

Chemické výpočty (ze vzorců, roztoky, z chemických rovnic)

A/ Výpočty z chemických vzorců

a) výpočet procentového zastoupení složky (prvku, sloučeniny) v látce

Obecně předpokládáme, že složení látky je dáno vzorcem $(A_xB_yC_z)_n$, kde

A, B, C ... jsou složky (prvky, sloučeniny),

x, y, z jsou koeficienty, označující počet atomů (molekul) složek A, B, C,

n je počet jednoduchých molekul $(A_xB_yC_z)$ v látce $(A_xB_yC_z)_n$ (v makromolekule);

n = 1, 2, 3....až...n.

Procentové zastoupení složky v látce $p_{\text{slož.}}$ udáváme v % a určíme podle vztahu :

$$p_{\text{slož.}} = w_{\text{slož.}} \cdot 100 = \frac{k \cdot A_r(\text{slož.})}{M_r(\text{slouč.})} \cdot 100 \quad ; \quad p_A = w_A \cdot 100 = \frac{x \cdot A_r(A)}{M_r(A_xB_yC_z)} \cdot 100 \quad (\%)$$

kde w_A ... je tzv. hmotnostní zlomek složky A,

$A_r(A)$... je atomová relativní hmotnost složky A,

$M_r(A_xB_yC_z)$ je molekulová relativní hmotnost látky $(A_xB_yC_z)$

k je obecně počet atomů (molekul) složek v molekule látky, tj. pro jednotlivé složky

k = x, y, z.

Poznámka: Je-li složkou sloučenina, nahradíme A_r molekulovou relativní hmotností složky M_r .

Obdobně můžeme vypočítat p_B a p_C (poznámka: w počítáme obvykle na 4 desetinná místa, p na 2 deset. místa). Součet všech p je roven 100 %.

b) výpočet hmotnostního zastoupení složky (prvku, sloučeniny) v daném množství látky.

Pro výpočet $m_{\text{slož.}}$ vycházíme z obecného vztahu :

$$m_{\text{slož.}} = w_{\text{slož.}} \cdot m_{\text{slouč.}} = \frac{x \cdot A_r(\text{slož.})}{M_r(\text{slouč.})} \cdot m(\text{slouč.})$$

Pro výpočet hmotnosti složky A - m_A – pak máme:

$$w_A = \frac{x \cdot A_r(A)}{M_r(A_xB_yC_z)} = \frac{m_A}{m(A_xB_yC_z)} \quad ; \quad \text{odtud}$$

$$m_A = w_A \cdot m(A_xB_yC_z) = \frac{x \cdot A_r(A)}{M_r(A_xB_yC_z)} \cdot m(A_xB_yC_z)$$

kde w_A je hmotnostní zlomek složky A v látce $A_xB_yC_z$,

m_A je hmotnost složky A

$m(A_xB_yC_z)$ je hmotnost látky $A_xB_yC_z$

B/ Určení empirického a molekulového (sumárního) vzorce látky (sloučeniny).

Empirický vzorec – udává nejjednodušší poměr atomů prvků ve sloučenině, např. P_2O_5 , CH_2O , NO_2 , HPO_3 apod.

Molekulový (sumární) vzorec – udává celkový počet atomů jednotlivých prvků v molekule sloučeniny, např. $P_4O_{10} \equiv (P_2O_5)_2$, $C_2H_4O_2 \equiv (CH_2O)_2$, tj. kyselina octová CH_3COOH nebo $C_6H_{12}O_6 \equiv (CH_2O)_6$, tj. glukóza nebo fruktóza $C_6H_{12}O_6$, N_2O_4 neboli $(NO_2)_2$, $H_3P_3O_9 \equiv (HPO_3)_3$ nebo $H_4P_4O_{12} \equiv (HPO_3)_4$.

a) určení empirického vzorce $A_xB_yC_z$

počítáme podle vztahu

$$x : y : z = \frac{w_A}{A_r(A)} : \frac{w_B}{A_r(B)} : \frac{w_C}{A_r(C)}$$

Poznámka: hodnoty $w_{\text{slož.}}$ lze nahradit hodnotami $p_{\text{slož.}}$ nebo $m_{\text{slož.}}$

Po dosazení za w a A_r vypočítáme hodnoty zlomků (s přesností na 4 des. místa) a jejich poměr upravíme (zpravidla vydělením nejmenším z čísel) na poměr malých a celých čísel. Takto zjištěná odpovídající čísla dosadíme do vzorce $A_xB_yC_z$. Získaný vzorec je vzorec empirický.

b) určení molekulového vzorce $(A_xB_yC_z)_n$

je v zásadě zaměřeno na určení čísla n , což je násobek empirického vzorce ve vzorci molekulovém. Je-li $n = 1$, je vzorec empirický totožný se vzorcem molekulovým.

Obecně číslo n vypočítáme jako podíl molekulové relativní hmotnosti látky (sloučeniny) $M_r(A_xB_yC_z)_n$, kterou zjistíme experimentálně (např. ze stavové rovnice, kryoskopickou nebo ebullioskopickou metodou), a molekulové relativní hmotnosti $M_r(A_xB_yC_z)$ empirického vzorce.

$$n = \frac{M_r(A_xB_yC_z)_n}{M_r(A_xB_yC_z)}$$

Získanou hodnotou n vynásobíme koeficienty x , y , z v empirickém vzorci $A_xB_yC_z$ (viz odstavec a)).

Příklady na:

– výpočet procentového zastoupení složky (prvku, sloučeniny) v látce.

Příklad 1. Látka má sumární vzorec $C_6H_{12}O_6$. Jaké je procentové zastoupení prvků ve sloučenině?

$$M_r(C_6H_{12}O_6) = 180.$$

Řešení :

Z tabulek zjistíme A_r jednotlivých prvků a určíme jejich hmotnostní zlomky w_C , w_H a w_O .

$$w_C = \frac{6 \cdot 12,01}{180,00} = 0,4003; \quad w_H = \frac{12 \cdot 1,001}{180,00} = 0,0667; \quad w_O = \frac{6 \cdot 15,994}{180,00} = 0,5331$$

Pak $p_C = w_C \cdot 100 = 40,03 \%$, $p_H = w_H \cdot 100 = 6,67 \%$, $p_O = w_O \cdot 100 = 53,31 \%$

Odpověď: Látka obsahuje 40,03 % uhlíku, 6,67 % vodíku a 53,31 % kyslíku.

