-14}$ .** Přičemž platí:

$$[H_3O^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$$

Rovnici zlogaritmujeme a vynásobíme hodnotou -1:

$$\log[H_3O^+] + \log[OH^-] = -14$$
$$-\log[H_3O^+] - \log[OH^-] = 14$$

Při dosazení  $-\log[H_3O^+] = pH$  a  $-\log[OH^-] = pOH$ , získáváme výsledný vztah:

$$**pH + pOH = 14**$$

Tento výsledný vztah nám umožňuje vyjadřovat kyselost i zásaditost roztoků prostřednictvím hodnoty pH. V čisté vodě je koncentrace iontů stejná, tedy platí, že  $pH = pOH$

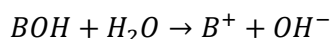
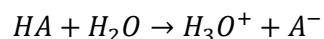
Při dosazení  $x$  za  $pH$ , musí i  $pOH$  být  $x$ , a výsledný vztah nám dává rovnici:

$$2x = 14$$
$$x = 7,$$

tedy neutrální hodnota  $pH = 7$ .

## 7.1 Výpočet pH silných kyselin a zásad

U silných kyselin je předpoklad, že ve zředěných vodných roztocích plně disociují, jak již bylo řečeno výše. Díky tomu nemusíme znát disociační konstantu dané látky při výpočtu pH jejího roztoku. Úplnou disociaci látek můžeme vyjádřit rovnicemi:



Jelikož v roztoku dochází k úplné disociaci kyseliny nebo zásady, musí se koncentrace vzniklých  $[H_3O^+]$  resp.  $[OH^-]$  iontů rovnat výchozí látkové koncentraci kyseliny  $[HA]$  resp. zásady  $[BOH]$ , které lze označit také  $c_{AH}$  či  $c_{BOH}$ .

Přehled nejdůležitějších vztahů pro výpočet pH silných kyselin a zásad:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

$$pOH = -\log[OH^-]$$

$$pH + pOH = 14$$

$$[H_3O^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$c_{BOH} = c[OH^-]$$

$$pOH = -\log c_{BOH}$$

$$c_{AH} = c[H_3O^+]$$

$$pH = -\log c_{AH}$$

### Příklad 1:

Vypočítejte pH roztoku kyseliny chlorovodíkové HCl o látkové koncentraci  $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^3$ .

#### Řešení:

- HCl podléhá plné disociaci:  $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$
- Látková koncentrace vyjadřuje obsah  $[H_3O^+]$  nebo  $[OH^-]$  přítomných v roztoku elektrolytů po dosažení rovnovážného stavu, platí proto:

$$c[H_3O^+] = c_{HCl} = 0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^3$$

- Po dosazení do vztahu  $pH = -\log[H_3O^+]$ :

$$pH = -\log(0,01) = 2$$

➔ pH 0,01 molárního roztoku kyseliny chlorovodíkové je 2.

### Příklad 2:

Vypočítejte pH roztoku kyseliny sírové  $H_2SO_4$  o koncentraci  $0,0007 \text{ mol.dm}^{-3}$ .

#### Řešení:

- Úplná disociace:  $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + SO_4^{2-}$
- U dvojsytných kyselin se bude koncentrace  $[H_3O^+]$  rovnat dvojnásobku látkové koncentrace kyseliny:

$$c[H_3O^+] = 2 \cdot c_{HA} = 2 \cdot 0,0007 = 0,0014 \text{ mol.dm}^{-3}$$

- Po dosazení do vzorce  $pH = -\log[H_3O^+]$ :

$$pH = -\log(0,0014) = 2,85$$

➔ **pH 0,0007 molárního roztoku kyseliny sírové je 2,85.**

### Příklad 3:

Vypočítejte pH roztoku hydroxidu sodného NaOH o koncentraci  $0,02 \text{ mol.dm}^{-3}$ .