Příklad 2. Vyjádřete procentové zastoupení vody a čistého síranu měďnatého v modré skalici $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. $M_r(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 249,68$; $M_r(H_2O) = 18,016$; $M_r(CuSO_4) = 159,60$;

Řešení :

Vypočítáme $w(CuSO_4)$ a $w(H_2O)$

$$w(CuSO_4) = \frac{M_r(CuSO_4)}{M_r(CuSO_4 \cdot 5H_2O)} = \frac{159,60}{249,68} = 0,6392; \quad p(CuSO_4) = 63,92 \%$$

$$w(H_2O) = \frac{5 \cdot M_r(H_2O)}{M_r(CuSO_4 \cdot 5H_2O)} = \frac{5 \cdot 18,016}{249,68} = 0,3609; \quad p(H_2O) = 36,09 \%$$

Odpověď: Modrá skalice je tvořena 36,09 % vody a 63,92 % síranu měďnatého.

Příklad 3. Vypočítejte procentový obsah prvků v organické sloučenině, jestliže při spalování 0,253 g této látky vzniklo 0,242 g oxidu uhličitého a 0,099 g vody ?

Výpočet : vypočítáme hmotnost uhlíku a vodíku v uvedeném množství vzorku organické látky a přepočítáme na procenta vzhledem k hmotnosti vzorku.

$$m_C / 0,242 = M_{rC} / M_r(\text{CO}_2); \quad m_C = \frac{12}{44} \cdot 0,242 = 0,066 \text{ g}; \quad p_C = \frac{m_C}{0,253} \cdot 100 = \mathbf{26,09 \%}$$

$$m_H = \frac{2 \cdot A_r(\text{H})}{M_r(\text{H}_2\text{O})} \cdot m(\text{H}_2\text{O}); \quad m_H = \frac{2 \cdot 1,007}{8,016} \cdot 0,099 = 0,0111 \text{ g}; \quad p_H = \frac{m_H}{0,253} \cdot 100 = \mathbf{4,39 \%}$$

Procentový obsah kyslíku je dán rozdílem do 100 %. Tedy $p_O = 100 - 30,48 = \mathbf{69,52 \%}$

Odpověď: *Organická sloučenina obsahuje 26,09 % uhlíku, 69,52 % kyslíku a 4,39 % vodíku.*

- výpočet empirického a molekulového vzorce sloučeniny

Příklad 1. Určete empirický a molekulový vzorec organické sloučeniny, která obsahuje 26,09 % uhlíku, 4,39 % vodíku a zbytek připadá na kyslík. M_r sledované sloučeniny je 46.

Výpočet: obecný vzorec sloučeniny je $(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z)_n$

$$x : y : z = \frac{p_C}{A_{rC}} : \frac{p_H}{A_{rH}} : \frac{p_O}{A_{rO}} = \frac{26,09}{12} : \frac{4,39}{1,007} : \frac{69,52}{16}$$

$$x : y : z = 2,1742 : 4,3595 : 4,3450$$

$$x : y : z = 1 : 2 : 2$$

Odpověď: Empirický vzorec látky je $\text{C}_1\text{H}_2\text{O}_2$.

Molekulový vzorec zjistíme, když určíme n ; $n = \frac{M_r(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z)_n}{M_r(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z)} = \frac{46}{46} = \mathbf{1}$. Odtud plyne,

že empirický vzorec je totožný se vzorcem molekulovým. Jedná se pravděpodobně o kys. mravenčí.

Příklady k procvičení.

1. Určete hmotnostní zlomky pro prvky obsažené v kyselině sírové, dusičné, chlorovodíkové.
2. Která z uvedených rud železa obsahuje nejvíce železa – siderit (ocelek), krevet, limonit, magnetit ?
3. Kolik procent vody obsahuje podvojný síran železnatoamonný, jedná-li se o hexahydrát ?
4. Kolik gramů mědi je obsaženo v 100 gramech a) čistého oxidu měďnatého, b) oxidu měďnatého, obsahujícího 5 % nečistot ?
5. Vypočítejte, jakému množství bezvodého síranu měďnatého odpovídá 50 g jeho pentahydrátu.
6. Kolik kg hliníku se dá teoreticky získat z 1 tuny čistého oxidu hlinitého ?
7. Určete empirický a molekulový vzorec sloučeniny, v níž je 82,80 % uhlíku a 17,20 % vodíku. ($M = 58,12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).
8. Minerál kaolinit má podle analýzy složení: 39,50 % Al_2O_3 , 46,52 % SiO_2 a 13,95 % vody. Jaký je jeho empirický vzorec ?
9. Úplným spálením 0,2036 g organické látky, obsahující pouze uhlík, vodík a kyslík, bylo získáno 0,3895 g CO_2 a 0,2390 g H_2O . Vypočítejte empirický a molekulový vzorec sloučeniny ($M = 46,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) a uveďte možnou konkrétní sloučeninu.
10. Vyjádřete složení křemičitanu hořečnatého MgSiO_3 v procentech kysličníků.

C/ Roztoky

Pod pojmem roztoky budeme pro jednoduchost považovat tzv. *homogenní (stejnorodé)* čili *pravé roztoky*, které ve všech svých částech mají stejné vlastnosti. Velikost jejich částic je menší než 10^{-9}m a jednotlivé složky nelze zjistit pouhým pohledem ani mikroskopem (např. vzduch, vodné roztoky kyselin, hydroxidů nebo solí, přírodní voda apod.). Částice látek tvořících roztok (atomy, molekuly, ionty) jsou dokonale rozptýleny a vzájemně mezi sebou nereagují.