#### Řešení:

- Úplná disociace v roztoku:  $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$
- Pro koncentraci iontů  $[OH^-]$  platí:

$$c[OH^-] = c_{NaOH} = 0,02 \text{ mol.dm}^{-3}$$

- U výpočtu pH zásad opět vycházíme ze základního vztahu:

$$pH + pOH = 14$$

$$pH = 14 - pOH$$

- Po dosazení do vztahu:  $pOH = -\log[OH^-]$

$$pOH = -\log(0,02) = 1,699$$

$$pH = 14 - 1,699 = 12,301$$

➔ **pH 0,02 molárního roztoku hydroxidu sodného je 12,301.**

### Příklad 4:

Vypočítejte pH roztoku hydroxidu barnatého  $Ba(OH)_2$ , jestliže látková koncentrace roztoku je  $0,005 \text{ mol.dm}^{-3}$ .

#### Řešení:

- Úplná disociace hydroxidu:  $Ba(OH)_2 \rightarrow Ba^{2+} + 2OH^-$
- Pro koncentraci  $[OH^-]$  u dvojsytného hydroxidu platí, že:

$$c[OH^-] = 2 \cdot c_{Ba(OH)_2} = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ mol.dm}^{-3}$$

- Po dosazení do vztahu  $pOH = -\log[OH^-]$ :

$$pOH = -\log(0,01) = 2$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 2 = 12$$

→ pH 0,005 molárního roztoku hydroxidu barnatého je 12.

#### Příklad 5:

pH roztoku kyseliny chlorovodíkové HCl je 2,15. Vypočítejte, jaká je koncentrace této kyseliny.

#### Řešení:

- Jestliže se  $c[H_3O^+] = c_{HCl}$ , dosadíme tedy známé hodnoty do vztahu:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

- Po odlogaritmování rovnice, získáme výsledek:

$$c[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,15} = 7,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$c[H_3O^+] = c_{HCl} = 7,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

→ Koncentrace kyseliny chlorovodíkové o pH 2,15 je  $7,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Pozn.: Při výpočtu látkové koncentrace dvojsytné kyseliny vycházíme ze vztahu  $c[H_3O^+] = 2 \cdot c_{HA}$ .

Po úpravě  $c_{HA} = \frac{c[H_3O^+]}{2}$ .

#### Příklad 6:

Roztok hydroxidu manganatého  $Mn(OH)_2$  má pH 10,85. Vypočítejte koncentraci roztoku hydroxidu.

#### Řešení:

- Úplná disociace:  $Mn(OH)_2 \rightarrow Mn^{2+} + 2OH^-$

- Využijeme základního vztahu pro pH a dosadíme známé hodnoty:

$$pH = 14 - pOH$$

$$pOH = 14 - pH = 14 - 10,85 = 3,15$$

- Koncentrace iontů  $OH^-$  se rovná látkové koncentraci hydroxidu:

$$c_{Mn(OH)_2} = [OH^-]$$

- Proto:

$$pOH = -\log[c_{Mn(OH)_2}] = -\log[OH^-]$$

- Dosadíme naše hodnoty:

$$3,15 = -\log[OH^-]$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-3,15} = 7,08 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Hydroxid manganatý je dvojsytný alkohol, proto:

$$[OH^-] = 2 \cdot c_{Mn(OH)_2}$$

$$c_{Mn(OH)_2} = \frac{[OH^-]}{2} = \frac{7,08 \cdot 10^{-4}}{2} = 3,54 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

→ Koncentrace hydroxidu manganatého o pH 10,85 je  $3,54 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Pozn.: Při výpočtu koncentrace jednosytného hydroxidu vycházíme ze vztahu  $[OH^-] = c_{BOH}$ .



### Příklad 7:

Jaká je koncentrace oxoniových  $[H_3O^+]$  a hydroxidových  $[OH^-]$  iontů v roztoku o pH 4,4?