Roztoky dělíme podle vlastností rozpouštěné látky na:

- roztoky neelektrolytů* – molekuly rozpustné látky se neštěpí, přecházejí do roztoku jako celek, roztoky nevedou elektrický proud, např. roztok jodu v CCl_4 nebo cukr ve vodě,
- roztoky elektrolytů* – molekuly rozpustné sloučeniny se rozpouštědlem štěpí na ionty, proto vzniklý roztok je elektricky vodivý, např. roztok NaCl ve vodě, roztoky kyselin ve vodě apod.

Z hlediska skupenství je můžeme dělit na roztoky:

- plynné* (plyn v plynu), např. vzduch, svítiplyn;
- kapalně* (kapalina v kapalině, plyn v kapalině, pevná látka v kapalině), např. etanol ve vodě, vzduch ve vodě, jod v lihu;
- pevné* (plyn nebo pevná látka v pevné látce), např. vodík v platině, slitiny kovů.

V praxi jsou nejčastější roztoky kapalně, zejména roztoky vodné.

V roztocích rozlišujeme **složky** roztoku. Jsou to **rozpuštědlo** (je obvykle v nadbytku) a **rozpuštěná látka**. Nejčastějším rozpouštědlem je voda, často jím může být rovněž např. benzín, aceton, ethanol, kys. octová apod.

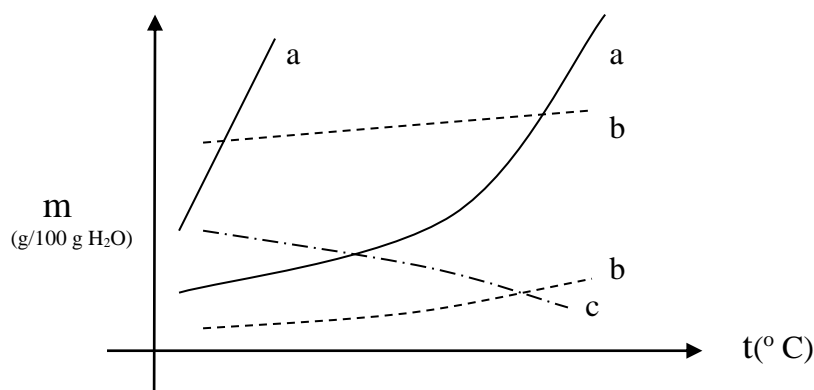
Pro charakteristiku roztoků jsou důležité tyto pojmy:

a) rozpustnost látek

Roztoky bývají **nasycené** tj. další množství látky se již v roztoku nerozpouští, a **nenasycené**, v nichž lze ještě rozpustit další množství látky. Nasycenost roztoku je funkcí teploty, příp. tlaku (u plynů) a je vyjádřena veličinou, která se nazývá **rozpustnost**.

Rozpustnost látky v rozpouštědle udává hmotnost dané látky (v gramech), která se rozpustí při dané teplotě ve 100 gramech rozpouštědla ($\text{g}/100\text{g rozp.}$) na nasycený roztok nebo **udává hmotnost dané látky (v gramech), která je obsažena ve 100 gramech nasyceného roztoku ($\text{g}/100\text{g nasyc. roztoku}$)**. Oba typy rozpustnosti lze nalézt v tabulkách, lze je vzájemně přepočítat.

Závislost rozpustnosti na teplotě je pro různé látky rozdílná. Pro většinu látek s rostoucí teplotou značně stoupá (křivka a), např. KNO_3 , KClO_3 , AgNO_3 apod. U některých látek je vzestup jen velmi pozvolný (křivka b), např. u NaCl při zvýšení teploty z 20°C na 100°C stoupne rozpustnost pouze o 3 gramy. Pro některé látky (křivka c), např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Li_2SO_4 nebo CaCrO_4 rozpustnost s rostoucí teplotou klesá. Grafickým vyjádřením výše uvedené závislosti jsou tzv. *křivky rozpustnosti*. Schématicky jsou zaznamenány níže na obrázku:



Příklad 1. Rozpustnost chloridu draselného KCl je při 20°C 34g na 100g vody. Vyjádřete rozpustnost uvedené sloučeniny v g na 100 g nasyceného roztoku.

Výpočet: Hmotnost vzniklého nasyceného roztoku je (34g KCl + 100g vody), tj. 134g roztoku
Ve 134 g nas. roztoku je 34 g KCl
Ve 100 g nas. roztoku je m g KCl

$$m = 100/134 \times 34 = 25,37 \text{ g KCl}$$

Odpověď: Ve 100 g nasyceného roztoku je 25,37 g KCl

Příklad 2. Rozpustnost dusičnanu stříbrného AgNO₃ je při 20°C 219 g ve 100 g vody a při 100 °C 1024 g ve 100 g vody. Kolik gramů AgNO₃ se vyloučí při ochlazení 200 g nasyceného roztoku z teploty 100 °C na 20°C ?

Výpočet: úměrou zjistíme, že

je-li **při 20°C** je ve (219 + 100) g nas. roztoku obsaženo 219 g AgNO₃, je ve 200 g nas. roztoku obsaženo 137,30 g AgNO₃ (m₂₀). Podobně pro 100°C zjistíme, že

je-li **při 100°C** je ve (1024 + 100) g nas. roztoku obsaženo 1024 g AgNO₃, je ve 200 g nas. roztoku obsaženo 182,2 g AgNO₃ (m₁₀₀).

Při ochlazení 200 g nasyc. roztoku z 100°C na 20°C se vyloučí

$$m(\text{AgNO}_3) = m_{100} - m_{20} = 182,2 - 137,3 = 44,91 \text{ g AgNO}_3$$

Odpověď: Vyloučí se 44,91 g dusičnanu stříbrného AgNO₃

b) koncentrace roztoků

- hmotnostní procentová koncentrace – p (v hmotnostních %)
- objemová procentová koncentrace – p_{obj} (v objemových %)
- látková koncentrace (molární koncentrace neboli molarita roztoku) – c (v mol/dm³)

hmotnostní procentová koncentrace

- **udává hmotnost složky ve 100g roztoku dané koncentrace.**

Např. je-li p = 30 %, znamená to, že ve 100g tohoto roztoku je rozpuštěno 30g čisté složky.

Hmotnostní procentová koncentrace se vypočítá podle vztahu

$$p = m_{\text{slož.}} / m_{\text{roztoku}} \times 100 = \frac{m_{\text{slož.}}}{m_{\text{roztoku}}} \cdot 100 = w \cdot 100,$$

kde **m_{slož.}** je hmotnost složky, **m_{roztoku}** je hmotnost roztoku, **w** je hmotnostní zlomek

objemová procentová koncentrace

- **udává objem složky ve 100ml roztoku dané koncentrace.**

Např. je-li p = 30 obj.%, znamená to, že ve 100ml tohoto roztoku je rozpuštěno 30 ml čisté složky.

Hmotnostní procentová koncentrace se vypočítá podle vztahu

$$p = V_{\text{slož.}} / V_{\text{roztoku}} \times 100 = \frac{V_{\text{slož.}}}{V_{\text{roztoku}}} \cdot 100 = \varphi \cdot 100,$$

kde **V_{slož.}** je objem složky, **V_{roztoku}** je objem roztoku, **φ** je objemový zlomek.

látková koncentrace (molární koncentrace neboli molarita roztoku)

- **udává počet molů složky v 1 litru (v 1000ml) roztoku dané koncentrace.**

Např.: je-li c = 0,25 mol/litr, znamená to, že v 1 litru (v 1000ml) tohoto roztoku je rozpuštěno 0,25 molu čisté složky.

Látkovou (molární) koncentraci vypočítáme podle vztahu

$$c = n_{\text{slož.}} / V_{\text{roztoku}} = \frac{n_{\text{slož.}}}{V_{\text{roztoku}}} = \frac{m_{\text{slož.}}}{M_{\text{slož.}} \cdot V_{\text{roztoku}}}$$

kde $n_{\text{slož.}}$ je počet molů složky, V_{roztoku} je objem roztoku v litrech, $M_{\text{slož.}}$ je molární hmotnost složky v g/mol. (pozn.: místo g/mol se také používá označení M).

Příklad 1: Vypočítejte hmotnost a) bezvodého uhličitanu sodného Na_2CO_3
b) krystalického dekahydrátu uhličitanu sodného $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
potřebnou na přípravu 500g roztoku o $p = 10 \%$, tj. $w = 0,1$.

Výpočet: $m_{\text{rozt.}} = 500\text{g}$, $p = 10 \%$, $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$, $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = ?$, $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106,01$
g/mol, $M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 286,17$ g/mol.

$$a) \quad p = \frac{m_{\text{slož.}}}{m_{\text{roztoku}}} \cdot 100 = w \cdot 100, \quad \text{odtud}$$

$$m_{\text{slož.}} = p \cdot m_{\text{roztoku}} / 100 = 10 \cdot 500 / 100 = \mathbf{50 \text{ g Na}_2\text{CO}_3}$$

b) pro bezvodý uhličitan s $M(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ je hmotnost 50 g,
pro krystalický uhličitan s $M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})$ je hmotnost $m'_{\text{slož.}}$, tj.

$$\begin{array}{l} 50 \text{ g} \dots\dots\dots 106,01 \text{ g/mol} \\ m'_{\text{slož.}} \dots\dots\dots 286,17 \text{ g/mol} \\ \hline \end{array}$$

$$m'_{\text{slož.}} = 286,17 \cdot 50 / 106,01 = \mathbf{134,97 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}}$$

Odpověď: Na přípravu roztoku je potřeba a) 50 g bezvodého, b) 134,97 g krystalického uhličitanu sodného. Odvážená množství složky rozpustíme v a) 450 g, b) 365,03 g čisté destilované vody.

Příklad 2: Roztok etanolu o objemu 900 ml byl připraven zředěním 400 ml absolutního alkoholu. Jaká je koncentrace roztoku vyjádřená v objemových procentech ?

Výpočet: $V_{\text{rozt.}} = 900 \text{ ml}$, $V_{\text{lihu}} = 400 \text{ ml}$, $p_{\text{lihu}} = 100 \text{ obj.}\%$, $p_{\text{obj}} = ?$

$$p = V_{\text{slož.}} / V_{\text{roztoku}} \cdot 100 = \frac{V_{\text{slož.}}}{V_{\text{roztoku}}} \cdot 100 = \varphi \cdot 100,$$

$$p = \frac{400}{900} \cdot 100 = 44,44 \text{ obj.}\%$$

Příklad 3: Kolik cm^3 30% kyseliny dusičné ($\rho = 1,18 \text{ g/cm}^3$) je potřeba na přípravu 500 cm^3 jejího 0,5 M roztoku ?

Výpočet: $V_{\text{rozt.}} = 500 \text{ cm}^3$, $p_{\text{slož.}} = 30 \%$, $M(\text{HNO}_3) = 63,03 \text{ g/mol}$, $c = 0,5 \text{ M}$, $V_{30} = ?$

Postupujeme tak, že nejdříve provedeme výpočet pro kyselinu 100%-ní, výsledek přepočítáme na kyselinu 300%-ní a vydělíme hustotou této kyseliny.

$$m_{100} = c \cdot M(\text{HNO}_3) \cdot V_{\text{rozt.}} = 0,5 \cdot 63,03 \cdot 0,5 = 15,76 \text{ g} \dots\dots\dots 100 \text{ %-ní kyseliny dusičné}$$

$$m_{30} \dots\dots\dots 30\text{ %-ní k. dusičné}$$

$$m_{30} = 100/30 \cdot 15,76 = 52,53 \text{ g}$$

$$V_{30} = m_{30} / \rho = 52,53 / 1,18 = \mathbf{44,71 \text{ cm}^3}$$

Odpověď: Na přípravu roztoku je třeba odměřit 44,71 ml 30%-ní kyseliny dusičné. Roztok připravíme tak, že do malého množství vody nalijeme odměřené množství kyseliny a v odměrné baňce doplníme destilovanou vodou na celkový objem roztoku 500 cm^3 .