#### Řešení:

- Využijeme iontového součinu vody:

$$[H_3O^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14} = K_v$$

- Pro výpočet  $[H_3O^+]$  použijeme vztahu:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

- Dosadíme a upravíme rovnici:

$$4,4 = -\log[H_3O^+]$$

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-4,4} = 3,98 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Po dosazení do iontového součinu vody vypočítáme koncentraci hydroxidových iontů:

$$[OH^-] = \frac{K_v}{[H_3O^+]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{3,98 \cdot 10^{-5}} = 2,51 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

➔ V roztoku o pH 4,4 je koncentrace oxoniových iontů  $3,98 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  a koncentrace hydroxidových iontů  $2,51 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

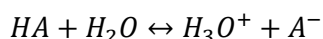
### Další příklady na procvičení:

1. Vypočítejte pH roztoku kyseliny iodosodíkové HI o látkové koncentraci  $0,02 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . (pH = 1,69)
2. Jestliže je pH roztoku kyseliny 2,7, jaká je molární koncentrace této kyseliny? ( $c = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )
3. Vypočítejte koncentraci roztoku dvojsytné kyseliny sírové  $H_2SO_4$ , jestliže pH tohoto roztoku se rovná 2,2. ( $c = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )
4. Roztok dvojsytné kyseliny siřičité  $H_2SO_4$  má látkovou koncentraci  $c = 0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Jaké je pH tohoto roztoku? (pH = 0,39)
5. Roztok hydroxidu draselného KOH má koncentraci  $c = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Vypočítejte, jaké je pH tohoto roztoku. (pH = 9)
6. Vypočítejte koncentraci roztoku hydroxidu draselného, jestliže pH tohoto roztoku je 13,5. ( $c = 0,32 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ )
7. Vypočítejte, jaké je pH roztoku a obsah oxoniových kationů  $H_3O^+$ , jestliže je v tomto roztoku koncentrace hydroxidových iontů  $[OH^-] = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . (pH = 9,  $[H_3O^+] = 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .)

## 7.2 Výpočet pH slabých kyselin a zásad

Slabé kyseliny a zásady nejsou ve vodném roztoku plně disociovány, je proto nutné znát disociační konstantu dané kyseliny či zásady pro výpočet pH.

Disociaci slabé kyseliny lze znázornit rovnicí a rovnovážnou konstantou:



$$K_a = \frac{[H_3O^+]. [A^-]}{[HA]}$$

Koncentrace oxoniových kationtů  $[H_3O^+]$  a disociovaného aniontu kyseliny  $[A^-]$  jsou hodnoty, které se rovnají. Vznikly disociací jedné molekuly. Koncentrace nedisociované kyseliny  $[HA]$  je rovna celkové molární koncentraci kyseliny, tedy  $c_{HA}$ . Po dosazení do rovnice nám vzniká:

$$K_a = \frac{[H_3O^+]. [H_3O^+]}{[c_{HA}]}$$

$$[H_3O^+]^2 = K_a \cdot c_{HA}$$

Pro výpočet pH je nutné udělat několik matematických operací upravení rovnice:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot c_{HA}}$$

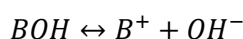
$$-\log[H_3O^+] = -\log\sqrt{K_a \cdot c_{HA}} = -\log(K_a \cdot c_{HA})^{-\frac{1}{2}} = -\frac{1}{2}\log(K_a \cdot c_{HA}) = -\frac{1}{2}\log K_a - \frac{1}{2}\log c_{HA}$$

Záporný dekadický logaritmus hodnoty  $[H_3O^+]$  je v podstatě hodnota  $pH$ . Dále se pro výraz  $-\log(K_a)$  ustálil symbol  $pK_a$ . Výsledný vztah pro výpočet pH slabých kyselin vypadá takto:

$$pH = \frac{1}{2}pK_a - \frac{1}{2}\log(c_{HA}) = \frac{pK_a - \log(c_{HA})}{2}$$

Není nutné si pamatovat všechny matematické operace, nejpodstatnější je výsledný vztah pro výpočet pH slabých kyselin, resp. zásad.