Příklad 4: Kolik gramů a ml 65 %-ní kyseliny dusičné je potřeba na přípravu 100 ml 10%-ního roztoku této kyseliny?

$$V_{\text{rozt.}} = 100 \text{ ml}, c_1 = 10 \%, c_2 = 65\%, \rho_{10} = 1,047 \text{ g.cm}^{-3}, m_{65} = ?, V_{65} = ?$$

Výpočet: 100 ml 10%-ního roztoku přepočítáme na hmotnost

$$m_{10} = V_{\text{rozt.}} \cdot \rho_{10} = 100 \cdot 1,047 = 104,7 \text{ g}$$

Vypočítáme m_{100} kys. dusičné HNO_3 ve 104,7 g 10%-ního roztoku :

$$104,7 \text{ g } 10\% \text{-ního roztoku odpovídá } 10,47 \text{ g } 100\% \text{-ní } \text{HNO}_3 = m_{100}$$

m_{100} přepočítáme na m_{65}

$$\begin{array}{ccc} \uparrow & 10,47 \text{ g} \dots\dots\dots 100\% \text{-ní } \text{HNO}_3 & \downarrow \\ & m_{65} \dots\dots\dots 65 \text{ \% -ní} & \end{array}$$

$$m_{65} = \frac{100 \cdot 10,47}{65} = 16,11 \text{ g}$$

$$V_{65} = \frac{m_{65}}{\rho_{65}} = \frac{16,11}{1,39} = 11,59 \text{ ml}$$

Odpověď: Roztok připravíme odvážením 16,11 g nebo odměřením 11,59 ml 65 %ní kyseliny dusičné, kterou vpravíme do odměrné baňky s malým množstvím vody a doplněním vodou na celkový objem 100 ml.

c) ředění a směšování roztoků

Výpočet koncentrace zředěných roztoků se dá provést několika způsoby. Vhodným způsobem je výpočet podle směšovací rovnice nebo směšovacího pravidla tzv. křížového pravidla. Vždy je nutno si však uvědomit, že

- zředěním roztoku jeho koncentrace klesá,
- množství rozpuštěné látky (složky) v roztoku zůstává stejné,
- mísíme-li dva roztoky různých koncentrací, je hmotnost výsledného roztoku vždy součtem hmotností jednotlivých roztoků a výsledné množství rozpuštěné látky (složky) je dáno součtem hmotností látek obsažených ve výchozích roztocích,
- hmotnostní procentová koncentrace čisté složky je 100% ($w = 1$),
- hmotnostní procentová koncentrace čistého rozpouštědla je 0% ($w = 0$).

Směšovací rovnice

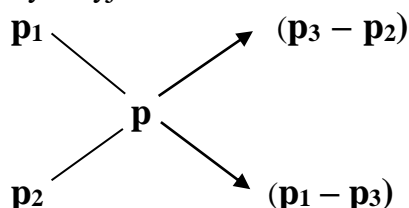
je dána takto:

$$\boxed{p_1 m_1 + p_2 m_2 + \dots + p_n m_n = p (m_1 + m_2 + \dots + m_n)}$$

kde m_1, m_2 až m_n jsou hmotnosti jednotlivých roztoků, p_1, p_2 až p_n jsou hmotnostní procentové koncentrace příslušných roztoků, p je výsledná koncentrace roztoku a $(m_1 + m_2 + \dots + m_n)$ je výsledná hmotnost roztoku. Z rovnice lze vypočítat každou požadovanou veličinu.

Křížové pravidlo

je jiným vyjádřením směšovací rovnice. Lze ji zapsat následovně:



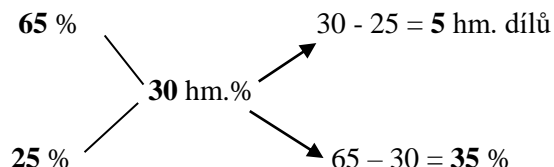
kde p_1 a p_2 jsou hmotnostní konc. jednotlivých roztoků, p je výsledná konc. roztoku.

Hodnoty $(p - p_2)$ a $(p_1 - p)$ udávají hmotnostní poměr míšení roztoků příslušných hmotnostních procentových koncentrací.

Objem roztoku zjistíme přepočtem přes hustotu roztoku ze vztahu $V = m / \rho$.

Příklad 1: V jakém poměru nutno smístit dva roztoky o konc. 65 % a 25 %, aby výsledný roztok měl konc. 30 % ?

Řešení: $p_1 = 65 \%$, $p_2 = 25 \%$, $p = 30 \%$
Podle křížového pravidla



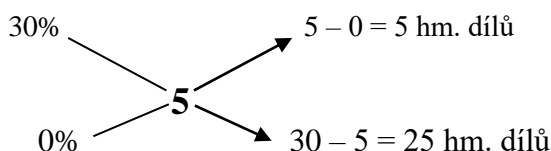
Výše uvedené křížové pravidlo udává, že jednotlivé roztoky nutno smíchat v poměru **5 : 35** tj. **5 hmotnostních dílů** roztoku o konc. **65 %** a **35 hmotnostních dílů** roztoku o konc. **25 %**. Získáme tak celkem **40 hmotnostních dílů o konc. 30 %**.

Příklad 2. Kolik ml 30 %ní kyseliny chlorovodíkové ($\rho_{30} = 1,149 \text{ g/cm}^3$) použijeme k přípravě 2000 ml 5 %ního roztoku této kyseliny ($\rho_5 = 1,024 \text{ g/cm}^3$).