Disociaci slabé zásady lze zobrazit analogicky jako v případě slabých kyselin, stejně tak rovnovážnou disociační konstantu:



$$K_b = \frac{[B^+]. [OH^-]}{[BOH]}$$

U výpočtu pH slabých zásad, musíme pamatovat na základní vztah  $pH = 14 - pOH$ :

$$pH = 14 - \frac{pK_b - \log(c_{BOH})}{2}$$

### **Příklad 1:**

**Vypočítejte pH 0,15 molárního roztoku kyseliny octové  $CH_3COOH$ , kde  $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ .**

### *Řešení a:*

- Disociace kyseliny v roztoku:  $CH_3COOH + H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H_3O^+$
- Vztah pro rovnovážnou konstantu je:

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-]. [H^+]}{[CH_3COOH]}$$

- Vztah pro výpočet pH:

$$pH = \frac{pK_a - \log(c_A)}{2}$$

- Víme, že:  $pK_a = -\log K_a = -\log(1,75 \cdot 10^{-5}) = 4,75$
- Dosadíme do rovnice známé hodnoty:

$$pH = \frac{4,75 - \log(0,15)}{2} = 2,79$$

### Řešení b:

- Vztah pro disociační konstantu kyseliny je:

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-] \cdot [H^+]}{[CH_3COOH]}$$

- Jestliže si koncentraci  $[CH_3COO^-]$  označíme jako  $x$ , koncentrace  $[H^+]$  bude také rovna  $x$  (oba ionty vznikly disociací dané kyseliny). Koncentrace nedisociované kyseliny  $[CH_3COOH]$  bude rovna její celkové koncentraci zmenšené o koncentraci kyseliny disociované, tedy o  $x$ . Tzn.

$$[CH_3COOH] = 0,15 - x$$

- Po dosazení našich hodnot do rovnice:

$$1,75 \cdot 10^{-5} = \frac{[x] \cdot [x]}{[0,15 - x]}$$

$$x = 1,622 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- pH vypočítáme opět jako záporný dekadický logaritmus pomocí čísla  $x$ :

$$pH = -\log(1,622 \cdot 10^{-3})$$

$$pH = 2,79$$

➔ **pH 0,15 M roztoku kyseliny octové je 2,79.**

### Příklad 2:

Jaká musí být molární koncentrace kyseliny octové ( $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ ), aby její roztok měl **pH = 2,4**?

### Řešení:

- Disociace slabé kyseliny:  $CH_3COOH + H_2O \rightarrow H_3O^+ + CH_3COO^-$
- Jelikož platí, že  $c_{AH} = c[H_3O^+]$ , můžeme vypočítat koncentraci  $[H_3O^+]$ :

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

$$2,4 = -\log[H_3O^+]$$

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,4} = 3,981 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Dosazením do výpočtu pro rovnovážnou konstantu:

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-] \cdot [H^+]}{[CH_3COOH]}$$

- Pro jednosytnou kyselinu octovou platí, že:

$$[CH_3COO^-] = [H^+] = 3,981 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Rovnovážná koncentrace nedisociované kyseliny ( $x$ ) bude rovna její celkové koncentraci zmenšené o disociovanou kyselinu:

$$[CH_3COOH] = x - 3,981 \cdot 10^{-3}$$

- Dosadíme do vztahu pro rovnovážnou konstantu:

$$1,75 \cdot 10^{-3} = \frac{[3,981 \cdot 10^{-3}] \cdot [3,981 \cdot 10^{-3}]}{[x - 3,981 \cdot 10^{-3}]}$$

$$x = 0,909 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

➔ **Kyselina octová musí mít koncentraci 0,909 mol.dm<sup>-3</sup>.**

### Příklad 3:

Disociační konstanta slabé jednosytné zásady je  $K_b = 4 \cdot 10^{-7}$ , pH roztoku má hodnotu 10,3. Určete látkovou koncentraci zásady.

#### Řešení:

- Disociace slabé zásady:  $BOH \rightarrow B^+ + OH^-$
- pH je známo ze zadání, lze ho využít pro výpočet pOH:

$$pOH = 14 - pH = 14 - 10,3 = 3,7$$

- Látková koncentrace  $[OH^-]$  se vypočítá ze vztahu:

$$pOH = -\log[OH^-]$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-3,7} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Rovnovážná konstanta:

$$K_b = \frac{[B^+] \cdot [OH^-]}{[BOH]}$$

- Koncentrace iontů  $[B^+]$  se rovná koncentraci  $[OH^-]$ , což se tedy rovná hodnotě  $2 \cdot 10^{-4}$ . Koncentrace nedisociované zásady  $[BOH]$  bude rovna její celkové koncentraci, tedy  $x$ , zmenšené o koncentraci zásady disociované. Tzn.:

$$[BOH] = x - [OH^-]$$

- Po dosazení našich hodnot do rovnice:

$$4 \cdot 10^{-7} = \frac{[2 \cdot 10^{-4}] \cdot [2 \cdot 10^{-4}]}{[x - 2 \cdot 10^{-4}]}$$

$$x = \frac{[2 \cdot 10^{-4}]^2}{4 \cdot 10^{-7}} + 2 \cdot 10^{-4} = 0,1002 = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

➔ **Látková koncentrace zásady o pH = 10,3 a  $K_b = 4 \cdot 10^{-7}$  je 0,1 mol.dm<sup>-3</sup>.**

### Příklad 4:

Jaké je pH roztoku amoniaku o molární koncentraci 0,1 M, jestliže  $K_b = 1,77 \cdot 10^{-5}$ ?

#### Řešení a:

- Disociace slabé zásady:  $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$
- Rovnovážná konstanta:

$$K_b = \frac{[B^+] \cdot [OH^-]}{[BOH]}$$

- Dále platí, že:  $[NH_4^+] = [OH^-]$ , přičemž koncentrace hydroxidových aniontů je pro nás neznámá, tedy  $x$ :

$$K_b = \frac{[x] \cdot [x]}{[c_{BOH} - x]}$$

- Po dosazení známých čísel vypočítáme hodnotu  $x$ :

$$1,77 \cdot 10^{-5} = \frac{[x] \cdot [x]}{[0,1 - x]}$$

$$[OH^-] = x = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Pro výpočet pH, použijeme již známých vztahů:

$$pH = 14 - pOH$$

$$pOH = -\log(1,33 \cdot 10^{-3}) = 2,875$$

$$pH = 14 - 2,875 = 11,125$$

#### Řešení b:

- Použijeme přímo vztah pro výpočet pH:

$$pH = 14 - \frac{pK_b - \log(c_{BOH})}{2}$$

$$pK_a = -\log(K_b) = -\log(1,77 \cdot 10^{-5}) = 4,75$$

- Dosadíme známé hodnoty do vztahu:

$$pH = 14 - \frac{4,75 - \log(0,1)}{2} = 11,125$$

➔ **pH roztoku amoniaku o látkové koncentraci 0,1 M a  $K_a = 1,77 \cdot 10^{-5}$  je 11,125.**

#### Příklad 5:

**Roztok 0,05 M roztoku jednosytné kyseliny má pH = 4. Jaká je disociační konstanta této kyseliny?**

#### Řešení:

- Pomocí pH vypočítáme koncentraci  $[H_3O^+]$ :

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

$$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Dosadíme známé hodnoty do vztahu pro disociační konstantu:

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \cdot [A^-]}{[AH]} = \frac{[10^{-4}] \cdot [10^{-4}]}{[0,05 - 10^{-4}]} = 2,0 \cdot 10^{-7}$$

➔ **Disociační konstanta roztoku kyseliny o pH= 4 a c = 0,05 M je  $K_a=2,10 \cdot 10^{-7}$ .**

#### Příklad 6:

**Jaká je  $K_b$  slabé jednosytné zásady o molární koncentraci 0,006 mol/l a pH = 11,3?**

#### Řešení:

- Nejprve vypočítáme hodnotu pOH:

$$pOH = 14 - pH = 14 - 11,3 = 2,7$$

- Odlogaritmuje a získáme hodnotu  $[OH^-]$ :

$$[OH^-] = 10^{-pH} = 10^{-2,7} = 1,99 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

- Dosadíme hodnoty do vztahu pro disociační konstantu:

$$K_b = \frac{[B^+] \cdot [OH^-]}{[BOH]} = \frac{[1,99 \cdot 10^{-3}] \cdot [1,99 \cdot 10^{-3}]}{[0,06 - 1,99 \cdot 10^{-3}]} = 6,82 \cdot 10^{-5}$$