Řešení: $V_5 = 2000 \text{ ml}$, $p = 5 \%$, $p_1 = 30 \%$, $p_2 = p_{\text{vody}} = 0 \%$, $V_{30} = ?$

$$m_5 = V_5 \cdot \rho_5 = 2000 \cdot 1,024 = 2048 \text{ g (hmotnost roztoku, který máme připravit).}$$

Podle křížového pravidla



vyplývá, že smícháním 5 gramů 30 % roztoku s 25 gramy vody získáme 30 gramů 5 %ního roztoku. Odtud dále plyne, že

na 30 g 5 %ního roztoku.....(je třeba).....	5 gramů 30 % roztoku
na 2048 g “ m ₃₀ gramů “
$m_{30} = \frac{2048 \cdot 5}{30} = 341,3 \text{ g}; \quad V_{30} = \frac{m_{30}}{\rho_{30}} = \frac{341,3}{1,149} = \mathbf{297,04 \text{ ml } 30 \% \text{ roztoku}}$	

Odpověď: na přípravu 2000 ml 5 %ního roztoku kyseliny chlorovodíkové je potřeba 297,04 ml jejího 30 %ního roztoku. Roztok připravíme tak, že k malému množství vody, např. 1000 ml, přidáme vypočítaný objem kyseliny a doplníme čistou vodou na celkový objem 2000 ml.

Příklady pro procvičení:

- 1) Rozpustnost chloridu sodného je při 20°C 35,88 g ve 100 g čisté vody. Přepočítejte tuto hodnotu na hmotnost NaCl (v gramech) obsaženou ve 100 g nasyceného roztoku při stejné teplotě.
- 2) Ve 100 nasyceného vodného roztoku dusičnanu olovnatého $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ při teplotě 50°C je obsaženo 44 g čisté látky. Jaká bude rozpustnost této látky v přepočtu na 100 čistého rozpouštědla (vody) při stejné teplotě?
- 3) Kolik gramů dusičnanu olovnatého $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ se vyloučí při ochlazení 150 gramů nasyceného roztoku této sloučeniny z teploty 100°C na teplotu 50°C. Rozpustnost $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ při 100°C je 56 g na 100 g nasyceného roztoku a rozpustnost $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ při 50°C je 44 g na 100 g nasyceného roztoku ?
- 4) Kolik gramů čisté H_2SO_4 obsahuje 500ml roztoku o koncentraci 0,1mol/l ? $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g/mol}$.
- 5) Roztok soli byl připraven rozpuštěním 50 g soli v 200 gramech vody. Jaký je hmotnostní zlomek soli v roztoku ?
- 6) Kolik ml 60 %ní HNO_3 (hustota 1,37g/cm³) je potřeba na přípravu 500 ml roztoku o molární koncentraci 0,1 mol/l ? $M(\text{HNO}_3) = 63 \text{ g/mol}$?
- 7) K 150g roztoku KOH o p=3% bylo přidáno dalších 25 gramů čistého KOH. Jaká je výsledná procentová koncentrace roztoku ?
- 8) Kolik gramů NaOH obsahuje 3000ml roztoku o koncentraci 0,05mol/l ? $M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$
- 9) Kolik ml 64 % HNO_3 /hustota 1,39 g/cm³ / je potřeba na přípravu 500 ml jejího 2M roztoku ? $M(\text{HNO}_3) = 63\text{g/mol}$?
- 10) Kolik gramů vody je nutno přidat k 350 g 10% roztoku KI, aby vznikl 6% roztok ?

- 11) Roztok připravíme rozpuštěním 35 g NaCl ve 150 ml vody . Jaká je procentuální koncentrace ?
- 12) Vypočítejte výslednou koncentraci roztoku, který byl připraven smísením 6 kg 96%ního roztoku kyseliny sírové a 25 kg 10%ního vodného roztoku této kyseliny. [26,64 %]
- 13) Vypočítejte množství vody, kterého je třeba použít k ředění 10 kg 65%ní kyseliny dusičné na kyselinu 2 %ní. [315 kg vody]
- 14) Přídavkem 250 gramů 96 %ního roztoku kyseliny sírové k jejímu 3 %nímu roztoku ($\rho = 1,018$ g/ml) se změnila původní koncentrace na 25 %ní. Vypočítejte, kolika mililitrů 3 %ního roztoku bylo k ředění použito. [806,62 g, tj. 792,55 ml 3 %ní kyseliny sírové]
- 15) Vypočítejte, kolik gramů dihydrátu chloridu barnatého je třeba odvážit na přípravu
 - a) 150g roztoku o konc. $p = 5$ %,
 - b) 250 ml roztoku o konc. 0,2 mol/litr.
- 16) Kolikaprocentní roztok vznikne smísením 1500 g 35 %ního roztoku a 500 g 15 %ního roztoku téže látky ?
- 17) Kolik ml vody musíme přidat k 200 g 2,5 %ního roztoku, má-li se připravit roztok 0,215 %ní ?
- 18) Kolik gramů bezvodého uhličitánu sodného o čistotě 92 % se musí přidat k 2600 g 30 % roztoku, aby výsledný roztok byl 50 %ní ? [1238 g 92 %ního uhličitánu]

D) Výpočty z chemických rovnic

Úvodní poznámka: Výpočty z chemických rovnic jsou správné za předpokladu, že

- a) reaktanty i produkty jsou absolutně čisté,
- b) chemická reakce je jednosměrná (její účinnost = 1).

Mají-li reaktanty nižší koncentraci než 100 % nebo účinnost reakce je nižší než 1, je nutné zadané údaje přepočítat !!

Je dána rovnice reakce



kde A,B,C,D ...jsou obecně reagující a vznikající látky,
a, b, c, d ...je počet molů odpovídajících látek.

Počty molů jednotlivých látek jsou si navzájem odpovídající (ekvivalentní).

Počet molů látky (složky) odpovídá

- dané **hmotnosti složky** – $m_A = a \cdot M_A$, $m_B = b \cdot M_B$ atd.,
- danému **objemu složky** (u plynu a pár) – $V_A = a \cdot V_M$, $V_B = b \cdot V_M$ atd.,
- dané **látkové koncentraci a objemu roztoku složky** (pro roztoky látek) – $c_A = a / V_A$, $c_B = b / V_B$ atd., kde m_A, m_B, \dots jsou hmotnosti složek, V_A, V_B, \dots jsou objemy složek, c_A, c_B, \dots jsou koncentrace roztoků složek.