➔ **Disociační konstanta roztoku zásady je  $K_b = 6,82 \cdot 10^{-5}$ .**

### Další příklady na procvičení:

1. Jaké je pH roztoku kyseliny propionové, jestliže její koncentrace je  $c = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$  a  $K_a = 1,34 \cdot 10^{-5}$ ? (pH = 1,3429)
2. Jestliže je pH roztoku kyseliny octové 4,8 a  $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ , jaká je koncentrace tohoto roztoku? ( $c_A = 3,02 \cdot 10^{-5} \text{ mol.l}^{-1}$ )
3. Jaká je disociační konstanta  $K_a$  kyseliny, jestliže pH jejího roztoku je 5,6 a molární koncentrace 0,2 M? ( $K_a = 3,12 \cdot 10^{-11}$ )
4. Roztok slabé jednosytné zásady má molární koncentraci 0,125 mol/l a  $pK_b = 4,65$ . Jaké je pH tohoto roztoku? (pH = 11,22)
5. Amoniakální roztok o pH = 10,5 má  $K_b = 1,77 \cdot 10^{-5}$ , jaká je molární koncentrace tohoto roztoku? ( $c_{\text{BOH}} = 5,62 \cdot 10^{-3} \text{ mol.dm}^{-3}$ )
6. Jaká je disociační konstanta  $K_b$  jednosytné slabé zásady, jestliže má její roztok pH = 10,1 a molární koncentraci 0,08 mol.l<sup>-1</sup>? ( $K_b = 1,995 \cdot 10^{-7}$ )

## 7.3 Výpočet pH pufrů

Pufry jsou roztoky slabých kyselin a jejich solí (konjugovaných zásad) se silnými zásadami nebo roztoky slabých zásad a jejich solí (konjugovaných kyselin) se silnými kyselinami.

Pro výpočet pH pufru slabé kyseliny a její soli se vztah odvozuje z disociační konstanty kyseliny  $K_a$ , kde  $[A^-]$  značí celkovou koncentraci soli  $c_s$ , a  $[HA]$  značí celkovou koncentraci kyseliny. Po úpravě získáme rovnici:

$$K_a = \frac{[H_3O^+] \cdot [A^-]}{[HA]} = \frac{[H_3O^+] \cdot c_s}{c_A}$$

$$[H_3O^+] = K_a \frac{c_s}{c_A}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{c_s}{c_A}$$

Pro pufr připravený ze slabé zásady a její soli platí obdobná rovnice, kde je  $K_b$  disociační konstanta slabé zásady a  $c_B$  koncentrace této zásady:

$$pH = 14 - pK_b - \log \frac{c_s}{c_B}$$

### Příklad 1:

Jaké je pH pufru složeného z amoniaku ( $c_1 = 0,3 \text{ mol/l}$ ) a chloridu amonného ( $c_2 = 0,1 \text{ mol/l}$ )? Disociační konstanta amoniaku je  $K_b = 1,77 \cdot 10^{-5}$ .

*Řešení:*

- Hodnoty, které známe ze zadání, jsou: koncentrace zásady  $c_B = 0,3 \text{ mol/l}$ , a koncentraci soli této zásady  $c_S = 0,1 \text{ mol/l}$ . Pro výpočet pH musíme znát  $pK_b$ :

$$pK_b = -\log(K_b) = -\log(1,77 \cdot 10^{-5}) = 4,75$$

- Dosadíme do vztahu pro výpočet pH pufru:

$$pH = 14 - pK_b - \log \frac{c_S}{c_B} = 14 - 4,75 - \log \frac{0,1}{0,3} = 9,73$$

➔ **pH pufru složeného z amoniaku a chloridu amonného je 9,73.**

### **Příklad 2:**

Vypočítejte pH roztoku kyseliny propionové a propionátu sodného, jestliže koncentrace kyseliny je  $c_1 = 1,6 \text{ mol/l}$  a koncentrace soli  $c_2 = 5,4 \text{ mol/l}$ . Disociační konstanta kyseliny propionové je  $1,34 \cdot 10^{-5}$ .