Příkladně: Pro danou reakci $2 NaOH + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2 H_2O$

z rovnice vyplývá, že např.

- a) 2 moly NaOH reagují s 1 molem kyseliny sírové,
- b) 0,5 molu NaOH reaguje s 0,25 molu kyseliny sírové,
- c) $2 \cdot 40 = 80$ g NaOH reaguje s $1 \cdot 98$ g kys. sírové (100%-ní), ale rovněž
- d) 40 g NaOH reaguje s 49 g kys. sírové (100%-ní), a dále
- e) 1 litr 2 M NaOH reaguje s 1 litrem 1 M kys. sírové,
- f) 1 ml 1 M NaOH reaguje s 0,5 ml 1M H₂SO₄ nebo s 1 ml 0,5 M kyseliny atd.

Příklad 1. Kolik gramů a litrů CO₂ reagovalo s hydroxidem vápenatým Ca(OH)₂, vzniklo-li 5 gramů sraženiny CaCO₃?

Řešení: $m(CaCO_3) = 5$ gramů, $m(CO_2) = ?$, $V(CO_2) = ?$

Rovnice reakce je $CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$

Z rovnice vyplývá, že 1 mol CO₂ dává při reakci 1 mol CaCO₃ tj. 100 g CaCO₃

5 gramů tj. 0,05 molu CaCO₃ \longrightarrow 0,05 molu CO₂ tj. $0,05 \cdot 44 = 2,2$ g CO₂

Získanou hmotnost přepočítáme na objem V(CO₂)

$V(CO_2) = 0,05$ molu CO₂ . $V_M = 0,05 \cdot 22,4 = 1,12$ litrů

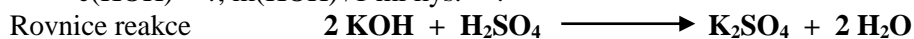
Při reakci reagovalo 2,2 g tj. 1,12 litrů CO₂.

Příklad 2. 20 ml roztoku KOH bylo zneutralizováno 5 ml roztoku kyseliny sírové o konc.

$c = 0,2$ mol/l. Vypočítejte: a) látkovou koncentraci roztoku KOH,

b) hmotnost KOH, která odpovídá 1 ml dané kyseliny sírové.

Výpočet: $V(\text{KOH}) = 20 \text{ ml} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ litru}$; $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ M}$; $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5 \text{ ml} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ litru}$
 $c(\text{KOH}) = ?$, $m(\text{KOH}) / 1 \text{ ml kys.} = ?$



a) z rovnice vyplývá, že $2 \text{ moly} \dots 1 \text{ mol}$

Počet molů H_2SO_4 v reakci je $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0,001 \text{ molů}}$

a odpovídá polovině molů KOH . Proto

$n(\text{KOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,001 = 0,002 \text{ molu}$. Pak

$c(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) / V(\text{KOH}) = 0,002 / 20 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0,1 \text{ M}}$

Jiný postup výpočtu:

Z rovnice vyplývá, že

5 ml roztoku kys. sírové o konc. $c_1 = 0,2 \text{ mol/litr}$ zreaguje s 10 ml roztoku KOH (V_1) o konc. $c_1 = 0,2 \text{ mol/litr}$ nebo 20 ml roztoku KOH (V_2) o konc. $c_2 = ?$

Pak platí, že $V_1 \cdot c_1 = V_2 \cdot c_2$

Po dosazení $10 \cdot 0,2 = 20 \cdot c_2$

Odtud $c_2 \equiv c(\text{KOH}) = \mathbf{0,1 \text{ mol/litr} \equiv c(\text{KOH})}$

b) z rovnice vyplývá, že 1 ml 0,2 M kys. sírové *zreaguje* s 2 ml 0,2 M KOH

Proto vypočítáme hmotnost KOH tj. $m(\text{KOH})$ ve 2 ml 0,2 M KOH .

$m(\text{KOH}) = c \cdot M \cdot V = 0,2 \cdot 56,11 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0,224 \text{ g}}$

Odpověď: a) Látková koncentrace roztoku KOH je 0,1 mol/l

b) 1 ml 0,2 M kyseliny sírové odpovídá $2,24 \cdot 10^{-2} \text{ g KOH}$

Příklad 3. 100 ml roztoku hydroxidu vápenatého zreagovalo s 25 ml kys. chlorovodíkové o konc. $c = 0,1 \text{ mol/litr}$.

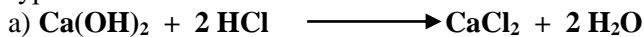
a) zapište rovnici reakce,

b) vypočítejte hmotnost čistého hydroxidu vápenatého, která odpovídá 1 ml kys. chlorovodíkové uvedené koncentrace, (M hydroxidu vápenatého) = 74,00 g/mol),

c) vypočítejte hmotnost čistého hydroxidu vápenatého ve 100 ml roztoku,

d) vypočítejte molární koncentraci c hydroxidu vápenatého.

Výpočet:



1 mol 2 moly

b) $V_{\text{HCl}} = 1 \text{ ml} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ l}$, $c_{\text{HCl}} = 0,1 \text{ mol/l}$, $m_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 1 \text{ ml HCl}} = ?$

$n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} = 0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$;

$n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{1}{2} n_{\text{HCl}}$; $m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = n_{\text{Ca}(\text{OH})_2} \cdot M_{\text{Ca}(\text{OH})_2} =$

$m_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \frac{1}{2} n_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 74 = \mathbf{3,7 \cdot 10^{-3} \text{ g}}$

1 ml kys. chlorovodíkové o konc. 0,1 mol/l zreaguje s $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ hydroxidu vápenatého.

c) $V_{\text{HCl}} = 25 \text{ ml} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ l}$, $c_{\text{HCl}} = 0,1 \text{ mol/l}$, $m_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} = ?$

$n_{\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} = 0,1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ molu}$

Z rovnice plyne, že $n_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} = \frac{1}{2} n_{\text{HCl}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol Ca}(\text{OH})_2$.