#### **Řešení:**

- Znamé hodnoty jsou:  $c_A = 1,6 \text{ mol/l}$ ,  $c_S = 5,4 \text{ mol/l}$ . Dále je pro výpočet nutná hodnota  $pK_a$ :

$$pK_a = -\log(K_a) = -\log(1,34 \cdot 10^{-5}) = 4,873$$

- Dosadíme do vztahu pro výpočet pufru:

$$pH = pK_a + \log \frac{c_S}{c_A} = 4,873 + \log \frac{5,4}{1,6} = 5,401$$

➔ **pH pufru složeného z kyseliny propionové a propionátu sodného je 5,401.**

### **Příklad 3:**

Jaká je disociační konstanta kyseliny mravenčí  $K_a$ , jestliže pH pufru složeného z kyseliny mravenčí o koncentraci  $c_1 = 0,1 \text{ mol/l}$  a mravenčanu vápenatého o  $c_2 = 0,02 \text{ mol/l}$  je 3,053?

#### **Řešení:**

- Znamé hodnoty jsou:  $pH = 3,053$ ,  $c_A = 0,1 \text{ mol/l}$ ,  $c_S = 0,02 \text{ mol/l}$ .
- Dosazením do vztahu pro výpočet pufru získáme hodnotu  $pK_a$ :

$$pH = pK_a + \log \frac{c_S}{c_A}$$

$$pK_a = pH - \log \frac{c_S}{c_A} = 3,053 - \log \frac{0,02}{0,1} = 3,752$$

$$pK_a = -\log(K_a)$$

$$K_a = 10^{-pK_a} = 10^{-3,752} = 1,77 \cdot 10^{-4}$$

➔ **Disociační konstanta kyseliny mravenčí je  $1,77 \cdot 10^{-4}$ .**

### **Další příklady na procvičení:**

1. Jaké je pH roztoku pufru kyseliny citronové o koncentraci  $0,6 \text{ mol/l}$  a citronanu sodného o koncentraci  $0,9 \text{ mol/l}$ , jestliže  $K_a = 1,73 \cdot 10^{-5}$ ? ( $pH = 4,938$ )
2. Vypočítejte pH roztoku kyseliny octové ( $c_1 = 0,29 \text{ mol/l}$ ) a její soli octanu sodného ( $c_2 = 2,29 \text{ mol/l}$ ). Disociační konstanta kyseliny je  $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ . ( $pH = 5,654$ )

3. Jaké je pH amoniakálního roztoku tvořeného amoniakem o koncentraci 1,5 mol/l a chloridem amonným o koncentraci 0,9 mol/l?  $K_b = 1,77 \cdot 10^{-5}$ ? (pH = 9,47)
4. Vypočítejte disociační konstantu diethylaminu o koncentraci 0,01 mol/l, jestliže vytváří pufrační roztok společně s chloridem diethylaminu o koncentraci 0,055 mol/l. pH tohoto roztoku je 10,19. ( $K_a = 8,51 \cdot 10^{-4}$ )



## Literatura:

BENEŠOVÁ, M.; SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie*. Brno: Didaktis spol. s.r.o., 2002. ISBN 80-86285-56-1.

VACÍK, J.; BARTHOVÁ, J.; PACÁK, J., aj. *Přehled středoškolské chemie*. Praha: SPN – Státní pedagogické nakladatelství, a.s., 1999. ISBN 80-7235-108-7.

MAREČEK, A.; HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia – 3. Díl*, Olomouc, Nakladatelství Olomouc, 2006. ISBN 978-80-7182-057-4.

VACÍK, J. *Obecná a anorganická chemie pro gymnázia I*, Praha: SPN – Státní pedagogické nakladatelství, 1995. ISBN 80-85937-00-X.

MIKULČÁK, J.; KLIMEŠ, B.; ZEMÁNEK, F. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*, Praha: Prometheus, spol. s.r.o., 1988. ISBN 80-85849-84-4.

KÁBELOVÁ, B.; PILÁTOVÁ, I.; RŮŽIČKA, A. *Názvosloví anorganických sloučenin a základy chemických výpočtů*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004. ISBN 978-80-214-3956-6.

MAULEOVÁ, J. *Základy obecné chemie*, Vyškov: Univerzita obrany, 2006.