Pak $m_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} = n_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} \cdot M_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = \mathbf{9,25 \cdot 10^{-2} \text{ g}}$

Ve 100 ml roztoku hydroxidu vápenatého je obsaženo $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ tj. $9,25 \cdot 10^{-2} \text{ g Ca}(\text{OH})_2$.

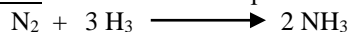
d) $c_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = ?$; $V_{\text{roztoku Ca}(\text{OH})_2} = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ l}$; $n_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

$c_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = n_{\text{Ca}(\text{OH})_2 / 100 \text{ ml rozt.}} / V_{\text{roztoku Ca}(\text{OH})_2} = 1,25 \cdot 10^{-3} / 0,1 = \mathbf{1,25 \cdot 10^{-2} \text{ M}}$

Molární koncentrace roztoku hydroxidu vápenatého je $1,25 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$.

Příklady k procvičení

1. Kolik molů a litrů amoniaku vznikne při reakci 0,5 molu dusíku s vodíkem? Rovnice reakce je



2. 100 ml roztoku hydroxidu vápenatého zreagovalo při neutralizaci s 25 ml kys. chlorovodíkové o konc. $c = 0,1 \text{ mol/litr}$.

a) zapište rovnici reakce,

b) vypočítejte hmotnost čistého hydroxidu vápenatého, která odpovídá 1 ml kys. chlorovodíkové o konc. $c = 0,1 \text{ mol/l}$, je - li M (hydroxidu vápenatého) = 74,0 g/mol,

c) vypočítejte hmotnost čistého hydroxidu vápenatého v roztoku,

d) vypočítejte molární konc. c hydroxidu vápenatého.

3. Je dána rovnice reakce : $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$

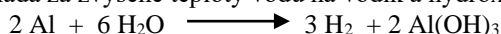
Určete a vypočítejte:

- kolik molů kyslíku zreaguje s 1 molem amoniaku NH_3 ?
- jaká bude hmotnost oxidu dusnatého, je-li $M(\text{NO}) = 30 \text{ g/mol}$?
- kolik litrů oxidu dusnatého NO při tom vznikne ?
- kolik litrů kyslíku se při reakci spotřebuje ?

4. Kovový zinek rozkládá kyselinu chlorovodíkovou a vzniká vodík a chlorid zinečnatý.

- zapište rovnici reakce
- vypočítejte hmotnost čisté kyseliny zreaguje s 10 gramy zinku, je-li $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g.mol}^{-1}$.
- vypočítejte hmotnost zinku, který zreaguje s 1 ml kyseliny chlorovodíkové o koncentraci $c = 0,2 \text{ mol/l}$.

5. Hliník rozkládá za zvýšené teploty vodu na vodík a hydroxid hlinitý podle rovnice

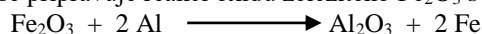


Určete a vypočítejte, kolik molů a litrů vodíku se uvolní při reakci 0,5 molu hliníku ?

6. Oxid sírový se slučuje s vodou za vzniku kyseliny sírové.

- Zapište rovnici reakce,
- vypočítejte hmotnost čisté kyseliny sírové, která vznikne při reakci 4 gramů oxidu sírového s vodou $M(\text{oxidu sírového}) = 80,0 \text{ g/mol}$, $M(\text{kyseliny sírové}) = 98 \text{ g/mol}$,
- vypočítejte molární koncentraci kyseliny, má-li vzniklý roztok kyseliny sírové objem 500 ml,
- vypočítejte hmotnostní procentovou koncentraci vzniklého roztoku, je-li hustota roztoku rovná 1 g/ml .

7. Chemicky čisté železo se připravuje reakcí oxidu železitého Fe_2O_3 s kovovým hliníkem podle rovnice:



Určete a vypočítejte:

- kolik molů hliníku zreaguje se 2 moly oxidu železitého a kolik molů železa vznikne,
- kolik čistého oxidu železitého je potřeba k přípravě 11,2 gramů čistého železa?
 $M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,7 \text{ g/mol}$, $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g/mol}$.

8. Při neutralizaci hydroxidu sodného kyselinou chlorovodíkovou vzniká chlorid sodný a voda. Zapište rovnici reakce a vypočítejte

- hmotnost čisté (100 %-ní) kys. chlorovodíkové je potřeba k získání 14,6 g chloridu sodného.
 $M(\text{kys. chlorovodíkové}) = 36,5 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{chloridu sodného}) = 58,45 \text{ g.mol}^{-1}$
- hmotnost kyseliny z bodu b) přepočítejte na 30 %-ní kys. chlorovodíkovou,
- hmotnost kyseliny z bodu b) přepočítejte na objem kyseliny o koncentraci $c = 0,5 \text{ mol/l}$.

9. Peroxid vodíku se rozkládá samovolně na kyslík a vodu podle rovnice $2 \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.
Kolik molů a kolik litrů kyslíku se uvolní při rozkladu 10 molů peroxidu vodíku ?

10. Zinek vytěsňuje z roztoku síranu měďnatého čistou měď a vzniká ještě síran zinečnatý.

- zapište rovnici reakce
- kolik molů síranu měďnatého zreaguje s 0,5 molu zinku ?
- vypočítejte hmotnost mědi, která se vyloučí při reakci 10 g zinku (počítejte na dvě desetinná místa)
 $M(\text{zinek}) = 65,38 \text{ g.mol}^{-1}$, $M(\text{měď}) = 63,54 \text{ g.mol}^{-1}$,
- vypočítejte hmotnost mědi při reakci s 20 ml roztoku síranu měďnatého o konc. $c = 1 \text{ mol/litr}$.
 $M(\text{síranu měďnatého}) = 159,4 \text{ g/mol}$.